

# **OSCILLOSCOPIO ANALOGICO**

## INDICE

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Principio di funzionamento .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Il tubo a raggi catodici .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Cannone elettronico .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Sistema di deflessione .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 Schermo.....</b>	<b>8</b>
<b>4. Canale verticale.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Selettore di ingresso. ....</b>	<b>10</b>
<b>4.2 Attenuatore di ingresso.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3 Preamplificatore.....</b>	<b>11</b>
<b>4.4 Linea di ritardo. ....</b>	<b>12</b>
<b>4.5 Amplificatore finale. ....</b>	<b>12</b>
<b>5 Il canale di amplificazione orizzontale.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1 Generatore di rampa. ....</b>	<b>14</b>
<b>5.2 Amplificatore finale. ....</b>	<b>15</b>
<b>6. Circuito di sincronismo. ....</b>	<b>16</b>
<b>6.1 Selettori di ingresso.....</b>	<b>17</b>
<b>6.2 Amplificatore di Trigger. ....</b>	<b>18</b>
<b>6.3 Generatore di Trigger.....</b>	<b>19</b>
<b>6.4 Base dei tempi.....</b>	<b>21</b>
<b>7 Base dei tempi ritardata. ....</b>	<b>27</b>
<b>8 Sonde. ....</b>	<b>30</b>
<b>8.1 Sonde passive.....</b>	<b>30</b>
<b>9 Oscilloscopi a tracce multiple.....</b>	<b>34</b>

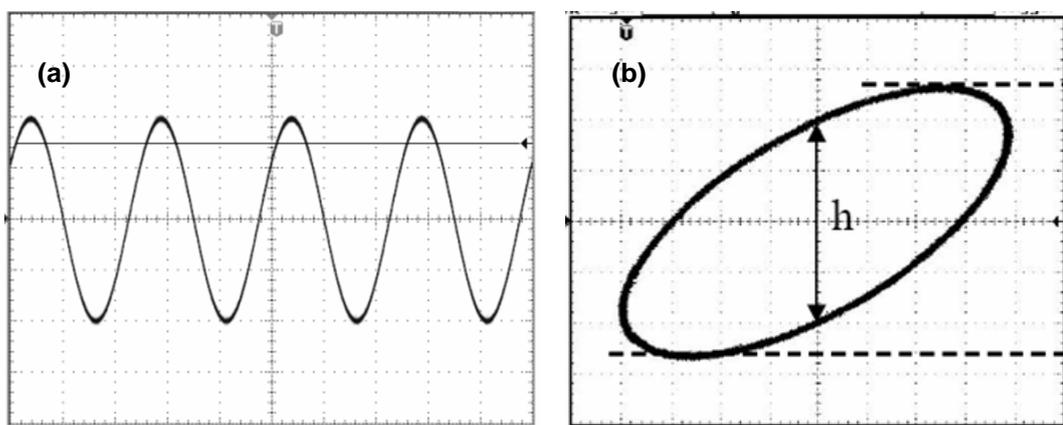
# 1. Introduzione

L'oscilloscopio è uno strumento che è in grado di riprodurre e misurare le forme d'onda di segnali di tensione su di uno schermo attraverso un opportuno pennello elettronico. L'utilità dell'oscilloscopio come strumento di misura non si limita all'analisi di segnali elettrici, in quanto grazie all'impiego di sensori e trasduttori è in grado di visualizzare l'evoluzione nel tempo di un numero elevato di grandezze fisiche. Di conseguenza l'oscilloscopio è tra i più diffusi ed utilizzati strumenti di misura. Dalla sua prima realizzazione (Braun 1898), l'oscilloscopio analogico ha subito una rapida evoluzione sia in termini di prestazioni sia di capacità di misura. Attualmente, gli oscilloscopi analogici sono stati quasi soppiantati dagli oscilloscopi digitali che sono caratterizzati da un ottimo rapporto qualità prezzo; nell'analisi di segnali in tempo reale gli oscilloscopi analogici rimangono comunque strumenti insostituibili.

Uno oscilloscopio analogico presenta due diverse modalità di funzionamento:

- **Modalità base dei tempi;**
- **Modalità xy.**

Nella modalità base dei tempi è possibile visualizzare il segnale seguendo la sua evoluzione temporale  $V_y=v(t)$ . Nella modalità xy è possibile visualizzare l'andamento di una tensione  $V_y$  in funzione di un'altra tensione  $V_x$ .



**Fig. 1 (a) Visualizzazione di un segnale in modalità base dei tempi; (b) visualizzazione di un segnale in modalità xy (sui due assi sono applicate due sinusoidi alla stessa frequenza e sfasate tra loro).**

Anche se poco utilizzato in pratica esiste una terza modalità di funzionamento, nella quale si utilizza un ulteriore comando esterno  $V_z$ , mediante il quale si ottiene una modulazione del segnale luminoso.

## 2 Principio di funzionamento

Il cuore dell'oscilloscopio analogico è il tubo a raggi catodici, costituito da uno speciale tubo termoelettronico a vuoto spinto, in cui un fascio di elettroni (raggio catodico) viene focalizzato su uno schermo in modo da produrre su questo un punto luminoso. Lungo il percorso del fascio di elettroni sono disposte due coppie, mutuamente ortogonali, di placchette di deflessione alle quali vengono applicati i segnali elettrici che determinano l'oscillogramma. In fig. 2 è riportato uno schema a blocchi dell'oscilloscopio:

- **TRC:** tubo a raggi catodici sul cui schermo si ottiene la visualizzazione della curva;
- **Sistema di amplificazione verticale:** riceve in ingresso il segnale da visualizzare e lo rende adatto per poterlo applicare alle placchette di deflessione verticale (lungo asse  $y$ );
- **Sistema di deflessione orizzontale:** modifica il segnale in ingresso per renderlo adatto alle placchette di deflessione orizzontale; in modalità  $xy$  avrà in ingresso la tensione  $V_x$ , in modalità base dei tempi, invece riceverà un segnale a dente di sega (vedi paragrafo 5.1);
- **Base dei tempi:** genera il segnale a dente di sega necessario per la visualizzazione del segnale in modalità base dei tempi;
- **Circuito di sincronismo:** serve per sincronizzare la deflessione verticale con quella orizzontale (vedi paragrafo 6);
- **Circuito porta:** (detto anche circuito di unblanking) agisce sull'intensità luminosa del fascio.

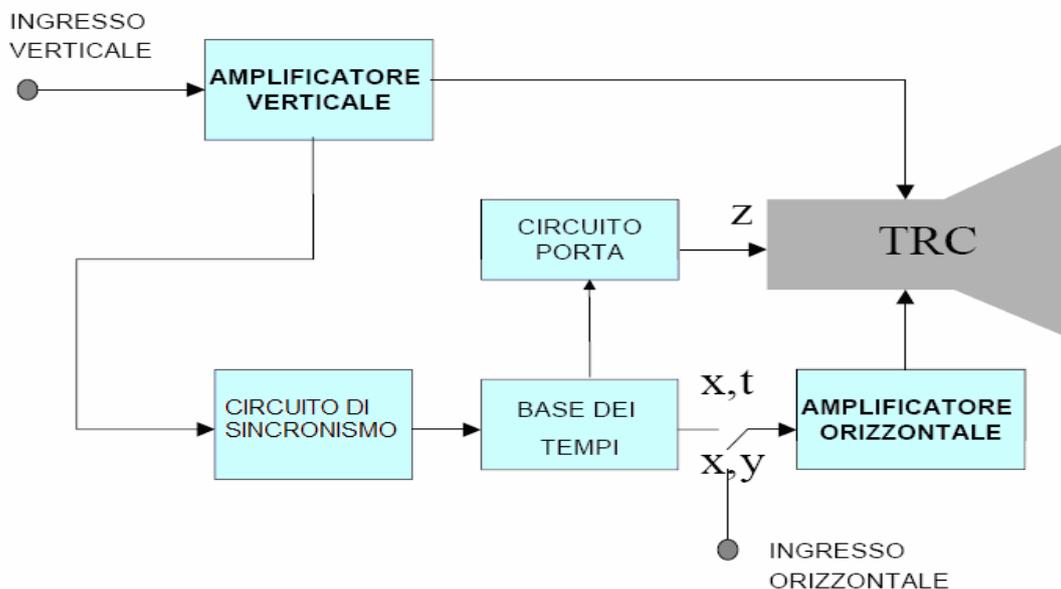


Fig. 2\_Schema a blocchi dell'oscilloscopio analogico.

### 3 Il tubo a raggi catodici

Il tubo a raggi catodici, il CRT, rappresenta il nucleo fondamentale dell'intero oscilloscopio analogico. Al suo interno viene generato un fascio di elettroni che dopo aver colpito lo schermo ricoperto di fosfori risulterà visibile all'utente. In figura 3 è presentato uno schema dettagliato del CRT.

in esso è possibile evidenziare essenzialmente tre sezioni principali:

- 1) **Cannone elettronico;**
- 2) **Sistema di deflessione;**
- 3) **Schermo.**

#### 3.1 Cannone elettronico

Questo primo blocco ha lo scopo di emettere un fascio di elettroni con velocità costante nella direzione delle z. Il nucleo di tale blocco è costituito dal catodo termoelettrico C. Esso è formato da un cilindro metallico (nickel rivestito di ossidi di bario e stronzio) che viene riscaldato a una temperatura che oscilla tra gli 800 e i 1000 °C tramite un filamento F collocato nel catodo stesso e da esso isolato elettricamente.

La qualità degli elettroni emessi è regolata da un elettrodo, posto in prossimità del catodo, comunemente chiamato griglia (G) o più frequentemente cilindro di Wehnelt. La griglia ha una forma cilindrica coassiale al catodo il quale sarà quindi contenuto al suo interno, è dotata di un foro centrale ed è mantenuta a un potenziale e più negativo di quello del catodo e variabile. La funzione della griglia è duplice, in quanto deve sia respingere gli elettroni che non si trovano allineati col

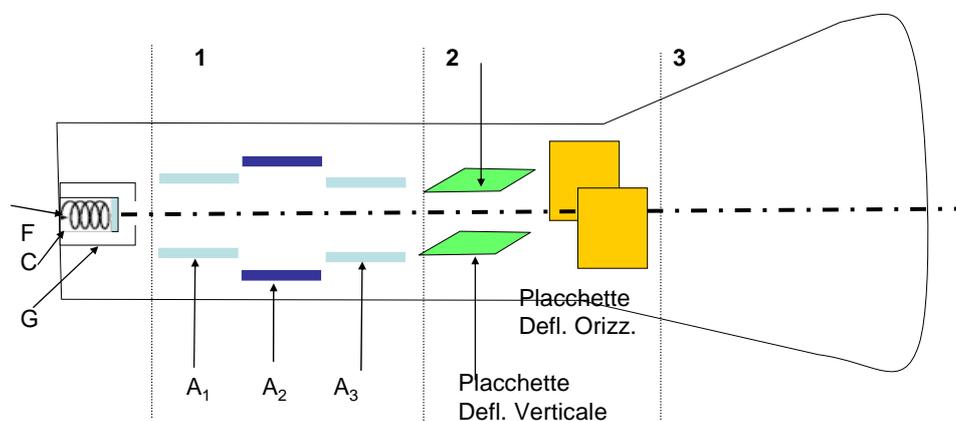


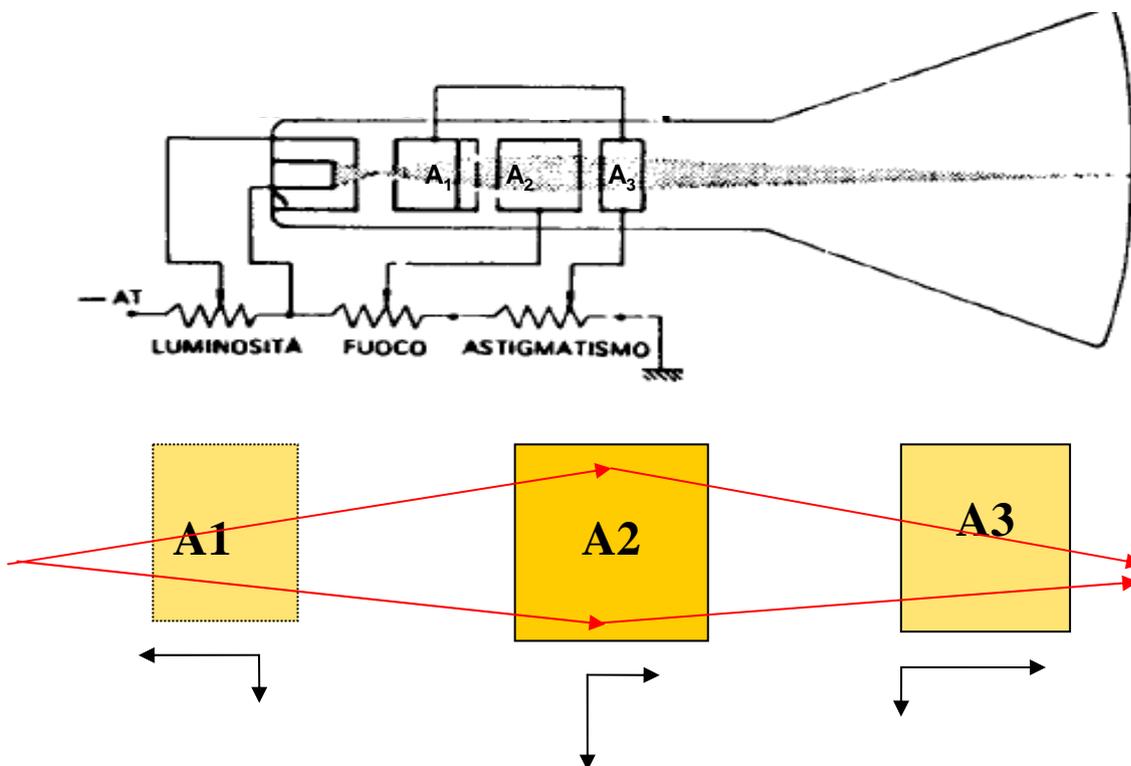
Fig. 1\_Tubo a raggi catodici a deflessione elettrostatica.

