

## CAPITOLO 9

### 9.1 L'oscilloscopio: generalità.

Nell'esecuzione di una misurazione o, più in generale, nello studio di un qualsiasi fenomeno fisico, si ha a che fare con grandezze che possono evolvere nei modi più disparati. Infatti, possiamo incontrare grandezze che non variano durante l'osservazione (continue), oppure che variano in modo ripetitivo (periodiche), oppure che hanno una dinamica caratterizzata da una fase iniziale transitoria, e da una successiva fase di regime, ecc.

Ad ogni grandezza fisica è possibile associare un *segnale* che descrive il modo di variare nel tempo della grandezza stessa.

Lo strumento più importante per osservare un segnale ed attribuirgli una caratterizzazione quantitativa è l'oscilloscopio. Esso consente di visualizzare l'andamento nel tempo di una qualsiasi grandezza. Naturalmente, essendo l'oscilloscopio uno strumento elettronico, esso tratta grandezze elettriche. Per visualizzare l'andamento delle grandezze di tipo non elettrico, queste devono essere preventivamente trasformate in grandezze elettriche mediante opportuni dispositivi detti *trasduttori*.

L'oscilloscopio consente inoltre di visualizzare l'andamento di una grandezza non in funzione del tempo, ma di un'altra grandezza data, consentendo così di ricavare informazioni sui legami esistenti tra esse.

Gli obiettivi della presente, e delle prossime lezioni sono:

1. fornire le conoscenze di base per comprendere, in linea di principio, il funzionamento dello strumento;
2. fornire una descrizione dei comandi principali dell'oscilloscopio;
3. effettuare alcune esperienze di utilizzo dello stesso.

Naturalmente, poiché esistono in commercio oscilloscopi con caratteristiche molto diverse gli uni dagli altri, nel descrivere il principio di funzionamento, ci riferiremo ad uno strumento "generalizzato", adatto ad una illustrazione dello stesso molto utile da un punto di vista didattico. Poi, nell'esecuzione delle esperienze pratiche, illustremo le peculiarità di uno strumento specifico.

Anche se a noi interessa il funzionamento "esterno" dello strumento, alcuni cenni sul principio di funzionamento "interno", possono essere molto utili alla comprensione delle funzionalità dei diversi comandi presenti sul pannello frontale dello strumento e, quindi, consentono un uso più consapevole dello stesso.

### 9.2 Il tubo a raggi catodici.

Elemento fondamentale dell'oscilloscopio è il tubo a raggi catodici (CRT). Esso è formato da un'ampolla di vetro avente ad una estremità un collo cilindrico, e all'altra estremità un tronco di cono la cui base costituisce lo schermo su cui si andranno a visualizzare i segnali. All'interno del tubo sono sistemati alcuni elettrodi cui sono affidate funzioni essenziali per il funzionamento dello strumento.

Il tubo ha il compito di generare un fascio di elettroni (raggio catodico) che viene utilizzato come un pennello per "dipingere" sullo schermo l'*oscillogramma* ovvero la forma d'onda del segnale di interesse.

Per poter perseguire questo obiettivo, sono indispensabili una serie di circuiti e dispositivi che chiameremo *circuiti ausiliari*, esterni al tubo, che sono preposti al trattamento dei segnali. Agendo sui circuiti ausiliari con opportune regolazioni, è possibile ottenere la corretta rappresentazione dell'oscillogramma.

Descriviamo brevemente il CRT ed i circuiti ausiliari.

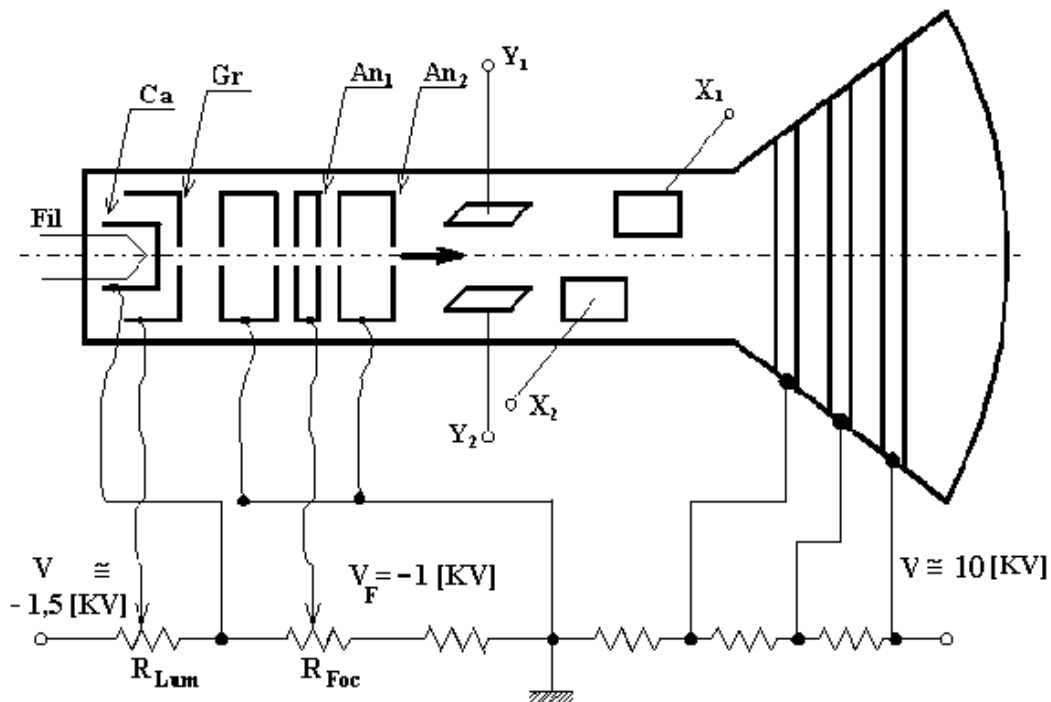


Figura 10.3

I costituenti essenziali del tubo a raggi catodici sono illustrati nella figura 9.1.

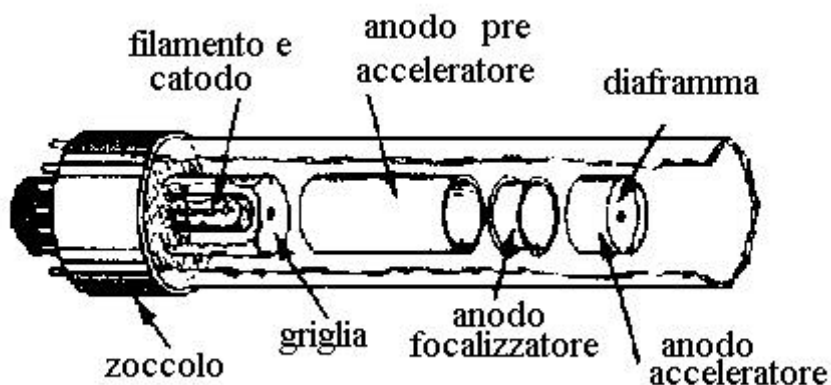
Lo zoccolo serve per collegare il tubo ai circuiti ausiliari, di cui parleremo in seguito, e per fornire le tensioni necessarie per alimentare il cannone elettronico (vedi figura 9.2). Quest'ultimo è preposto alla generazione e alla focalizzazione del raggio catodico.

Il fascio di elettroni viene generato riscaldando, mediante un *filamento* percorso da corrente, un tubicino ricoperto da sostanze che, a certe temperature, emettono un rilevante flusso di elettroni. Il tubicino costituisce il *catodo* del tubo.

Il catodo è racchiuso da una scatola cilindrica, chiamata *griglia*, sulla cui faccia rivolta verso lo schermo, è praticato un foro.

Applicando alla griglia un potenziale negativo rispetto al catodo, si genera un campo elettrico orientato dal catodo alla griglia (infatti il campo elettrico è orientato nel verso in cui i potenziali decrescono), che tende ad ostacolare il flusso di elettroni. Variando, tramite il potenziometro  $R_{Lum}$  (vedi figura 9.3), la tensione di griglia, otteniamo, quindi, una regolazione del flusso di elettroni.

A ciò corrisponde, come vedremo, una regolazione dell'intensità della traccia sullo schermo, e quindi della *luminosità* della stessa, talvolta denominata *beam intensity*. Tale regolazione viene eseguita tramite un apposito controllo posto sul pannello frontale dello strumento (vedi figura 9.4).



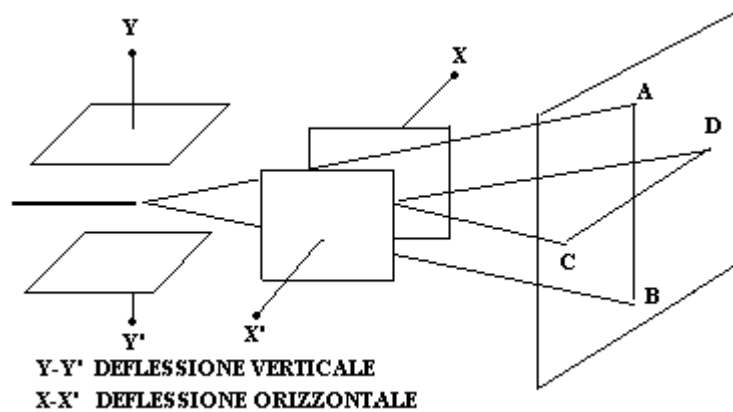


Figura 10.5 - Sistema di deflessione.

A valle della griglia troviamo degli elettrodi, detti *anodi*, che sono positivi rispetto alla griglia ed hanno due funzioni: attrarre gli elettroni del fascio e *focalizzare* il fascio in modo da avere una traccia concentrata sullo schermo. Gli anodi hanno quindi la funzione di “lenti elettrostatiche”. Anche di questi elettrodi è possibile modificare i potenziali con opportuni potenziometri ( $R_{\text{Foc}}$  in figura 9.3) che consentono di effettuare regolazioni di *fuoco* (vedi figura 9.4) e, talvolta, di *astigmatismo*.

Una volta prodotto il raggio catodico, è necessario usarlo, a mo' di pennello, per tracciare l'oscillogramma sullo schermo.

Per avere una rappresentazione bidimensionale, di tipo cartesiano, occorre imprimere al fascetto elettronico due spostamenti, detti *deflessioni*, ortogonali tra loro. Tale possibilità è garantita dal *sistema di deflessione* (vedi figura 9.5) costituito da due coppie di placchette di deflessione:



Figura 10.4

applicando una tensione alle placchette di deflessione verticale (disposte in senso orizzontale), si genera tra esse un campo elettrico che esercita una forza sugli elettroni del fascio, provocando la deflessione verticale dello stesso; analogamente, applicando una tensione alle placchette di deflessione orizzontale (disposte verticalmente), si ottiene una deflessione orizzontale del fascio. Combinando i due effetti, è possibile posizionare la traccia del fascio in un qualsiasi punto dello schermo.

Il fascio di elettroni incide con notevole velocità sulla superficie interna dello schermo del tubo. Su tale superficie sono depositate delle sostanze dette *fosfori*. L'energia della collisione tra elettroni e fosfori, induce il fenomeno della *luminescenza* nei fosfori, provocando la comparsa della traccia luminosa.

Esistono diversi tipi di fosfori che si distinguono per il colore della luce emessa e per la *persistenza*. Infatti l'emissione di luce da parte dei fosfori non si limita all'intervallo di tempo durante il quale gli elettroni colpiscono i fosfori (fluorescenza), ma perdura per un intervallo di tempo, detto, appunto, di persistenza, successivo allo spegnimento del fascio (fosforescenza).

Facciamo ora alcune considerazioni di carattere quantitativo sulla deflessione nel tubo, con riferimento, per esempio, alla deflessione verticale.

Dette:

- $V_a$  la tensione di accelerazione (tra catodo e anodo);
- $V_d$  la tensione applicata alle placchette;

e, considerati i parametri geometrici rappresentati in figura 9.6, si può dimostrare che la deflessione D è data da:

$$D = \frac{V_d * \ell * L}{2 * d * V_a} = V_d * S \quad (9.1)$$

Infatti D è direttamente proporzionale al campo elettrico  $V_d/d$  tra le placchette ed alla distanza L tra placchette e schermo; inoltre è direttamente proporzionale alla lunghezza  $\ell$  delle placchette ed inversamente proporzionale alla tensione di accelerazione  $V_a$ . Quest'ultima affermazione è giustificata dal fatto che all'aumentare di  $\ell$  aumenta il tempo durante il quale gli elettroni del fascio sono sottoposti all'azione di deflessione del campo tra le placchette e, al diminuire di  $V_a$ , diminuisce la velocità degli elettroni e quindi, ancora una volta, aumenta il tempo durante il quale gli elettroni del fascio sono sottoposti all'azione del campo.

La quantità:

$$S = \frac{\ell * L}{2 * d * V_a} \quad (9.2)$$

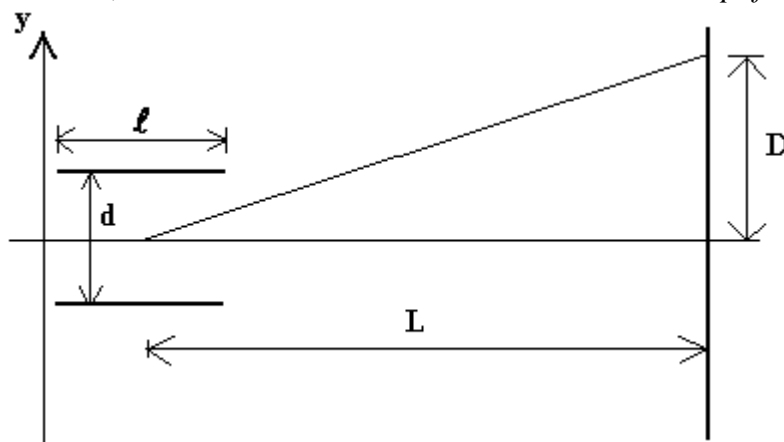
viene detta *sensibilità* del tubo e rappresenta la deflessione subita dal fascio in corrispondenza di una tensione unitaria applicata alle placchette di deflessione. Per avere una elevata sensibilità potremmo:

- aumentare  $\ell$  e L (senza però eccedere con le dimensioni del tubo);
- diminuire d (aumentando così il campo a parità di  $V_d$ );
- diminuire  $V_a$ .