foro centrale (asse z) e sia regolare l'intensità del fascio di elettroni emessi. Tale regolazione si ottiene variando il potenziale della griglia mediante un comando esterno (intensity).

Al fine di migliorare la visualizzazione sullo schermo si deve ridurre la sezione del fascio di elettroni e accelerare gli stessi (l'intensità luminosa è proporzionale all'energia cinetica degli elettroni che raggiungono i fosfori), operazioni che vengono compiute dalla così detta sezione anodica di focalizzazione. Il numero e la forma degli anodi (detti anche lenti elettroniche) varia da una casa produttrice ad un'altra, in Fig. 4 è riportato l'esempio di un sistema con tre anodi (A1, A2 e A3). I tre anodi possono essere visti come tre lenti che focalizzano il fascio di elettroni. In A1 il fascio viene rallentato, in A2 lo si fa convergere e infine viene accelerato in A3.

L'accelerazione degli elettroni è dovuta dal potenziale del catodo mantenuto a un valore più negativo rispetto a quello dell'anodo, dell'ordine di qualche migliaio di volt. Modificando il potenziale dell'elettrodo centrale A2, che sarà sempre più negativo di quello di A1 e A3 (fissati a massa) è possibile far variare la focalizzazione della forma d'onda sullo schermo. La messa a fuoco può essere regolata dal pannello frontale tramite il comando focus.

In uscita dal cannone elettronico, si ha, quindi, un fascio di elettroni allineato e focalizzato nel punto centrale dello schermo.



**Fig. 4 Schematizzazione della sezione di focalizzazione**

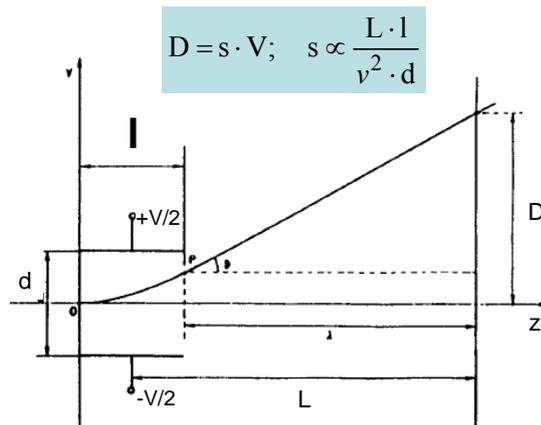


Fig. 5\_Schematizzazione delle placchette di deflessione verticale.

### 3.2 Sistema di deflessione

Il fascio di elettroni focalizzato attraversa la sezione di deflessione nella quale viene spostato lungo la direzione orizzontale  $x$  e in quella verticale  $y$ . Questa sezione è costituita da quattro due coppie di placchette tra loro ortogonali. Ciascuna coppia è costituita da due placchette metalliche tra loro parallele o leggermente divergenti. Le prime due placchette andranno a modulare la deflessione verticale mentre le seconde quella orizzontale. Il loro funzionamento è abbastanza semplice, infatti, è sufficiente applicare una differenza di potenziale bilanciata tra i due conduttori che tra di loro si genera un campo elettrico in grado di modificare la traiettoria degli elettroni. Un parametro molto importante, utilizzato per la caratterizzazione dei tubi a raggi catodici, è la sensibilità della deflessione (Fig. 5) definita come il rapporto tra lo spostamento dal centro dello schermo e la tensione applicata  $s=D/V$ .

Si può dimostrare che l'espressione della sensibilità è proporzionale a :  $(l \cdot L) / (v \cdot d)$

Dove le grandezze rappresentano (vedi Fig.5) :

- $l$  la lunghezza delle placchette;
- $L$  la distanza tra lo schermo e il punto centrale delle placchette di deflessione;
- $d$  la distanza tra le due placchette;
- $v$  la velocità del fascio nella direzione  $z$ .

Quindi per avere un'elevata sensibilità occorrerebbe:

- Una elevata lunghezza  $L$ ;
- Placchette lunghe e vicine tra di loro;
- Bassa velocità degli elettroni quindi basso potenziale.

Il valore di queste grandezze viene stabilito tenendo conto che:

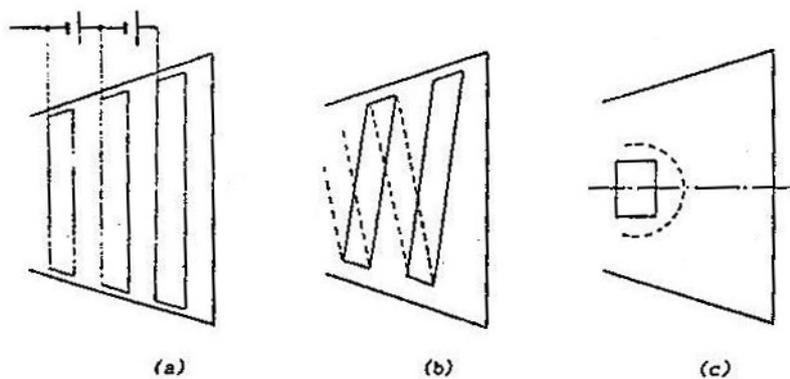
- L'aumento di  $L$  è limitato sia dalle dimensioni massime che deve avere l'oscilloscopio (all'aumentare di  $L$  aumenta la lunghezza del TRC e quindi la dimensione nella direzione della profondità dell'oscilloscopio stesso), sia dalla perdita di nitidezza dell'immagine a causa di una maggiore difficoltà di messa a fuoco;
- La diminuzione della distanza tra le placchette  $d$  (e dell'aumento di  $l$ ) è limitata dalla possibilità che il fascio di elettroni possa colpirle quando inizia ad essere deflesso.
- L'aumento di  $l$  e la diminuzione di  $v$  comportano un aumento del tempo di transito degli elettroni, con conseguente diminuzione della massima frequenza di segnale osservabile;

Per ottenere sia una buona sensibilità di deflessione, sia una traccia luminosa e nitida, negli attuali tubi per oscilloscopi si preferisce prima deflettere gli elettroni dotati di una bassa velocità  $e$ , quindi, accelerare gli elettroni deflessi utilizzando degli elettrodi posti dopo le placchette e denominati anodi di post-accelerazione.

Esistono diverse modalità per effettuare questa nuova accelerazione, ma tutte devono fare in modo da non alterare il moto rettilineo che gli elettroni devono avere in quest'ultimo tratto del percorso. Per tale ragione si cerca di realizzare un campo elettrico sferico con centro nel sistema di deflessione.

La soluzione più semplice consiste nel disporre una serie di elettrodi a potenziale crescente nella parte conclusiva del tubo (Fig. 6 a).

Un'altra soluzione consiste invece nel disporre un anodo post-acceleratore a forma di spirale (Fig. 6 b) sempre nella parte conclusiva del tubo, oppure di adoperare una griglia a forma di calotta a ridosso delle placchette di deflessione (Fig. 6 c). Quest'ultima configurazione è la più impiegata in quanto consente di ottenere le migliori prestazioni.



**Fig. 6\_Elettrodi di post-accelerazione.**

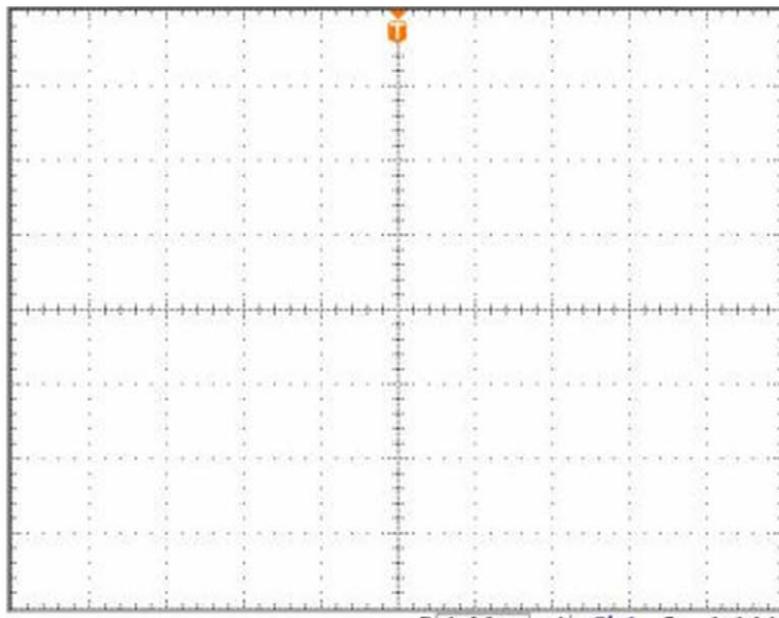
### 3.3 Schermo

La parte conclusiva del CRT è una superficie ricoperta interamente di sostanze chiamate fosfori (essenzialmente una miscela di composti di zinco e cadmio). La loro proprietà fondamentale è di trasformare l'energia cinetica posseduta dagli elettroni in energia luminosa (fluorescenza) e di rimanere accesi per un piccolo intervallo temporale (fosforescenza). Grazie alla fosforescenza è possibile visualizzare la forma d'onda percorsa dal fascetto elettronico sullo schermo. Esistono diversi tipi di fosfori che si differenziano non solo per il tempo di persistenza ma anche per il colore che emettono quando sono colpiti. Ad esempio ci sono quelli a bassa persistenza (dell'ordine dei microsecondi) di colore verde, quelli a media persistenza (dell'ordine dei millisecondi) di colore blu e quelli ad alta persistenza (dell'ordine dei secondi) di colore arancione. La tipologia di fosforo più diffusa è quella a bassa persistenza preferita al fine di evitare l'indesiderata sovrapposizione delle tracce. L'efficienza energetica di tale conversione è abbastanza ridotta, dell'ordine del 10%. Per tale ragione bisogna prestare massima attenzione a limitare la forte produzione di calore che nella peggiore dell'ipotesi può portare alla bruciatura dei fosfori. Per facilitare la dissipazione del calore prodotto, si deposita un sottile strato di alluminio (inferiore a 0.1mm) proprio a protezione dei fosfori. Questo strato ha anche il compito di irradiare tutta la luce verso l'esterno dello schermo, ovvero si comporta come un vero e proprio specchio che convoglia la luce. Inoltre, essendo collegato con l'ultimo anodo lo strato di alluminio evita l'accumulo di cariche. L'accumulo di cariche determina una diminuzione del potenziale positivo dello schermo (carica negativamente lo schermo) e quindi respinge gli ulteriori elettroni del fascio con la conseguente formazione di macchie sullo schermo.



**Fig. 7 Schematizzazione della metallizzazione dello schermo**

Sulla superficie interna dello schermo viene anche incisa una griglia (Fig. 8) per facilitare le successive misurazioni (limitando le misurazioni alla sola scala della griglia). Tale griglia è costituita da 10 divisioni orizzontali e 8 verticali, con una successiva suddivisione in 5 sottodivisioni (tacche), ottenendo una risoluzione di 0,1 a divisione (se si considera una risoluzione pari alla mezza tacca). Negli oscilloscopi più economici tale griglia è posizionata esternamente su di una maschera, che ha il vantaggio di poter essere sostituita, ma che crea problemi di parallasse nella individuazione dell'esatta posizione del punto.



**Fig. 8 Reticolo graduato presente sullo schermo dell'oscilloscopio**

## **4. Canale verticale**

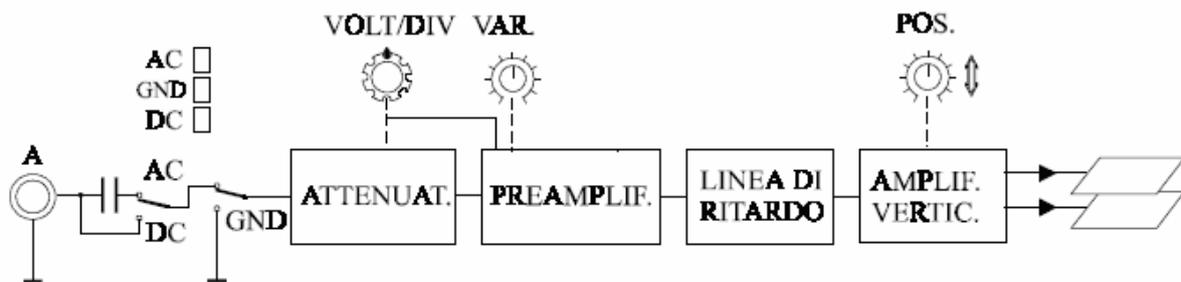
L'ampiezza dei segnali che l'oscilloscopio deve essere in grado di misurare può variare da frazioni di microvolt fino a centinaia di V. Di conseguenza c'è bisogno di un blocco di condizionamento che rende il segnale da analizzare tale da poter essere applicato alle placchette di deflessione verticale. Normalmente, poiché l'ordine di grandezza della sensibilità di deflessione è di circa 1 mm/V, per avere degli spostamenti del fascio apprezzabili sullo schermo il segnale da inviare alle placchette deve essere di qualche centinaia di volt; inoltre per ottenere una deflessione corretta occorre che il segnale di tensione applicato sia di tipo differenziale.

Poiché la banda passante del TRC è dell'ordine dei centinaia di MHz le caratteristiche in banda del circuito di amplificazione verticale determina la banda passante dell'oscilloscopio stesso. È

possibile classificare gli oscilloscopi in: oscilloscopio di uso comune per analizzare per segnali a bassa frequenza (banda passante fino a 5-10 MHz); e oscilloscopi ad alta frequenza con banda passante che può arrivare fino a 500 MHz ).

Lo schema di base dei dispositivi preposti al condizionamento verticale è riportato in figura 9.

Nel seguito del paragrafo sono descritti i diversi blocchi.



**Figura 9** chema a blocchi del canale di amplificazione verticale.

#### **4.1 Selettore di ingresso.**

Il selettore di ingresso consente di scegliere il tipo di accoppiamento tra l'ingresso e l'attenuatore.

Generalmente è costituito da un commutatore a tre posizioni:

- 1 DC (direct coupling) si ha un accoppiamento diretto tra il segnale e l'attenuatore;
- 2 Nella posizione AC (alternate coupling) il segnale prima di essere inviato all'attenuatore viene filtrato dalla componente continua. Ciò avviene tramite l'inserimento, in serie al collegamento, di un condensatore; il valore del condensatore viene scelto in modo da ottenere una frequenza di taglio inferiore molto piccola (tipicamente <math><1\text{Hz}</math>). Questo accoppiamento è utile quando occorre rappresentare la componente variabile di un segnale in cui la componente continua è significativa.
- 3 Nella posizione GND (round) l'ingresso dell'oscilloscopio viene messo a massa, assicurando in tal modo assenza di segnale. Con questa modalità è possibile individuare precisamente il livello zero segnalato sullo schermo.

Occorre sottolineare che qualunque sia il tipo di accoppiamento i morsetti di ingresso dell'oscilloscopio sono di tipo sbilanciato, cioè uno dei due è collegato a massa; di conseguenza l'oscilloscopio non consente di effettuare misure di differenze di potenziale tra due punti se nessuno dei due si trova a massa.

## 4.2 Attenuatore di ingresso.

L'attenuatore consente di regolare il fattore di deflessione verticale dell'oscilloscopio, in modo che esso possa essere impiegato per una vasta gamma di ampiezze del segnale. L'amplificatore finale e le placchette di deflessione verticale sono dimensionati in modo da ottenere un fattore di scala di qualche mV/cm, di conseguenza per poter visualizzare tensioni più elevate è necessario effettuare una riduzione del segnale di ingresso. L'attenuatore è normalmente costituito da un insieme di partitori di tensione, collegabili in cascata per mezzo di un commutatore.

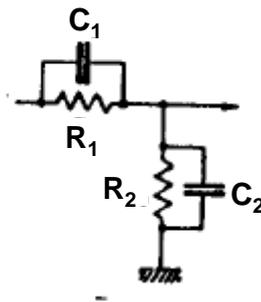


Figura 10\_Esempio di attenuatore compensato.

Affinché l'inserzione dell'attenuatore non alteri la forma dei segnali è necessario che l'attenuazione da essa introdotta sia indipendente dalla frequenza, entro l'intera banda di impiego dell'oscilloscopio. Per ottenere ciò, i partitori resistivi (vedi Fig. 10) che compongono i singoli stadi dell'attenuatore devono essere di tipo compensato, cioè muniti di opportune capacità (regolabili in sede di taratura). Se R1 e R2 sono le resistenze del partitore, la condizione di compensazione è data da:

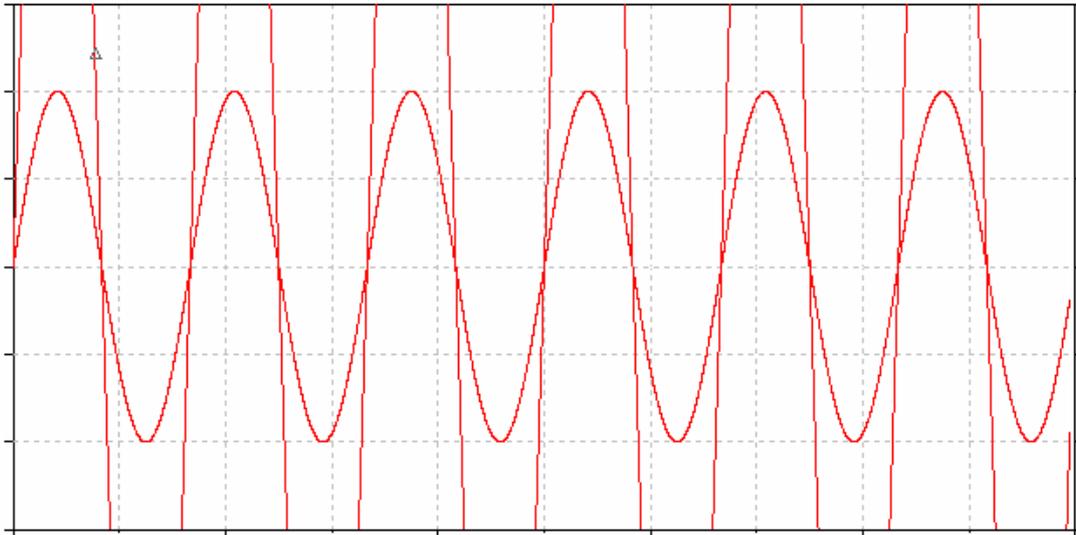
$$R1 * C1 = R2 * C2$$

## 4.3 Preamplificatore.

In tale blocco è possibile introdurre un amplificatore con guadagno variabile (1,2,5) attraverso la regolazione di un potenziometro. Agendo sulla manopola Volt/div, situata sul pannello frontale dell'oscilloscopio) sono modificati sia il coefficiente di attenuazione sia il guadagno dell'amplificatore per ottenere una variazione della scala dell'oscilloscopio.

Ad esempio, se il CRT ha un fattore di deflessione verticale 10 mV/cm per ottenere una scala di 2V/div il valore dell'attenuazione sarà posto pari a 100 mentre il guadagno dell'amplificatore sarà pari a 5 ( $2V/1000*5=10mV$ ).

Quindi ruotando la manopola **scala** sul pannello dell'oscilloscopio abbiamo un allargamento o una riduzione della scala. Ad esempio in Fig. 11 è riportato lo stesso segnale visualizzato con due scale diverse.



**Figura 11\_Variazione della scala verticale (volt/div).**

#### **4.4 Linea di ritardo.**

La linea di ritardo ha lo scopo di ritardare il segnale di un intervallo tale da evitare che il segnale verticale raggiunga le placchette di deflessione del CRT prima che cominciano a funzionare i circuiti di scansione orizzontale. Questo blocco è di solito costituito da componenti induttive e resistive.

#### **4.5 Amplificatore finale.**

L'amplificatore finale amplifica il valore del segnale prima che quest'ultimo venga applicato alle placchette di deflessione. Il guadagno di tale amplificatore è costante ed elevato. Inoltre, esso è realizzato secondo uno schema differenziale che, oltre a garantire buone caratteristiche di deriva e stabilità, consente di pilotare le placchette di deflessione in controfase, cioè con tensioni simmetriche rispetto a massa.

Tale blocco consente anche la traslazione del segnale lungo l'asse y, utile per allineare la traccia a una linea prescelta della griglia. Tale spostamento viene ottenuto semplicemente aggiungendo al segnale di uscita una tensione continua, regolabile in valore e segno mediante la manopola

posizione verticale (vertical position). In Fig. 12 è riportata la visualizzazione dello stesso con due valori diversi di vertical position.

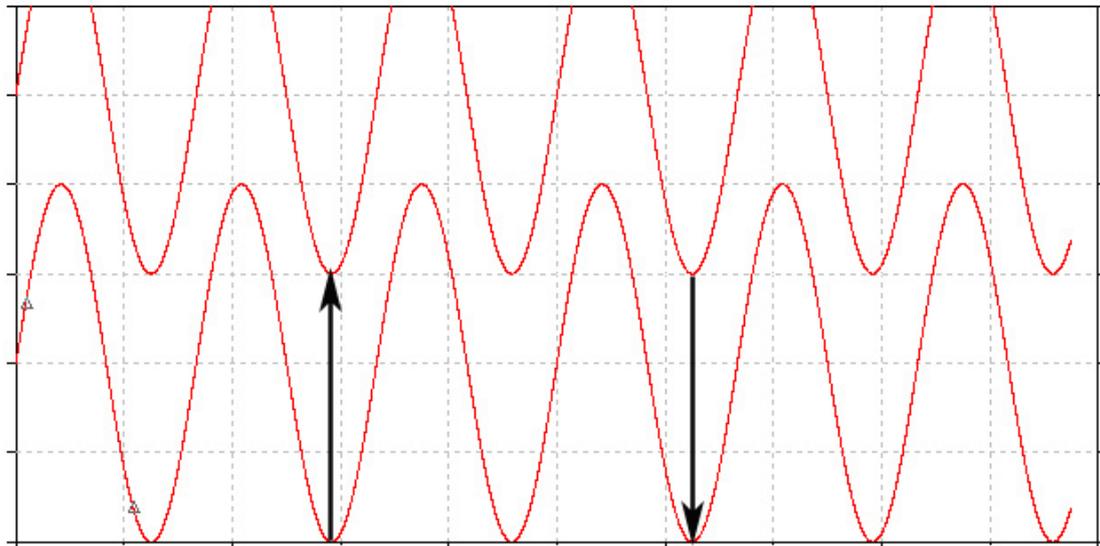


Fig. 12\_Variazione della position verticale.