Al diminuire di  $V_a$ , però, diminuisce la velocità, e quindi l'energia, degli elettroni. Questo comporta una diminuzione della luminosità della traccia.

Fissata  $V_a$ , la sensibilità dipende esclusivamente dai parametri geometrici del tubo. Un valore tipico può essere, ad esempio, 100 V/cm ovvero occorrono 100 V per produrre una deviazione della traccia di 1 cm.

Spesso vogliamo visualizzare tensioni molto più piccole per es. 1 mV allora, per ottenere deflessioni significative, occorre aumentare tale tensione mediante *amplificatori ad alto guadagno*



**Figura 10.6**

(per es.  $10^5$ ) che devono agire sia sul segnale applicato alle placche di deflessione verticale (CANALE Y) che sul segnale applicato alle placche di deflessione orizzontale (CANALE X).

Infine osserviamo che, poiché le placchette di deflessione orizzontale sono disposte ad una distanza dallo schermo diversa da quella delle placchette di deflessione verticale, allora le relative sensibilità saranno diverse.

Dopo aver descritto sommariamente la struttura del tubo a raggi catodici, vediamo quali sono gli altri componenti fondamentali di un oscilloscopio.

## 9.4 I circuiti ausiliari.

Abbiamo detto che per realizzare un oscillogramma che rappresenti una forma d'onda, dobbiamo generare un fascio di elettroni, e dobbiamo imprimergli due deflessioni ortogonali tra loro: una in senso verticale, proporzionale all'ampiezza del segnale da visualizzare, e una in senso orizzontale, che permetta di descrivere l'evoluzione della grandezza al variare del tempo. Tali deflessioni si realizzano applicando due segnali alle placchette di deflessione.

I circuiti che elaborano il segnale da applicare alle placchette di deflessione verticale, costituiscono il CANALE Y (o canale verticale); quelli che elaborano il segnale da applicare alle placchette di deflessione orizzontale, costituiscono il CANALE X (o canale orizzontale). I circuiti del canale orizzontale, che sono preposti alla generazione del segnale che permette la visualizzazione dell'andamento temporale di un segnale applicato al Canale Y, sono chiamati *base dei tempi*.

Illustriamo ora sinteticamente il funzionamento di questi circuiti e i principali comandi che operano su essi per ottenere la rappresentazione desiderata.

## 9.5 Il canale verticale o canale Y.

All'ingresso del canale verticale troviamo un connettore di tipo BNC con il quale portiamo il segnale "all'interno dell'oscilloscopio", ed un *selettore di ingresso* a tre posizioni (vedi figura 9.7) :

**dc** (direct coupling) che consente di fornire il segnale di ingresso "direttamente" allo stadio successivo, che è costituito da un attenuatore, senza effettuare alcuna elaborazione su di esso.

**gnd** (ground) che fornisce in ingresso il segnale nullo di riferimento.

**ac** (alternate coupling) che fornisce all'attenuatore il segnale di ingresso privato della

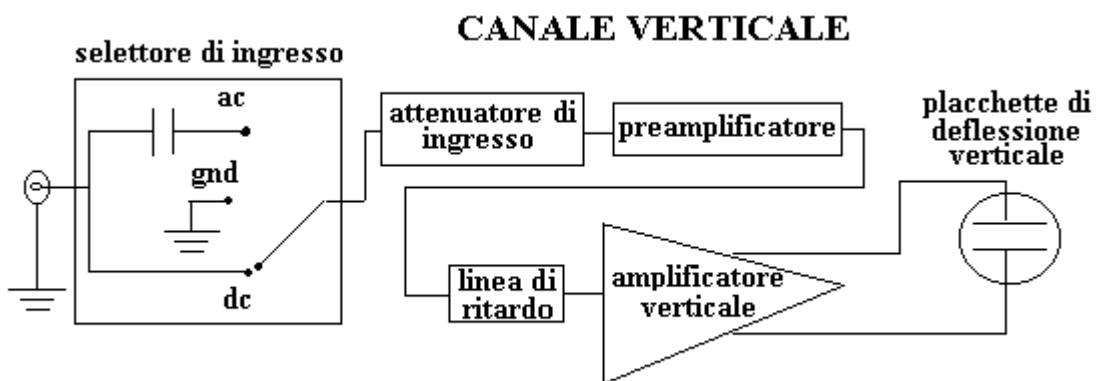


Figura 10.7

componente continua.

A valle del selettore di ingresso, troviamo il blocco preamplificatore/attenuatore. L'esigenza di disporre di tale blocco è dovuta al fatto che i segnali che possiamo visualizzare con l'oscilloscopio possono essere molto diversi, in valore, gli uni dagli altri; così, per esempio, un segnale di 2mV necessiterà di una amplificazione, mentre un segnale di 100 V necessiterà di una attenuazione in ingresso.

Notiamo che, per apprezzare le grandezze di interesse, sullo schermo è presente una griglia o un reticolo tarato in centimetri o in divisioni (distanza fra le righe del reticolo). Ebbene, sul pannello di controllo dello strumento, troviamo una manopola che, agendo sul guadagno del blocco atten/pream, consente di variare la sensibilità del canale verticale in modo da poter adeguare l'ampiezza del segnale di interesse alle dimensioni verticali dello schermo.

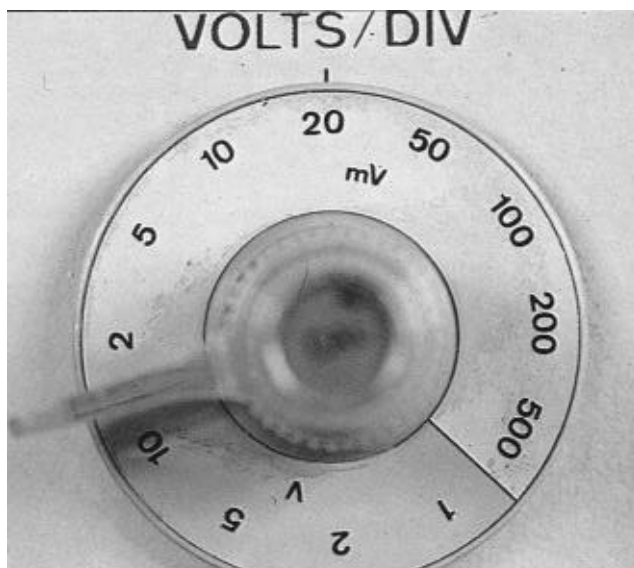


Figura 10.8

La regolazione è solitamente discontinua e presenta più scale di valori. Per convenzione i costruttori si uniformano su come suddividere e indicare la sensibilità dello strumento. Le scale seguono la progressione 1, 2, 5, 10, 20, 50 e così via.

La linea di ritardo serve per risolvere problemi di sincronizzazione di cui parleremo nella prossima lezione. Infine, c'è l'amplificatore che deve avere guadagno elevato e costante in tutta la banda dei segnali di interesse. Ovvero deve "trattare" allo stesso modo tutte le frequenze dei segnali in ingresso. La banda dell'amplificatore, e quella del tubo, determinano la banda dello strumento, che può essere definita come l'intervallo di frequenze che lo strumento può trattare senza introdurre distorsione. Un valore tipico della banda di un oscilloscopio è, per esempio, 250Mhz.