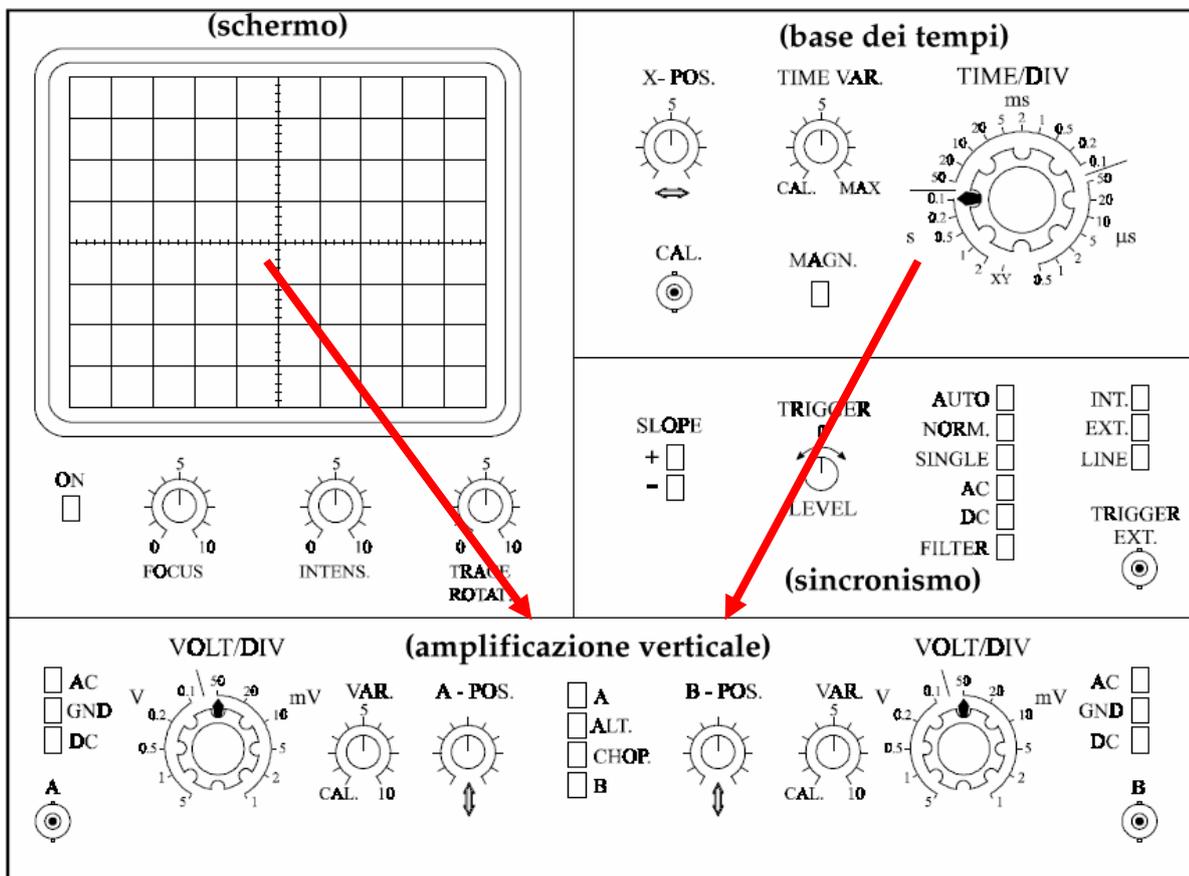
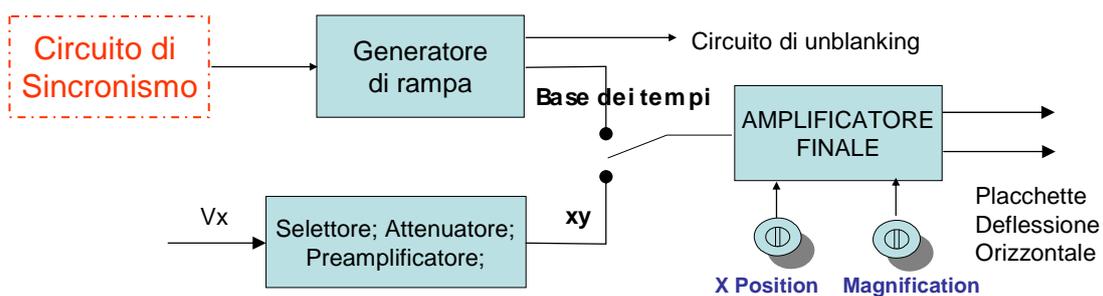


Fig. 2\_Esempio del pannello frontale di un oscilloscopio analogico.

## 5 Il canale di amplificazione orizzontale.

In funzione della modalità di funzionamento il segnale usato per deflessione orizzontale cambia. Nel funzionamento in xy, alle placchette di deflessione orizzontale viene inviata una tensione  $V_x$  proveniente dall'esterno e la traccia sullo schermo riproduce il diagramma cartesiano della funzione  $V_y = f(V_x)$  dove  $V_y$  rappresenta il segnale di tensione applicato al blocco di deflessione verticale. Prima di essere inviata alle placchette di deflessione orizzontale, la tensione  $V_x$  subisce un condizionamento del tutto analogo a quello visto per il segnale di deflessione verticale. Nella modalità base dei tempi l'asse x deve essere tarato in una unità temporale. Per ottenere una deflessione orizzontale proporzionale al tempo è necessario applicare una tensione  $V_x$  che varia linearmente con il tempo stesso; questa tensione è generata da un blocco interno allo strumento e denominato base dei tempi. In Fig. 14 è riportato uno schema a blocchi del canale di amplificazione orizzontale.

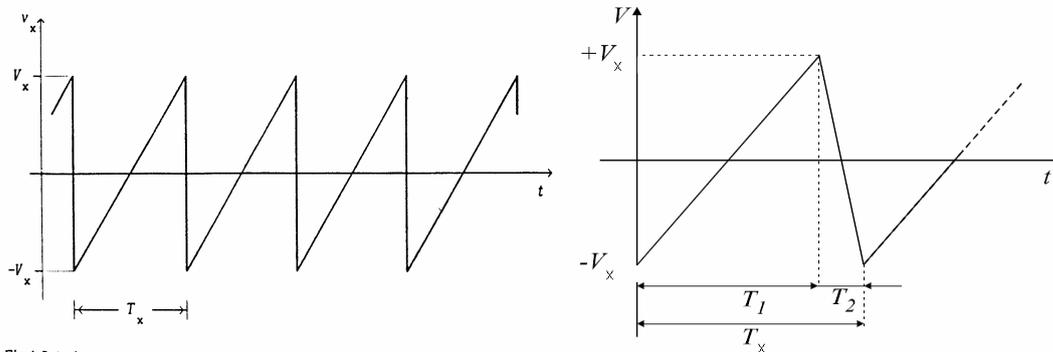


**Fig. 14\_Schema a blocchi del canale di amplificazione orizzontale.**

### 5.1 Generatore di rampa.

Per ottenere uno spostamento orizzontale del fascio catodico a velocità costante (cioè deflessione orizzontale proporzionale al tempo) è necessario applicare una tensione che varia linearmente nel tempo. Un andamento temporale ideale della tensione è riportato in Fig. 15a; quando la tensione assume il suo valore minimo pari a  $-V_x$  il pennello elettronico si trova all'estremità sinistra dello schermo; all'aumentare della tensione, il pennello si sposta verso l'estremità destra quando la tensione raggiunge il suo valore massimo  $V_x$ . Per riportare il fascio all'estremità sinistra per poter far iniziare una nuova spazzolata la tensione deve ritornare al suo valore minimo  $-V_x$ . In realtà il tempo di ritorno della traccia è il più piccolo possibile ma non nullo; quindi, l'andamento del

segnale generato dalla base dei tempi si può assimilare più ad un dente di sega che ad una rampa come riportato in Fig. 15b.



**Figura 3\_Andamento (a) ideale (b) reale della tensione di rampa.**

L'ampiezza della rampa di salita é fissata in modo da scorrere tutto lo schermo, mentre si può agire sulla sua pendenza: al variare della pendenza varia la velocità dello spostamento del pennello e quindi il tempo di scansione dell'intero schermo e di conseguenza la costante di taratura dell'asse x dell'oscilloscopio. In altre parole, il tratto in salita della rampa corrisponde al tempo che il pennello impiega ad effettuare un'intera spazzolata (corrisponde quindi alla finestra temporale di visualizzazione del segnale), per variare tale intervallo di tempo si agisce sulla manopola Sec/Div: una variazione del numero di Sec/Div determina una variazione della pendenza della rampa di salita.

Durante la rampa di salita si agisce sull'amplificatore-porta dell'asse Z con un comando di unblanking (sulla griglia di controllo del TRC il potenziale della griglia diventa meno negativo del catodo), in modo da rendere visibile la traccia di scansione, invece, la traccia di ritorno (detta anche fly-back) non deve essere visualizzata (la griglia di controllo viene mantenuta ad un potenziale negativo per interdire l'emissione di elettroni e quindi evitarne la visualizzazione della traccia di ritorno).

Il requisito fondamentale dei generatori di base dei tempi è la linearità della rampa di salita da cui dipende la precisione della taratura dell'asse dei tempi.

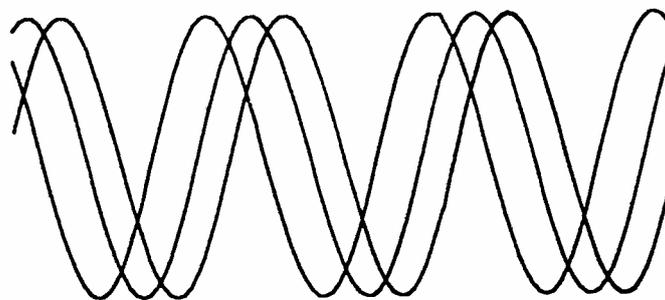
## **5.2 Amplificatore finale.**

Come per il canale di amplificazione verticale, l'amplificatore finale ha il compito di amplificare il segnale per renderlo adatto ad agire sulle placchette per la deflessione, stavolta, orizzontale. Il guadagno di tale amplificatore è costante ed elevato e l'uscita è differenziale.

Oltre al comando di posizionamento orizzontale (*horizontal position*), analogo a quello presente sul canale verticale, è possibile inoltre amplificare il segnale da inviare alle placchette (la rampa) di un ulteriore fattore 5 o 10 agendo sul tasto *magnification*. In modalità base dei tempi, questa amplificazione consente di espandere la scala dei tempi. La zona che viene espansa è quella nell'intorno del centro dello schermo. Con questo comando insieme a quello di posizionamento è possibile esaminare in dettaglio qualunque parte dell'oscillogramma (con la *position* orizzontale si porta la parte di interesse al centro dello schermo e poi si preme il tasto di *magnification*).

## 6. Circuito di sincronismo.

Ad ogni spazzolata del pennello elettronico permane sullo schermo, per un intervallo di tempo pari al tempo di persistenza dei fosfori, una forma d'onda (vedi Fig. 16). Al fine di visualizzare un'unica traccia stabile, occorre che ad ogni spazzolata il fascio elettronico colpisca sempre gli stessi punti sullo schermo, ovvero occorre che tra il segnale a dente di sega e quello da visualizzare vi sia sincronismo <sup>1</sup>. Infatti in caso di mancanza di sincronismo sullo schermo sarà visualizzato un insieme di tracce sovrapposte in modo disordinato, da cui sarà difficile dedurre l'andamento temporale del segnale (Fig. 16).



**Fig. 4\_Esempio di visualizzazione in assenza di sincronismo.**

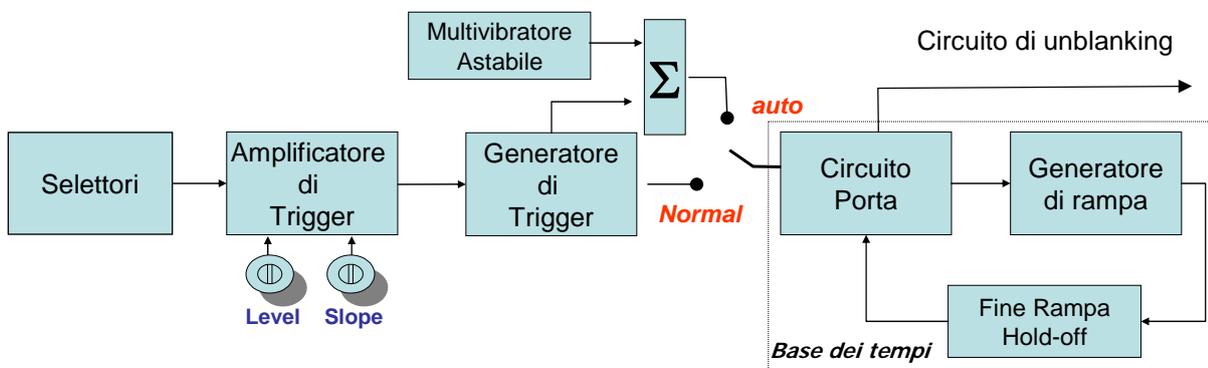
---

<sup>1</sup> Per garantire la visualizzazione di una traccia stabile è sufficiente la ripetizione nel tempo solamente della porzione visualizzata; negli intervalli di tempo compresi fra una spazzolata e la successiva non è richiesto che il segnale presenti la stessa forma d'onda; non è cioè strettamente necessario che il segnale sia periodico, ma è sufficiente che si ripeta la sola porzione di segnale che si vuole visualizzare. Questa classe di segnali prende il nome di segnali ripetitivi e ovviamente contiene al suo interno la più ristretta classe dei segnali periodici.