## 9.6 Il canale orizzontale o canale X.

Di solito il segnale applicato alle placchette di deflessione verticale, viene esaminato in funzione del tempo. A volte però può essere interessante visualizzare l'andamento di un segnale in funzione, non del tempo, ma di un altro segnale. Quest'ultimo deve essere applicato alle placchette di deflessione orizzontale. E' pertanto necessario disporre di un secondo canale: il canale X. Esso, in linea di principio, è del tutto analogo al canale verticale, salvo il guadagno (più contenuto) dell'amplificatore e l'assenza della linea di ritardo. Quando il selettore è in posizione A, la struttura raffigurata in fig. 9.9 non richiede ulteriori commenti.

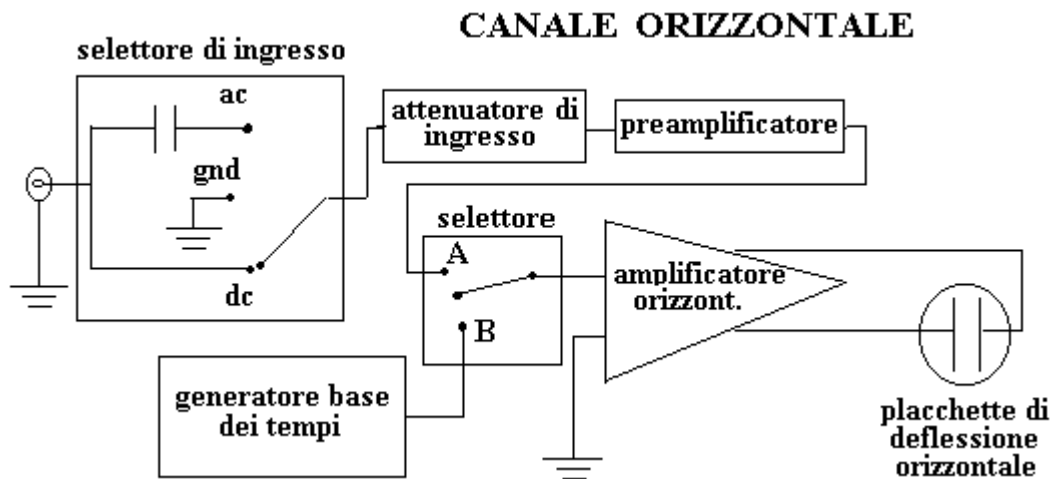


Figura 10.9

Continuiamo l'analisi della struttura dell'oscilloscopio esaminando il blocco denominato *generatore della base dei tempi* (vedi figura 9.9).

### 9.7 La base dei tempi.

Per capire il funzionamento della base dei tempi, supponiamo di voler rappresentare un segnale sinusoidale avente una ampiezza di 9 V ed una frequenza di 100 Hz.

Per visualizzare una forma d'onda come quella in figura 9.10, dobbiamo applicare alle placchette di deflessione verticale il segnale a variazione sinusoidale e, alle placchette di deflessione orizzontale, un segnale che provochi una deflessione del fascio (da sinistra verso destra), che aumenti proporzionalmente al trascorrere del tempo.

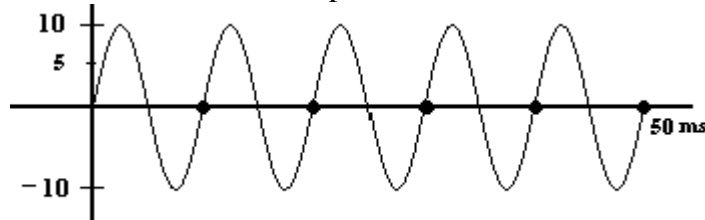


Figura 10.10

Il segnale desiderato è quindi un segnale a rampa lineare. Questa tensione provoca uno spostamento (orizzontale) a velocità costante della traccia sullo schermo. Infatti ricordiamo che tra le placchette è presente un campo elettrico proporzionale alla tensione applicata e, quindi, all'aumentare della tensione della rampa, aumenta l'azione del campo e, di conseguenza, la deflessione.

Quando la traccia arriva al bordo destro dello schermo (in corrispondenza della massima tensione della rampa  $V_m$ ), occorre riportarla a sinistra. Ciò è realizzato portando a zero la tensione applicata alle placchette di deflessione orizzontale.

Quando la traccia sarà tornata sul bordo sinistro, sarà possibile effettuare una nuova *scansione* dello schermo, e quindi alle placchette di deflessione orizzontale sarà applicata un'altra rampa lineare di tensione.

In definitiva il segnale da applicare al sistema di deflessione orizzontale è del tipo a *dente di sega* (vedi figura 9.11).

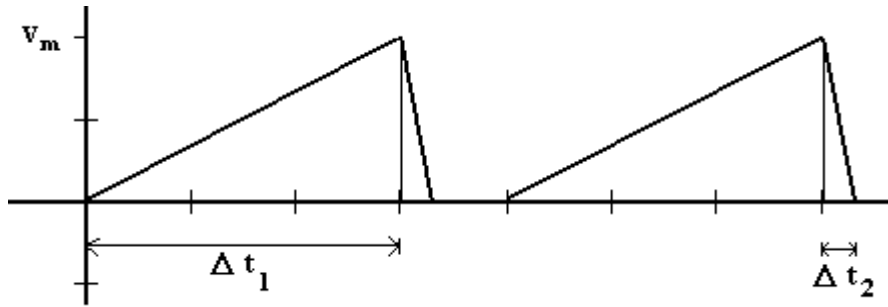


Figura 10.11

$\Delta t_1$  è l'intervallo di tempo che occorre perché il pennellino elettronico effettui una scansione completa dello schermo (spostamento orizzontale da sinistra a destra). L'intervallo  $\Delta t_2$ , invece, è quello che occorre per riportare il pennello a sinistra dello schermo.  $\Delta t_2$  è in genere proporzionato in modo da risultare molto minore di  $\Delta t_1$  rendendo la velocità del pennello durante la traccia di "ritorno" molto maggiore di quella relativa all'intervallo  $\Delta t_1$ . Poiché la luminosità della traccia è inversamente proporzionale alla velocità del pennello, durante il ritorno la traccia risulta molto meno intensa. Inoltre, per evitare di visualizzare sullo schermo code luminose durante la traccia di ritorno (che, anche se di minor intensità luminosa, risulterebbero comunque fastidiose per l'operatore), tutti gli oscilloscopi sono provvisti di un apposito circuito (detto appunto circuito di spegnimento) che ha lo scopo di interdire il pennellino elettronico durante l'intervallo  $\Delta t_2$  e quindi di "spegnere la traccia durante il suo percorso di ritorno da destra a sinistra. Tale comando automatico funziona inviando un apposito impulso negativo di durata  $\Delta t_2$  alla griglia di controllo.

Nella descrizione della base dei tempi è, inoltre, utile definire un terzo intervallo di tempo,  $\Delta t_{HO}$ , detto *tempo di hold-off* (regolabile dall'operatore con un opportuno comando), successivo all'intervallo  $\Delta t_2$ , la cui funzione sarà descritta in dettaglio nel seguito.