Il sincronismo viene ottenuto mediante il circuito di sincronismo che genera degli impulsi negativi (per far ripartire la rampa) quando il segnale di sincronismo assume un valore prefissato ed ha la derivata (pendenza) di un determinato segno.

Per ottenere la sincronizzazione è pertanto necessario utilizzare un circuito sensibile al livello e al segno della derivata della tensione  $v_y$ . Quando si verificano le condizioni di livello e di pendenza poste, il circuito di sincronizzazione fornisce in uscita un segnale di tipo impulsivo, denominato trigger, che viene utilizzato per comandare la partenza della rampa generata dalla base dei tempi.

In Fig. 17 è riportato uno schema a blocchi del circuito di sincronismo, nel seguito sono descritti in dettaglio i diversi blocchi.



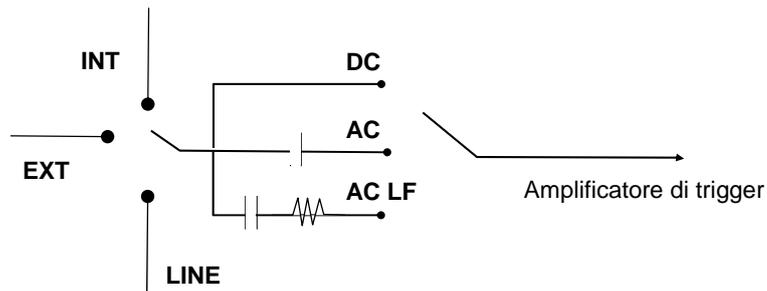
**Fig. 17 Schema a blocchi del circuito di sincronismo.**

### 6.1 Selettori di ingresso.

È possibile selezionare sia la sorgente del segnale di sincronismo (cioè il segnale utilizzato per definire gli istanti di tempo nei quali far ripartire la rampa) sia la modalità di accoppiamento di questo segnale con l'amplificatore di trigger (Fig. 18).

Per la sorgente si ha un selettore a tre posizioni:

- **INT**: in questo caso il segnale da cui viene ricavato l'impulso di trigger è quello inviato all'asse  $y$ . Questa modalità è quella più diffusa;
- **EXT**: La sorgente di trigger è un segnale proveniente dall'esterno che viene applicato a un ingresso ausiliario presente sul pannello frontale dello strumento. Questa possibilità viene utilizzata ad esempio quando si vuole visualizzare un segnale sincronizzandolo con un segnale di clock esterno;
- **LINE**: il trigger viene ricavato dal segnale di alimentazione dello strumento; la scansione orizzontale avviene con la stessa frequenza della tensione di alimentazione.



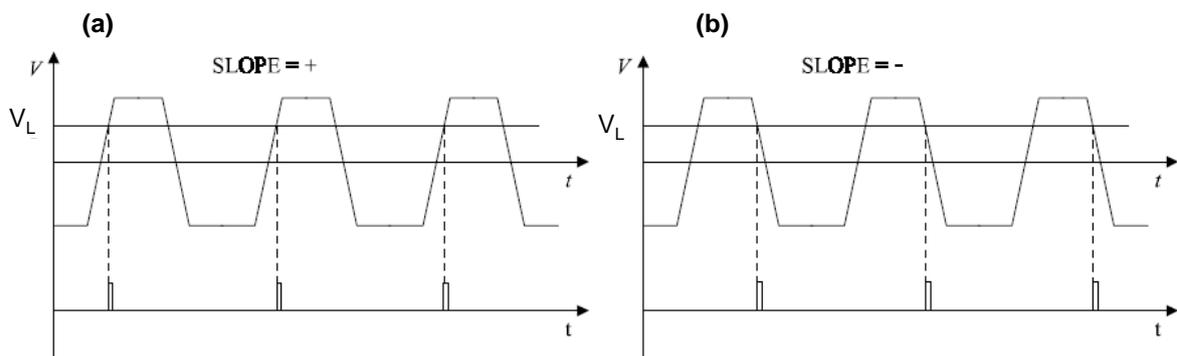
**Fig. 18. Selettori di ingresso.**

Per quanto riguarda l'accoppiamento si ha un selettore a più posizioni (ognuna associata ad un particolare tipo di filtraggio) nel caso più comune queste sono tre:

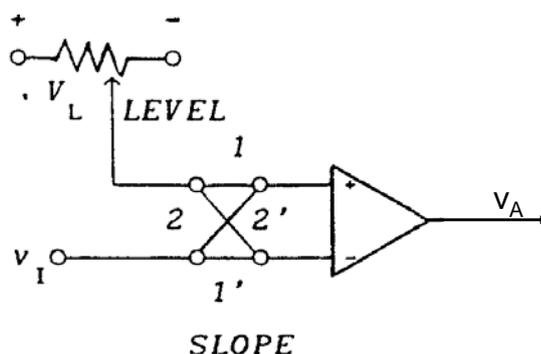
- **Filtro passa tutto** (DC coupling): il segnale di sincronismo viene inviato così come è ai blocchi successivi;
- **Filtro passa alto** (AC coupling): viene eliminata la componente continua sovrapposta al segnale;
- **Filtro passa basso** (AC LF): viene utilizzato per ridurre la banda superiore del segnale di sincronismo. Risulta particolarmente utile quando si vuole eliminare rumore in alta frequenza presente sul segnale di sincronismo.

## 6.2 Amplificatore di Trigger.

L'istante di trigger viene definito da un livello ed una pendenza che deve assumere il segnale di sincronismo (Fig. 19).



**Figura 19\_Generazione degli impulsi di trigger in corrispondenza del livello di trigger  $V_L$ , con pendenza positiva (a) e pendenza negativa (b).**



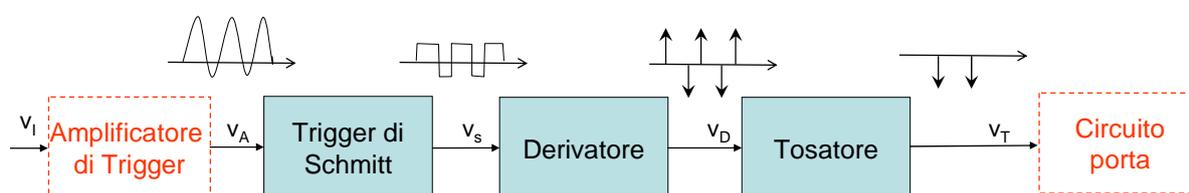
**Fig. 20 Schematizzazione dell'amplificatore di trigger**

A tal fine è presente l'amplificatore di trigger che consente di invertire il segnale di sincronismo e di aggiungervi una componente continua. Di conseguenza, l'amplificatore di ingresso del trigger è dotato di due comandi esterni:

- **Level** per la regolazione in valore e segno del livello di trigger (che si traduce in una regolazione della tensione aggiunta al segnale di sincronismo);
- **Slope** per la scelta della pendenza, positiva o negativa (che si traduce in un diverso collegamento degli ingressi all'amplificatore operativo).

In particolare, la soluzione adottata (vedi Fig. 20) è quella di un amplificatore differenziale, su un ingresso del quale è applicato il segnale di sincronismo, mentre sull'altro è applicata una tensione continua regolabile in valore e segno. Poiché i due ingressi dell'amplificatore differenziale hanno l'uscita, una in fase e l'altra in opposizione di fase, rispetto al segnale ad esso applicato, il comando Slope può essere realizzato mediante un semplice commutatore che scambia fra loro i due ingressi.

### 6.3 Generatore di Trigger.



**Figura 21\_Schema a blocchi del generatore di trigger.**

Il generatore di trigger ha il compito di trasformare il segnale di sincronismo, proveniente dall'amplificatore di ingresso del trigger, in un segnale di tipo impulsivo (treno di impulsi negativi)

adatto a comandare la generatore del segnale a dente di sega. In Fig. 21 è riportato uno schema a blocchi del generatore di trigger; in esso è possibile evidenziare tre componenti principali.

Il **trigger di Schmitt** (blocco squadratore) fornisce un'uscita logica appena il segnale di ingresso ha una tensione maggiore di zero, mentre commuta sul livello logico bassa appena il segnale di ingresso diventa negativo.

Il **derivatore** deriva il segnale in ingresso, poiché in ingresso riceve un segnale rettangolare esso fornisce un treno di impulsi positivi e negativi in relazione alla pendenza del segnale.

Il **tosatore** elimina gli impulsi positivi, il segnale ottenuto viene inviato al segnale porta per la generazione della rampa di deflessione orizzontale.

Ad esempio in Fig. 22 sono riportati gli andamenti dei segnali nei diversi nodi del circuito di Fig. 21 per i due diversi valori selezionati per la pendenza del segnale di trigger nell'istante di interesse.

Il circuito di sincronismo può lavorare in due modalità: modalità normale e auto.

- **Modalità normale.** Viene inviato alla base dei tempi il treno di impulsi ottenuto in uscita dal