A titolo di esempio, se vogliamo rappresentare due periodi del segnale raffigurato in figura 9.10,

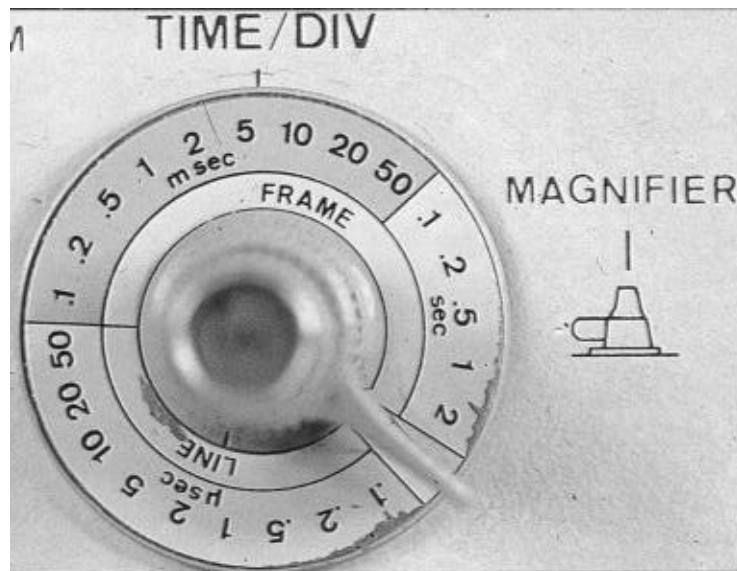


Figura 10.12

avente frequenza di 100 Hz (e quindi periodo di 10 ms), allora dovremo imporre  $\Delta t_1 = 20$  ms. La regolazione del tempo di scansione orizzontale  $\Delta t_1$  si ottiene agendo sulla manopola riportata in figura 9.12. Tale comando agisce sulla pendenza del dente di sega. In tal modo si varia il tempo che il dente di segna impiega per raggiungere l'ampiezza  $V_m$  (fissata al valore che determina lo spostamento orizzontale del pennello sul bordo destro dello schermo) e, quindi, si varia la durata della parte del segnale da visualizzare. Tale regolazione è discontinua e tarata in secondi per divisione. Se, come normalmente avviene, l'oscilloscopio presenta 10 divisioni orizzontali, per

visualizzare su tutto lo schermo un evento che dura 20 ms (come ipotizzato in questo esempio), dovremo impostare sulla base dei tempi un valore di 2 ms/div.

Per evitare che, trascorso il tempo di permanenza dell'immagine sui fosfori dello schermo, la traccia svanisca, bisogna far in modo che la traccia disegnata durante una scansione dello schermo, sia ripercorsa esattamente sugli stessi punti durante la scansione successiva. In questo modo, grazie alla persistenza dell'immagine sui fosfori, possiamo ottenere una rappresentazione del segnale ben visibile, e fissa sullo schermo.

Per ottenere tale risultato, ipotizzando il segnale di interesse periodico, è sufficiente far ricorso ad appositi circuiti, detti *circuiti di sincronizzazione*, dei quali studieremo solo il principio di funzionamento ed i relativi comandi presenti sul pannello di controllo dell'oscilloscopio, senza scendere nei dettagli realizzativi.

## 9.8 Il problema della sincronizzazione.

Per capire a cosa serve la sincronizzazione, torniamo al problema della visualizzazione di un segnale periodico (ad esempio sinusoidale) e, per il momento, supponiamo di voler visualizzare un solo periodo di tale tensione sinusoidale avente una ampiezza di 10 V e una frequenza di 100 Hz (e, quindi, un periodo di 10 ms).

Supponendo che lo schermo disponga di 10 divisioni sull'asse X dei tempi e 10 sull'asse Y delle ampiezze (5 per i valori positivi e 5 per i negativi), per occupare l'intero schermo, dovremo selezionare 1 ms/div per l'asse X e 2 V/div per l'asse Y.

Supponiamo inoltre di voler rappresentare il periodo della sinusoide, non a partire dal valore 0V ma dal valore 6V con pendenza (derivata) positiva (vedi figura 9.13).

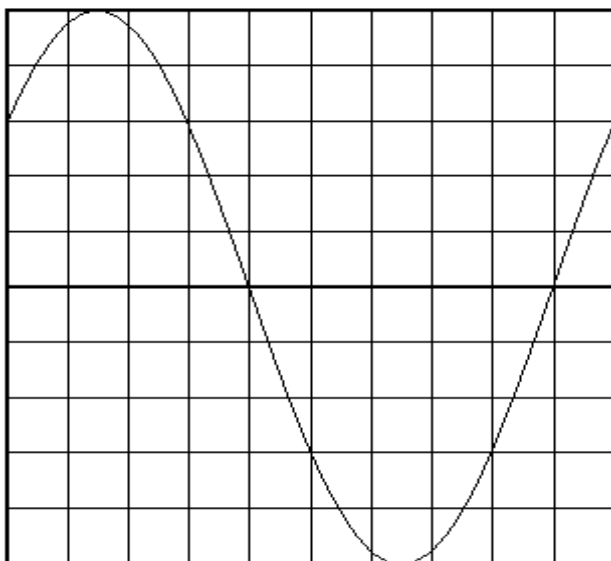


Figura. 10.13

Affinché ciò sia possibile, occorre che la rampa di tensione applicata alle placchette di deflessione orizzontale, e quindi la scansione orizzontale, inizi quando la tensione da visualizzare raggiunge il valore di 6 V, pervenendo a tale valore a partire da valori inferiori.

Occorre quindi sincronizzare il segnale a dente di sega col segnale da visualizzare (vedi figura 9.14).

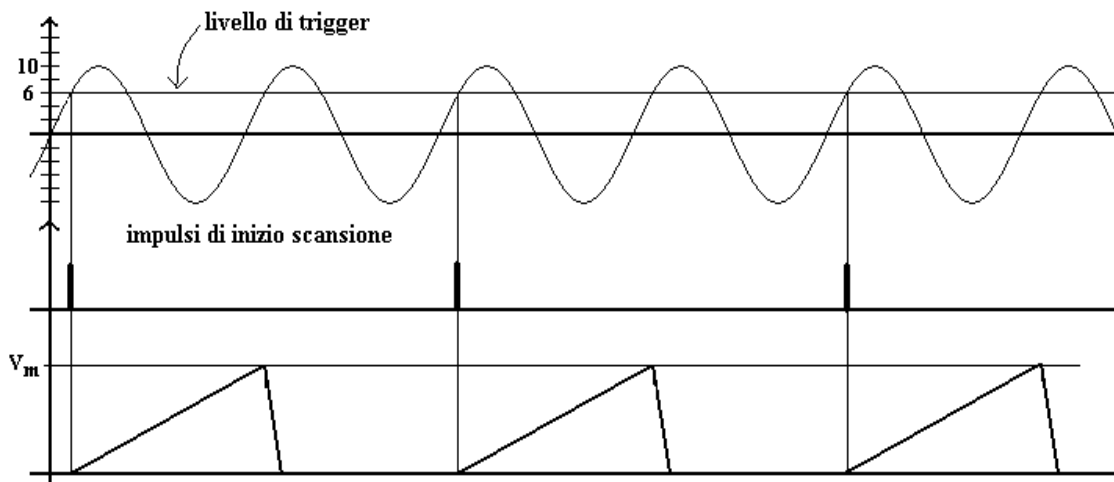


Figura 10.14

Sul pannello di comando dell'oscilloscopio è, a tal uopo, presente una manopola che permette di regolare il *livello di trigger*, ovvero il valore dal quale iniziare la scansione (6 V nell'esempio). Inoltre, è presente un commutatore a due posizioni, denominato *slope*, che serve per determinare la pendenza (positiva o negativa) in corrispondenza della quale, raggiunto il livello di trigger fissato, deve partire la scansione.