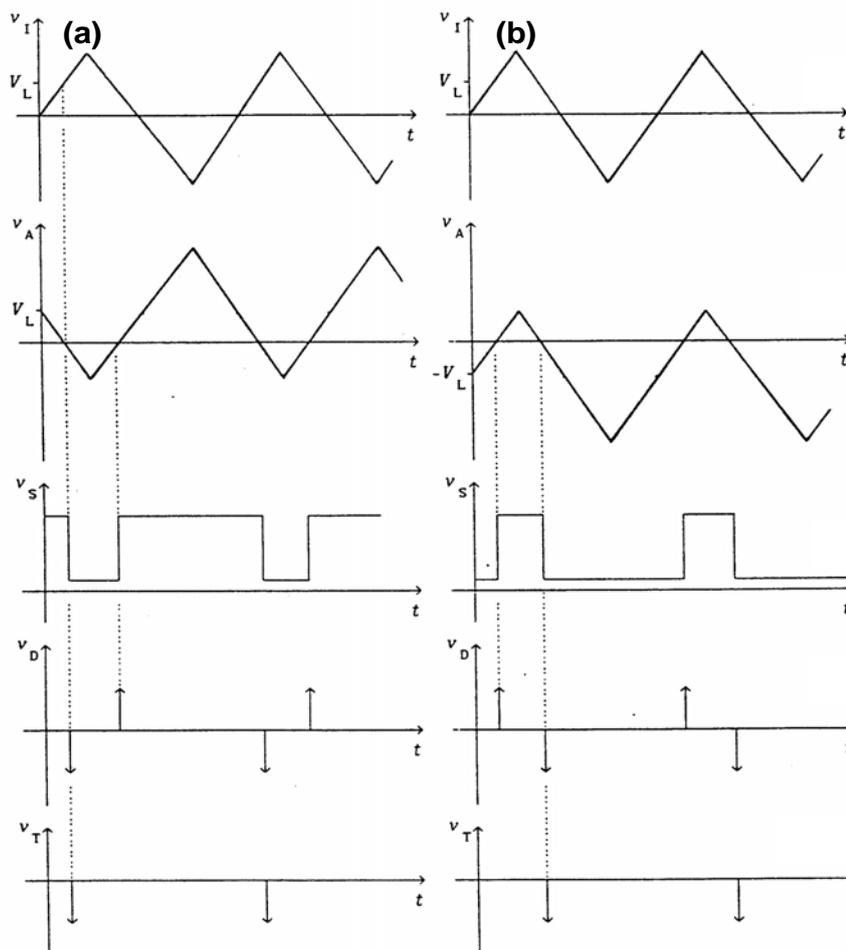


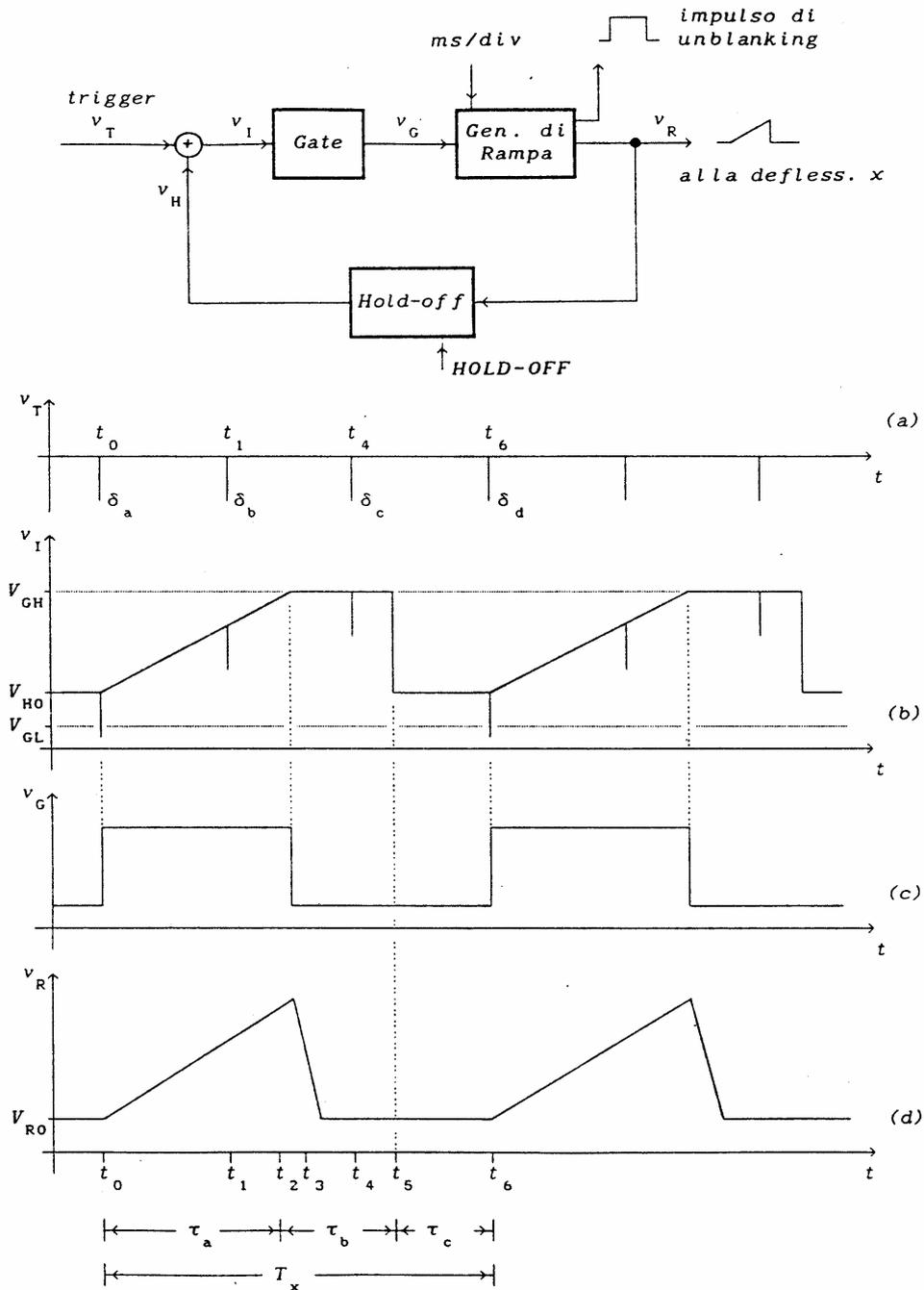
Figura 22\_Andamento temporale delle tensioni nei diversi nodi se si è selezionata la pendenza positiva (a) e negativa (b).

generatore di trigger. Poiché gli impulsi di sincronismo si hanno solo e soltanto quando il segnale di sincronismo assume un valore pari del livello di trigger con la pendenza selezionata dall'operatore, se ciò non avviene mai (ad esempio perché si è selezionato un livello di trigger troppo elevato per i valori di tensione assunti dal segnale sorgente di trigger), il segnale a dente di sega non viene attivato e sullo schermo non è visualizzata alcuna forma d'onda.

**Modalità automatica.** In questo caso il blocco di controllo genera sempre un treno di impulsi di trigger con periodo di oscillazione proprio. In assenza di impulsi effettivi di trigger si ottiene la generazione di una rampa periodica che consente di visualizzare il segnale di ingresso anche in assenza di impulsi di trigger ma la sincronizzazione non è certa.

#### ***6.4 Base dei tempi.***

La base dei tempi può essere realizzata con diverse modalità; nel seguito viene presentato un semplice schema di principio spesso utilizzato negli attuali oscilloscopi. I blocchi fondamentali sono riportati in figura, dove sono stati riportati anche gli andamenti temporali di alcune tensioni di interesse.



**Figura 53\_Schema a blocchi base dei tempi e diagramma temporale.**

Prima di descrivere il circuito si evidenziano le modalità di funzionamento dei diversi blocchi.

La **rampa** parte quando il segnale al suo ingresso ha una commutazione positiva

La **gate** è un comparatore ad isteresi che ha un'uscita alta se la tensione al suo ingresso diventa inferiore ad una soglia negativa ( $v_I < v_{GL}$ ) ed una commutazione sul valore logico basso se la tensione al suo ingresso diventa maggiore di una soglia positiva ( $v_I > v_{GH}$ ), altrimenti ( $v_{GL} < v_I < v_{GL}$ ) il valore dell'uscita non cambia .

Il circuito di **hold-off** può essere realizzato in molti modi diversi; il suo comportamento dal punto di vista ingresso-uscita può essere così schematizzato:

- a riposo il valore assunto dalla tensione di uscita  $v_H$  è compreso fra le due tensioni di soglia della gate ( $v_{GL} < v_{HO} < v_{GH}$ );
- quando la tensione di ingresso è costituita da una rampa di pendenza positiva, l'uscita è proporzionale all'ingresso;
- quando la tensione di ingresso decresce (rampa negativa), il blocco di hold-off si comporta come un circuito monostabile, ossia mantiene in uscita, per un intervallo di tempo la cui durata è anche regolabile mediante un comando esterno, il valore di tensione presente all'istante in cui cambia il segno della pendenza della rampa di ingresso.
- Trascorso tale tempo, la sua tensione di uscita si riporta, con un andamento a scatto, al valore iniziale  $V_{HO}$ .

Per illustrare il funzionamento dello schema di figura 23, si supponga che la tensione fornita dal blocco di hold-off abbia inizialmente il valore  $V_{HO}$  e che il blocco di gate abbia una tensione di uscita a livello logico basso; il funzionamento del generatore di rampa è quindi inibito, per cui la tensione di uscita  $v_R$  assume un valore costante pari a  $V_{RO}$ .

Si supponga ora che all'istante  $t_0$  si manifesti l'impulso di trigger  $\delta_a$ . Poichè la tensione  $v_I = v_T + v_H$  assume un valore minore della tensione di soglia inferiore  $V_{GL}$ , si ha la commutazione della gate; nelle ipotesi fatte, la tensione  $v_G$  assume quindi un valore logico alto e la rampa di parteconsentendo lo spazzolamento orizzontale dello schermo. Tale tensione è inoltre presente anche in uscita del blocco di hold-off, per cui la tensione  $v_I$  in ingresso alla gate ha l'andamento illustrato in figura 23(b). Se all'istante  $t_1$  si manifesta un altro impulso di trigger  $\delta_b$ , poiché la tensione  $v_I$  non diventa minore della soglia inferiore il funzionamento del circuito non viene modificato e la tensione  $v_R$  continua a crescere linearmente. All'istante  $t_2$  la tensione  $v_I$  raggiunge la tensione di soglia superiore  $V_{GH}$ ; ciò provoca la commutazione della gate e il rapido ritorno della tensione  $v_R$  al valore di riposo  $V_{RO}$ , che viene raggiunto nell'istante  $t_3$ . Il fascio elettronico è ora posizionato sul margine sinistro dello schermo e il generatore è in grado di fornire una nuova rampa.

Dall'istante  $t_2$ , inoltre, a causa del cambiamento del segno della pendenza della tensione  $v_R$ , il blocco di hold-off funziona come un circuito monostabile; la sua tensione di uscita  $v_H$  assume perciò il valore costante  $V_{GH}$  per un intervallo di tempo di durata prefissata; all'istante  $t_5$  tale tensione raggiunge poi il valore di riposo  $V_{HO}$ . Il valore minimo della durata del funzionamento monostabile del blocco di hold-off viene scelto in modo tale che quando  $v_H$  ritorna al valore iniziale  $V_{HO}$  il generatore sia in grado di fornire una nuova rampa. Grazie a questo intervallo di tempo nel quale  $v_H$  assume perciò il valore costante  $V_{GH}$  l'impulso  $\delta_c$  che si manifesta all'istante  $t_4 < t_5$  (quando

il pennello non è ancora tornato all'estrema sinistra dello schermo) non provoca alcun effetto sul circuito. Quindi la rampa riparte all'istante  $t_6$  al manifestarsi dell'impulso di trigger  $\delta_d$ .

Utilizzando la simbologia in figura, se si suppone che il segnale di ingresso sia periodico di periodo  $T_y$  per ottenere sullo schermo una traccia stabile deve essere soddisfatta la condizione:

$$T_x = \tau_a + \tau_b + \tau_c = mT_y$$

dove  $m$  è un qualsiasi numero intero positivo.

La relazione mostra che il periodo  $T_x$  del segnale  $v_x$  viene scomposto in tre sotto-intervalli:

- $\tau_a$ : rappresenta l'intervallo di tempo durante il quale viene visualizzata la porzione di segnale di interesse;
- $\tau_b$ : è il tempo richiesto per permettere a tutti i circuiti di ripristinare le loro condizioni iniziali in modo da essere in grado di ripartire con una successiva spazzolata; in questo intervallo di tempo il pennello elettronico viene portato sul margine sinistro dello schermo; per rendere invisibile la traccia di ritorno l'intensità del pennello viene annullata;
- $\tau_c$ : è il tempo di attesa necessario per consentire la sincronizzazione del sistema di deflessione, pronto a partire, con il segnale di ingresso.

Si noti che  $\tau_a$  non deve necessariamente essere legato al periodo  $T_y$ . La sincronizzazione della base dei tempi con il segnale da visualizzare è infatti ottenuta mediante la relazione precedente. In particolare, la possibilità di intervenire sulla durata  $\tau_b$  di funzionamento monostabile del circuito di hold-off, durante il quale la tensione di uscita viene mantenuta al valore costante  $V_{GH}$ , consente un ampio margine di libertà nella scelta di  $\tau_a$  come è mostrato nel prossimo paragrafo.

La tensione in uscita dalla gate viene inviata al circuito di unblanking che regola la luminosità della traccia. In particolare, normalmente la tensione applicata alla griglia è tale da inibire la visualizzazione della traccia e solo quando la tensione applicata (la tensione della gate) si porta ad un valore alto la traccia può essere visualizzata. Con riferimento alla Fig. 23 si vede che la tensione in uscita dalla gate è alta solo durante la rampa di salita, cioè durante la scansione orizzontale dello schermo mentre è bassa in tutti gli altri intervalli di tempo.

### **Scelta del tempo di Hold-off**

Variando il tempo di hold-off è possibile facilitare la sincronizzazione; in alcuni casi, inoltre, essa può essere ottenuta solamente intervenendo con questo comando. Si supponga, ad esempio, di voler visualizzare la porzione di durata  $\tau_a$  del segnale periodico di periodo  $T_y$  mostrato in Fig. 24.