Se al segnale da visualizzare è sovrapposto un segnale di disturbo (rumore) che rende difficile paragonare il segnale di sincronismo al livello di trigger (figura 9.15) e, quindi, determinare esattamente gli istanti di inizio scansione, allora può essere utile utilizzare, come segnale di sincronizzazione, un altro segnale.

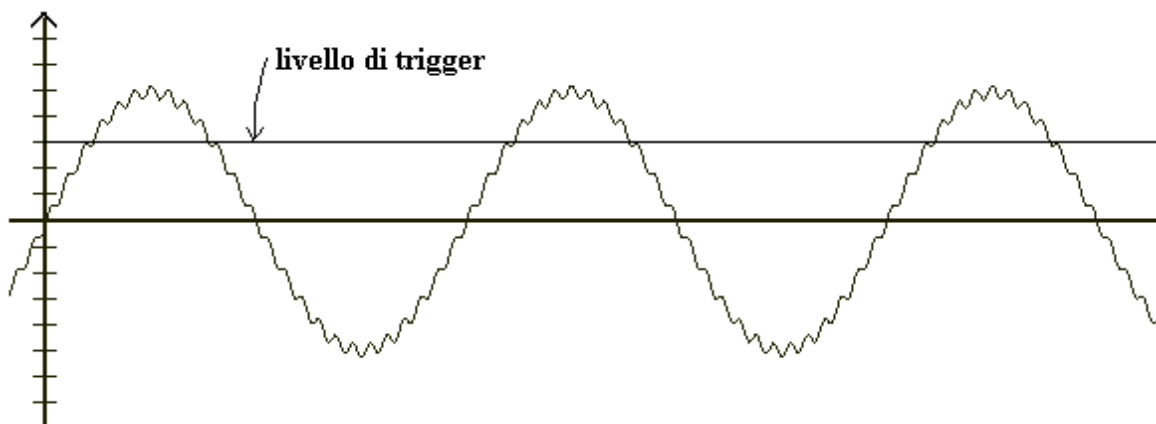


Figura 10.15

Quest'ultimo deve essere isofrequenziale al segnale da rappresentare. Tra le possibili scelte offerte dagli oscilloscopi commerciali esiste la possibilità di selezionare, attraverso un apposito commutatore, come segnale di sincronizzazione, in alternativa al segnale da visualizzare (posizione INT), la tensione della rete di alimentazione (posizione LINE), oppure un segnale esterno (posizione EXT) acquisito attraverso un connettore (EXT TRIGGER) collocato sul pannello frontale dell'oscilloscopio (figura 9.16).

In assenza del segnale di sincronizzazione, non vengono generati gli impulsi di inizio scansione (fig. 9.14), e quindi non si ha alcuna scansione orizzontale. Pertanto, se vogliamo comunque ottenere una traccia orizzontale di riferimento sullo schermo (per es. per motivi di taratura), possiamo azionare il comando *auto*, che fa partire la base dei tempi senza alcun segnale di sincronizzazione.

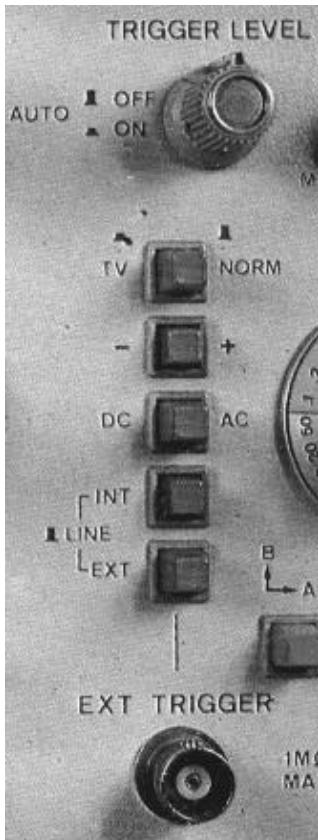


Figura 10.16

Facendo riferimento alla figura 9.14, c'è da precisare che, per problemi di varia natura (soglie nei circuiti, ritardi di risposta, ecc.), il tratto ascendente del dente di sega, inizia con un leggero ritardo rispetto agli istanti di incrocio tra livello di trigger e segnale di sincronismo. Ciò renderebbe impossibile la visualizzazione del tratto iniziale del segnale. Tale problema è particolarmente avvertito nella visualizzazione di segnali non ripetitivi. A questo problema si ovvia dotando il canale verticale di una *linea di ritardo*. Essa ha il compito di presentare alle placchette di deflessione verticale, il segnale da visualizzare con un ritardo tale da compensare il ritardo presente sul canale X.

Infine, confrontando le figure 9.14 e 9.17, osserviamo che, una volta stabilita la durata del dente di sega, ovvero dell'intervallo temporale da visualizzare, non tutti gli eventi del tipo: "il segnale di sincronismo ha raggiunto il livello di trigger desiderato con la pendenza desiderata", devono far partire una nuova rampa, ovvero una nuova scansione dello schermo. Gli impulsi che capitano durante gli intervalli di tempo consecutivi:  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_{HO}$ , prima definiti, devono essere ignorati. Questo compito è realizzato da un circuito della base dei tempi detto circuito di *hold off*.

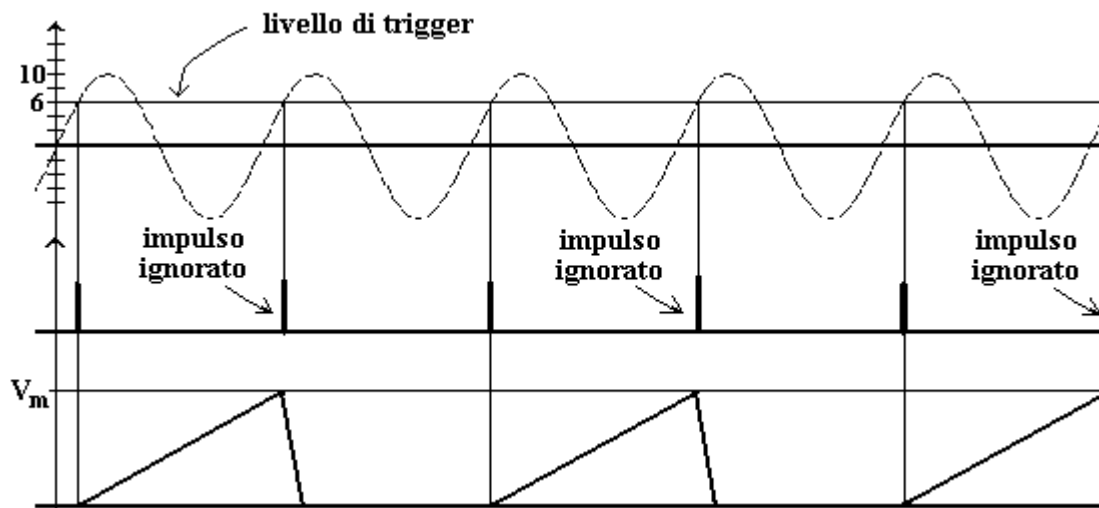
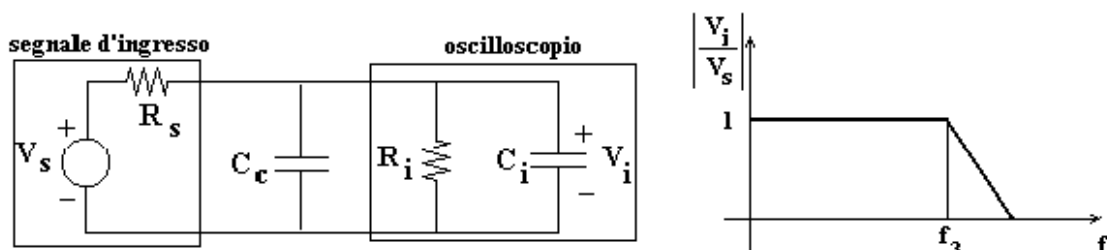


Figura 10.17

## 9.9 La sonda.

L'oscilloscopio ha, solitamente, un'impedenza di ingresso rappresentabile con il parallelo di una resistenza  $R_i$  dell'ordine del megaohm ed una capacità  $C_i$  di poche decine di picofarad.

Per acquisire dal mondo esterno un segnale da visualizzare, è necessario utilizzare un cavetto schermato ed una sonda. La necessità di avere un collegamento schermato dipende dal fatto che, avendo lo strumento una elevata sensibilità, in assenza di schermatura, potrebbero essere "raccolti" dall'ambiente, e quindi visualizzati, segnali indesiderati detti segnali di *rumore*. Il cavo presenta, solitamente, una capacità per unità di lunghezza verso massa dell'ordine di 1 pF/cm; quindi un cavetto di un metro si comporta come un condensatore di un centinaio di pF. Il suo effetto può essere, per certi valori di frequenza, tutt'altro che trascurabile.



Detta  $C_c$  tale capacità, possiamo schematizzare l'insieme costituito dal segnale di ingresso (modellato alla Thevenin), dal cavetto, e dall'oscilloscopio con il circuito di fig. 9.18. Si può dimostrare che tale sistema si comporta come un filtro passa-basso, attenuando le frequenze del segnale di ingresso a partire da una certa frequenza, detta "frequenza di taglio". Per compensare questa distorsione si utilizza la sonda. Essa può essere rappresentata con un coppia RC, come evidenziato in figura 9.19 dove abbiamo riunito, nella capacità  $C_e$ , la capacità di ingresso dell'oscilloscopio e quella del cavetto.

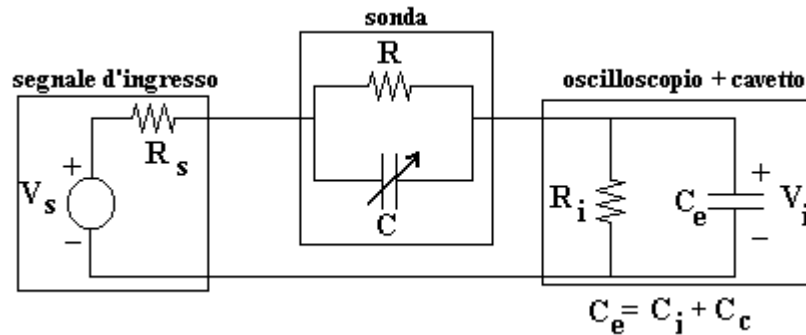


Figura 10.19

Regolando il valore della capacità  $C$ , si può raggiungere la condizione:

$$R * C = R_i * C_e \quad (9.3)$$

che garantisce la non distorsione, ovvero si rende il funzionamento dello strumento indipendente dalla frequenza. Per effettuare tale regolazione, l'oscilloscopio dispone di un *calibratore*, ovvero di un generatore di onda quadra di ampiezza e frequenza note. Ebbene,

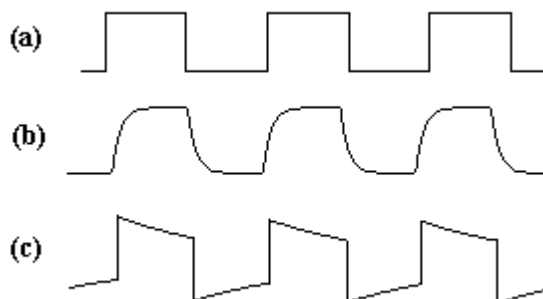


Figura 10.20

regolando la capacità  $C$ , se realizziamo la condizione (9.3), allora l'oscillogramma rappresenterà, correttamente, l'immagine (a) di figura 9.20. Altrimenti, il sistema complessivo attenuerà (immagine (b) in figura 9.20), oppure esalterà (immagine (c) in figura 9.20) le frequenze alte dell'onda quadra, che corrispondono alle discontinuità del segnale.

Infine osserviamo che la sonda può essere utilizzata come un partitore resistivo per portare all'ingresso dell'oscilloscopio segnali con ampiezze molto elevate.

## 9.9 Calibrazione dello strumento.

Prima di iniziare ad effettuare una misurazione, occorre effettuare una serie di regolazioni per "tarare" lo strumento. Infatti l'oscilloscopio è una macchina complessa che può avere 30-40 comandi diversi sul pannello frontale. Ebbene è sufficiente che uno solo di essi sia regolato in maniera non adeguata per impedire la corretta formazione dell'immagine.

Descriviamo allora la funzione dei comandi principali che si trovano sul pannello di un oscilloscopio.

Position:

Questo comando, a regolazione continua, aggiunge un offset al segnale verticale (o a quello orizzontale), in modo da produrne una traslazione verticale (o orizzontale) continua rigida.

In assenza di segnale verticale, questo comando consente di posizionare la traccia orizzontale, ottenuta azionando il pulsante *auto*, esattamente al centro dello schermo.

Beam find:

Azionando il relativo pulsante (vedi figura 9.4), la traccia compare al centro dello schermo e, dal seguente comportamento, si ricavano informazioni utili per posizionare correttamente la traccia. Ad esempio, se rilasciando il pulsante la traccia scompare verso l'alto, si dovrà agire sul comando di posizione verticale prima descritto.

Rotation:

Produce una rotazione rigida di tutto l'oscillogramma. Può essere utile per allineare la traccia orizzontale ad una linea del reticolo sovrapposto allo schermo.

## 9.11 Oscilloscopio a doppia traccia (o a doppio canale).

L'oscilloscopio a doppia traccia consente la rappresentazione "contemporanea" di due segnali diversi, permettendo, così, di effettuare confronti diretti di ampiezza, di frequenza, di fase, ecc. Vi sono due sistemi diversi per ottenere una doppia traccia su un solo tubo a raggi catodici:

1. utilizzare un CRT a doppio cannone elettronico;
2. munire l'oscilloscopio di due attenuatori/preamplificatori verticali, ed un commutatore elettronico avente il compito di inviare alle placchette di deflessione verticale i due segnali in tempi diversi.