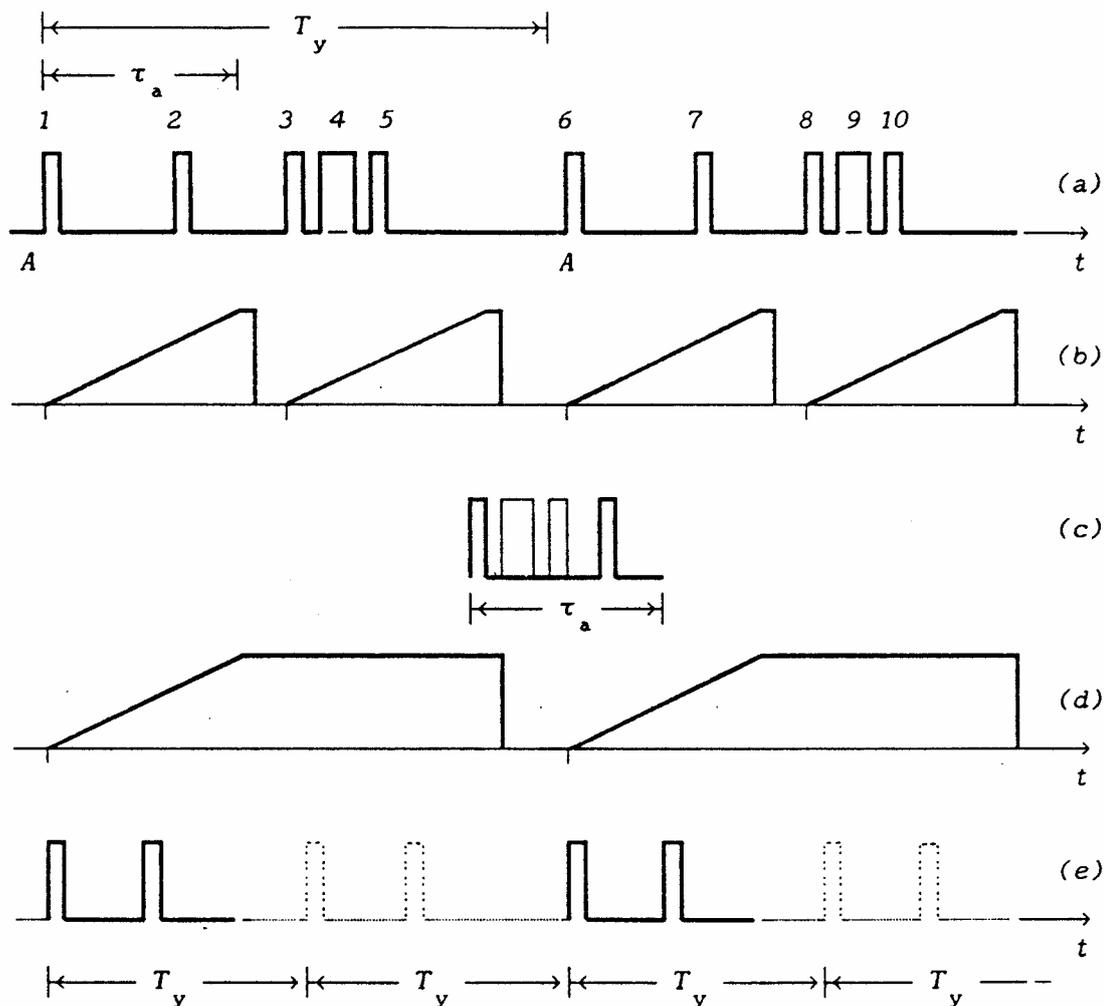


Fig. 6\_ Sincronizzazione ottenuta operando sul comando di hold-off.

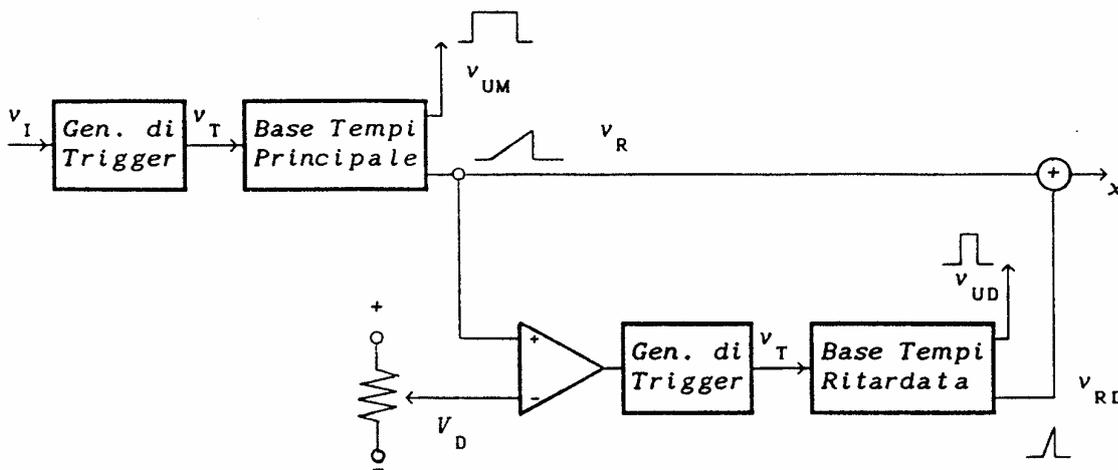
Come illustrato precedentemente, il punto di partenza della traccia può essere scelto specificando solamente il livello ed il segno della pendenza della forma d'onda. Pertanto, una volta scelto il segno della pendenza (ad esempio quello positivo) e un qualsiasi livello entro il campo di valori assunti dal segnale di Fig. 24, la sincronizzazione può avvenire in corrispondenza a ogni fronte di salita; vengono infatti generati tanti impulsi di trigger quanti sono i fronti di salita. Quindi, se la tensione di uscita dal circuito di hold-off è quella riportata in Fig. 24(b), dopo la visualizzazione degli impulsi 1 e 2 del segnale di ingresso, vengono visualizzati anche gli impulsi 3, 4, e 5, ottenendo così una traccia del tipo riportato in Fig. 24(c) non è stata cioè ottenuta la sincronizzazione desiderata.

A tale scopo è possibile intervenire sul blocco di hold-off variando la durata  $\tau_b$  dell'intervallo di tempo durante il quale la sua tensione di uscita rimane al valore  $V_{GH}$ . La sincronizzazione richiesta può infatti essere ottenuta quando la tensione di uscita dal blocco di hold-off assume l'andamento riportato in Fig. 24(d); sullo schermo saranno allora visualizzati solo gli impulsi 1 e 2, poi gli

impulsi 6 e 7, e così via. Quando non viene usato, è consigliabile posizionare il comando di hold-off al minimo; in caso contrario è infatti possibile perdere una o più porzioni del segnale da visualizzare. Ad esempio, se il segnale di ingresso ha l'andamento riportato in Fig. 24(e), mentre il segnale di uscita dal blocco di hold-off ha l'andamento di Fig. 24 (d), viene visualizzato solamente un periodo del segnale ogni due.

## 7 Base dei tempi ritardata.

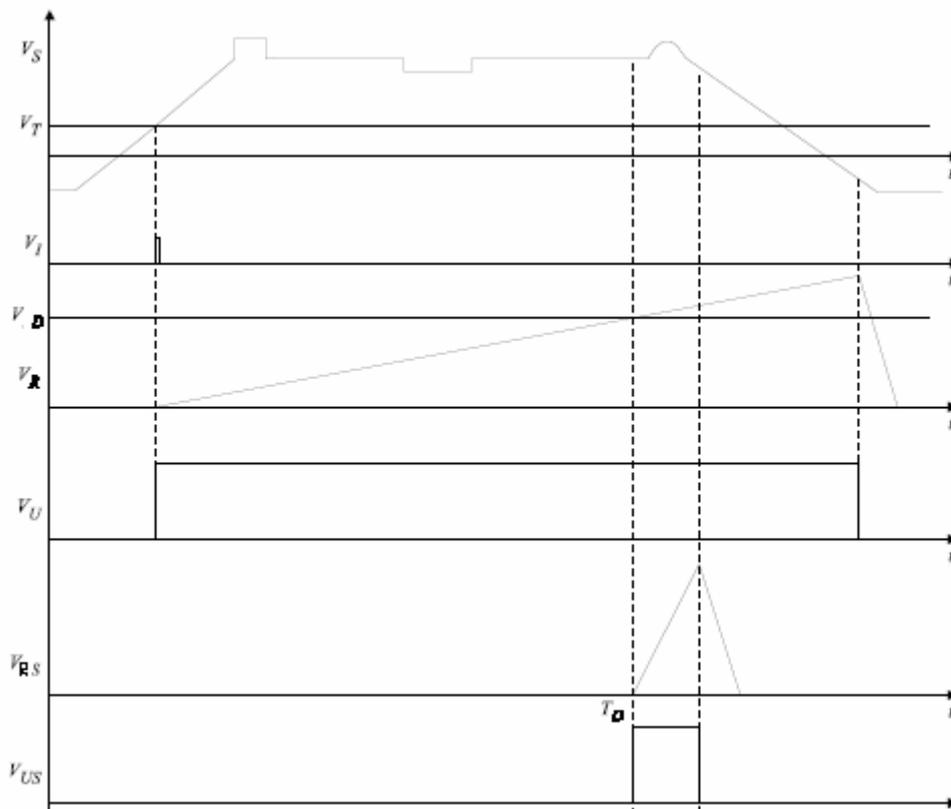
In alcuni casi una volta visualizzata una porzione del segnale di ingresso si desidera analizzarne con maggior dettaglio un suo tratto. Ciò accade qualora si voglia analizzare la transizione da un livello logico all'altro di una specifica tensione logica. Per raggiungere questo obiettivo si utilizza una nuova base dei tempi, denominata base dei tempi ritardata. Una sua semplice schematizzazione è la seguente:



**Fig. 25** Base dei tempi principale e base dei tempi ritardata.

La rampa generata dalla base dei tempi ritardata ha una pendenza molto maggiore di quella relativa alla base dei tempi principale; pertanto essa consente la visualizzazione di un piccolo tratto della porzione di segnale visualizzata sullo schermo, realizzando in tal modo una espansione temporale. Le due basi dei tempi interagiscono tra di loro in relazione alla modalità scelta con un commutatore esterno. Gli impulsi di trigger sono realizzati in una modalità differente, infatti sono regolati dall'uscita di un comparatore. Un ingresso del comparatore è costituito dalla rampa  $V_r$  generata dalla base dei tempi principale, mentre l'altro ingresso è rappresentato da una tensione costante  $V_d$ , il cui valore è variabile con continuità tra un minimo e un massimo della rampa principale attraverso un comando esterno. Quando si raggiunge la condizione  $V_r \geq V_d$ , l'uscita del comparatore varia bruscamente, causando la generazione di un impulso di trigger per la base dei tempi ritardata. Poiché è possibile selezionare la tensione  $V_d$  tra i due valori estremi della rampa principale, sarà consentito di ottenere l'impulso di trigger in una qualunque posizione dello schermo. La durata del tratto di segnale che viene in questo modo visualizzato è fissata variando la pendenza della rampa della base dei tempi ritardata, maggiore è la pendenza e minore è la durata del tratto visualizzato. Entrambi i blocchi forniranno gli impulsi di unblaking, fondamentali per attivare

la visualizzazione del fascio. Se entrambi gli impulsi sono attivati si ha un'intensificazione della traccia luminosa.



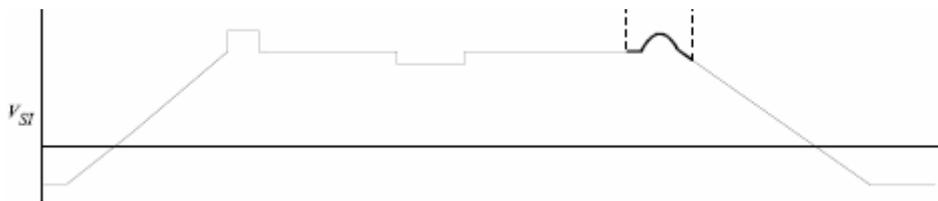
**Fig. 7** Diagramma temporale del funzionamento della doppia base dei tempi.  $V_d$  rappresenta il livello di tensione di confronto con la rampa principale. All'istante  $T_d$  ha inizio la rampa secondaria. Durante la fase ascendente della rampa viene emesso un secondo segnale di unblanking.