Nel primo caso, l'oscilloscopio è dotato di un tubo a raggi catodici contenente due cannoni elettronici, due sistemi di deflessione completi ma un unico schermo. Questa soluzione consente effettivamente la visualizzazione contemporanea di due forme d'onda. Analizziamo ora la seconda soluzione, che è certamente la più diffusa in quanto quella economicamente più conveniente. La struttura dello strumento è rappresentata in figura 9.21.

Esistono due canali, chiamati 'A' e 'B', ambedue con la struttura di un canale verticale.

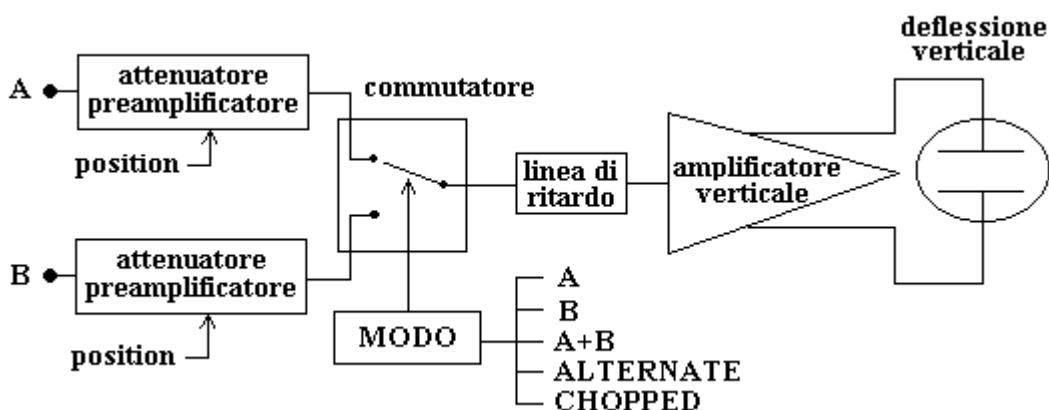


Figura 10.21

All'ingresso troviamo i soliti circuiti di entrata che comprendono due blocchi di attenuaz./amplificaz. sui quali agiscono i comandi per regolare separatamente la sensibilità verticale, e due comandi (*position*) di posizionamento verticale.

I segnali vengono applicati ad un unico amplificatore verticale attraverso un commutatore elettronico detto *commutatore di modo*.

Quest'ultimo permette diverse opzioni:

- 1) visualizzare il solo segnale A;
- 2) visualizzare il solo segnale B;
- 3) visualizzare il segnale somma A+B;
- 4) visualizzare segnale B con il segno invertito;
- 5) visualizzare i segnali A e B in modalità "chopped";
- 6) visualizzare i segnali A e B in modalità "alternate".

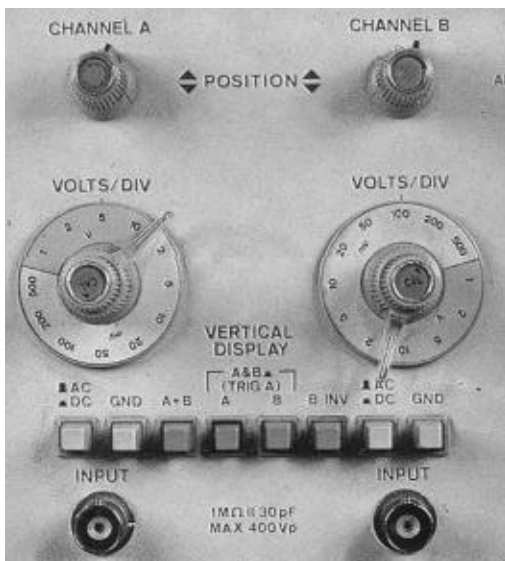


Figura 10.22

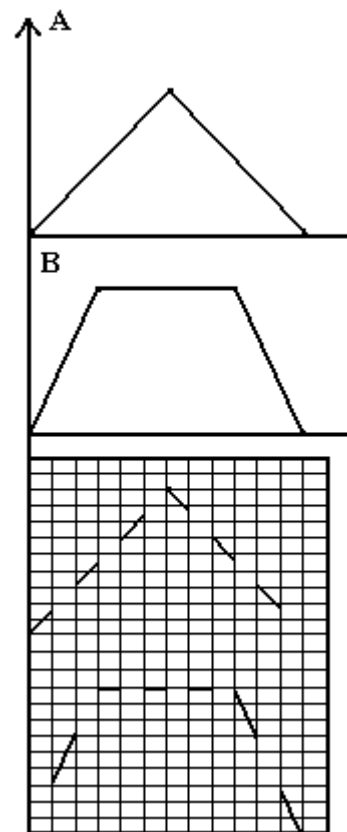


Figura 10.23

Analizziamo in dettaglio le ultime due opzioni. Nel modo di funzionamento "chopped" la commutazione è effettuata ad una frequenza fissa (solitamente abbastanza elevata per es. 500 KHz). I segnali applicati ai canali A e B, verranno forniti alternativamente all'amplificatore verticale e, quindi, verranno rappresentati a segmenti temporali (della medesima lunghezza) alternati (figura 9.23).

Quanto maggiore è la frequenza di commutazione rispetto alla frequenza dei segnali, tanto maggiore sarà il numero dei segmenti temporali e quindi tanto minore sarà la loro durata. Avremo quindi una rappresentazione con "molti segmenti vicini gli uni agli altri" che quindi approssima una figura continua. In questa modalità che, come abbiamo visto, è adatta a rappresentare segnali a frequenza non troppo elevata, le relazioni di fase tra i segnali sono conservate.

I due segnali possono essere sfalsati verticalmente mediante i comandi "position" di posizionamento verticale (vedi figura 9.22).

Per segnali a frequenze elevate, è preferibile usare il modo di funzionamento "alternate", la commutazione tra i canali A e B avviene al termine di ogni scansione orizzontale: durante una rampa del dente di sega della base dei tempi, viene rappresentato il segnale sul canale A; durante la rampa successiva, viene rappresentato il segnale del canale B, e così via.

La sincronizzazione (vedi fig. 9.22) può avvenire sul segnale A, sul segnale B, oppure su entrambi alternativamente (punto P d figura 9.24). Se, però, avviene nel punto P, ovvero una volta

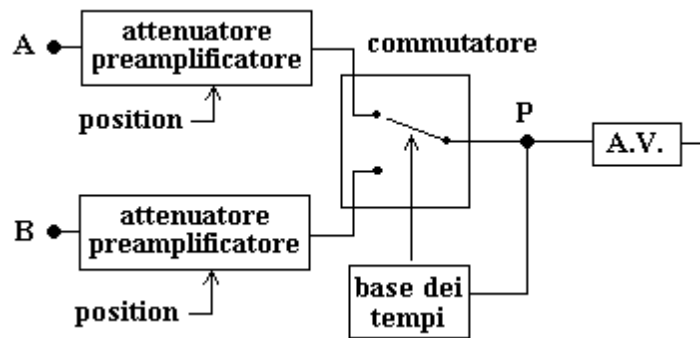


Figura 10.24

sul segnale A e una volta sul segnale B, si perdono le relazioni di fase tra i due segnali.