La modalità di funzionamento delle due basi viene selezionata mediante un commutatore esterno provvisto di quattro differenti posizioni:

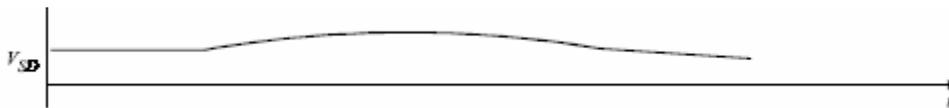
- **OFF** : in questo modo viene interdetto il funzionamento della base dei tempi ritardata e l'oscilloscopio funziona con la sola base dei tempi principale.
- **MAIN**: lo spostamento del pennello elettronico avviene solamente a causa della rampa principale. In questo caso non viene quindi utilizzata la rampa ritardata, ma il relativo impulso di unblanking viene sommato a quello generato dalla base principale; quando i due impulsi di unblanking sono entrambi a livello logico alto, a causa della tensione maggiormente positiva applicata alla griglia G di comando dell'intensità del fascio, si ha una intensificazione della traccia visualizzata sullo schermo. Agendo sul livello della tensione di ingresso del comparatore per la generazione del trigger ritardato è quindi possibile spostare l'inizio del tratto di traccia intensificato, mentre agendo sulla pendenza della rampa ritardata, è possibile variare la durata di tale tratto. In tal modo è quindi possibile selezionare il tratto di traccia di interesse, per passare

poi al funzionamento DELAY. Per facilitare la scelta del tratto intensificato sono previsti comandi per la scelta del ritardo che consentono delle variazioni molto fini.

- **DELAY.** Anche in questo caso sono in funzione entrambi i blocchi, ma la deflessione è ottenuta con la rampa ritardata; sullo schermo è quindi visualizzato il solo tratto di segnale che durante funzionamento MAIN appare intensificato. La rampa principale viene generata solo per fornire l'ingresso del blocco di comparazione e ottenere così l'impulso di trigger ritardato. È utilizzato, inoltre, solo l'impulso di unblanking proveniente dalla base ritardata. In questa modalità di funzionamento è ancora possibile variare la partenza e la durata del tratto intensificato.



**Fig. 8\_Modalità main: si evidenzia la porzione di interesse del segnale da espandere.**



**Fig. 9\_Modalità delay la traccia intensificata, viene espansa su tutto lo schermo.**

- **MIXED:** questa modalità di utilizzazione delle basi dei tempi non è prevista in tutti gli oscilloscopi. In questo caso la deflessione è ottenuta sfruttando entrambe le basi dei tempi; in un primo tratto viene utilizzata la rampa principale, mentre nella parte finale si utilizza la rampa ritardata. Il tratto finale dell'asse x presenta quindi una taratura temporale espansa rispetto a quella del tratto iniziale (zoom).

## 8 Sonde.

I segnali sono inviati in ingresso all'oscilloscopio, normalmente, mediante le sonde le quali diventano parte del circuito, introducendo carichi resistivi, capacitivi e induttivi che alterano inevitabilmente la misura. Per ottenere la massima precisione possibile, occorre selezionare una sonda che introduca un carico minimo, ovvero che sia adattata a quest'ultimo.

Tra le sonde più diffuse e più adatte a misurare i segnali più tipici, ci sono le sonde **passive**. Queste sonde sono caratterizzate da un livello di attenuazione, che consiste nella riduzione della tensione in ingresso al circuito. Ad esempio la sonda attentatrice 10x riduce di un fattore 10 l'ampiezza del segnale all'ingresso dell'oscilloscopio. La banda passante delle sonde passive però non è sempre sufficiente, inoltre possono introdurre un carico non trascurabile in circuiti con alta sensibilità.

Nelle misurazioni di segnali ad alta frequenza e differenziali si fa ricorso alle sonde **attive** e a quelle **differenziali**. Tali sonde impiegano circuiti integrati progettati appositamente per assicurare l'integrità del segnale durante l'accesso e la trasmissione all'oscilloscopio. Le sonde attive saranno inoltre dotate di circuiti propri di alimentazione e di buffer che richiedono corrente continua. Le sonde differenziali consentono di acquisire segnali non riferiti massa.

### 8.1 *Sonde passive*

L'ingresso dell'oscilloscopio può essere schematizzato in termini equivalenti mediante un circuito formato da una resistenza  $R_1$  e una capacità  $C_1$  connesse tra loro in parallelo; la resistenza e la capacità di ingresso assumono tipicamente valori dell'ordine di alcuni  $M\Omega$  e di alcune decine di pF rispettivamente.

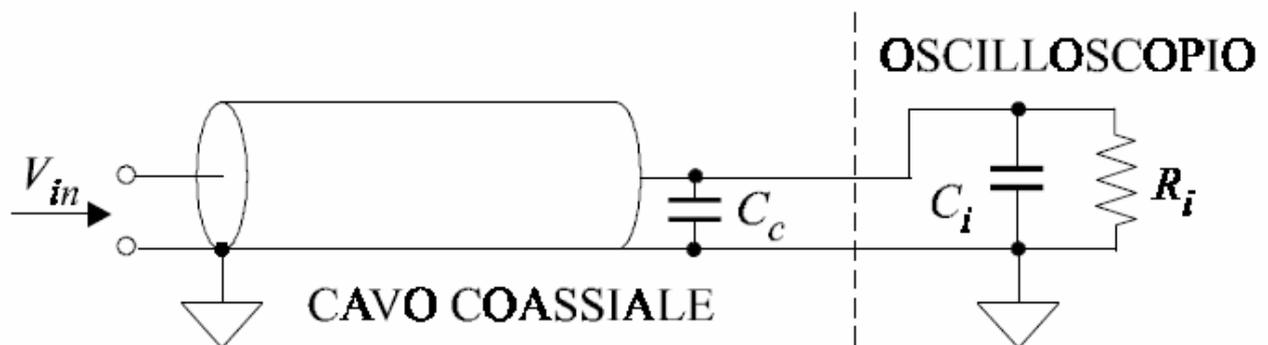
Un valore elevato di resistenza di ingresso consente di evitare l'effetto di carico sul segnale da visualizzare quando tale segnale ha un contenuto spettrale rilevante solo a basse frequenze. Quando invece il segnale da analizzare è a banda larga, la capacità di ingresso dell'oscilloscopio, offrendo una reattanza dipendente dalla frequenza, può causare una distorsione del segnale prelevato; la traccia visualizzata sullo schermo non rappresenta quindi il segnale desiderato.

Inoltre la resistenza di ingresso influenza le componenti del segnale a frequenza molto elevata. Per tali componenti, infatti, il tratto di cavo utilizzato per portare il segnale dal circuito sotto test al connettore di ingresso dell'oscilloscopio deve essere visto come una linea elettrica a costanti distribuite. Si verificano quindi delle riflessioni, il cui valore è funzione della resistenza interna del generatore di segnale, dell'impedenza caratteristica della linea e della resistenza di ingresso

dell'oscilloscopio. Per evitare queste riflessioni si deve fare in modo da ottenere un adattamento delle varie impedenze interessate; in particolare, la resistenza di ingresso  $R_i$  dell'oscilloscopio dovrebbe coincidere con l'impedenza caratteristica del cavo di collegamento, il cui valore è generalmente compreso fra 50 e 100  $\Omega$  circa. Un valore così piccolo di resistenza di ingresso, però, pur evitando le riflessioni delle componenti ad alta frequenza, causa un rilevante effetto di carico alle componenti a bassa frequenza, con possibilità di alterazione del funzionamento del circuito che genera il segnale.

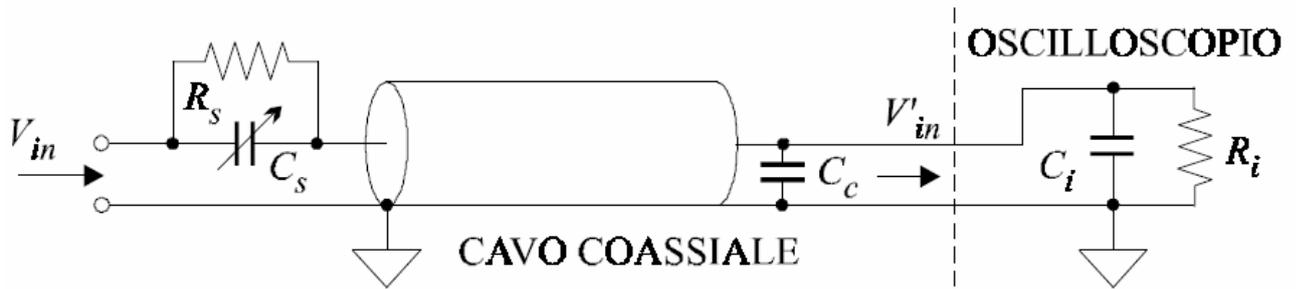
Inoltre, il collegamento tra il punto di prelievo del segnale da visualizzare e l'ingresso dello strumento viene realizzato con un cavo schermato, al fine di ridurre i disturbi indotti all'ingresso dello strumento dalla presenza di campi elettromagnetici esterni. Il cavo schermato è una linea di trasmissione con impedenza caratteristica generalmente di 50  $\Omega$ . Tuttavia, se la sua lunghezza è molto minore delle lunghezze d'onda del segnale, può essere descritta come una capacità che si pone in parallelo e quindi si somma a quella dell'impedenza di ingresso dello strumento.

Una schematizzazione del circuito costituito dalla connessione del cavo e dell'oscilloscopio è riportata in Fig. 31.



**Fig. 10\_Circuito equivalente di ingresso di un oscilloscopio.**

In prima approssimazione è possibile trascurare la resistenza del cavo in quanto esso ha, generalmente, una lunghezza limitata (circa 1-1,5 m) ed è realizzato con conduttori metallici, quindi il cavo può essere schematizzato con la sola capacità  $C_C$ , la quale viene a trovarsi in parallelo alla capacità di ingresso  $C_I$  dell'oscilloscopio. Si fa presente che spesso si ha  $C_C \gg C_I$ ; a causa della capacità del cavo di collegamento, pertanto, la distorsione del segnale di ingresso dovuta alla capacità può subire un notevole aumento. Per ovviare almeno parzialmente a questi inconvenienti vengono utilizzate delle **sonde compensate**.



**Fig. 11\_Sonda compensata.**

Per facilitare il prelievo della tensione da visualizzare, tale sonda presenta a una estremità due terminali, uno dei quali deve essere collegato al morsetto di riferimento dei potenziali del circuito sotto test, l'altra estremità della sonda è formata invece da un cavo coassiale dotato di un connettore di tipo BNC. All'interno essa presenta inoltre una resistenza  $R_S$  e una capacità variabile  $C_S$ , mediante le quali è possibile ottenere la compensazione quando:  $R_S * C_S = R_I * C_P$ .

Dove  $C_P$  rappresenta il parallelo delle capacità  $C_C$  e  $C_I$ . In condizione di compensazione il legame fra la tensione  $V'_{in}$  che arriva in ingresso dell'oscilloscopio e la tensione  $V_{in}$  da analizzare è data:

$$V'_{in} = V_{in} * R_I / (R_S + R_I).$$

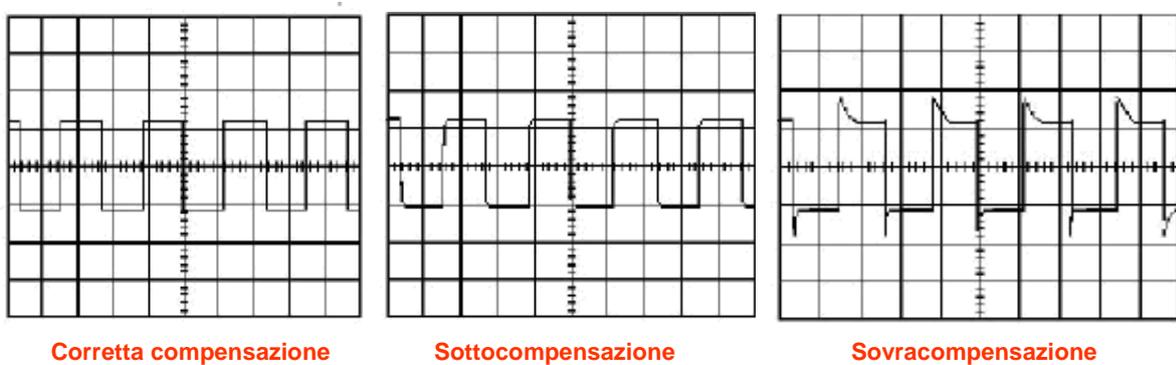
Nella relazione non compare la variabile frequenza; in questo caso, quindi, la tensione visualizzata dall'oscilloscopio è proporzionale a  $V'_{IN}$ , indipendentemente dal suo contenuto spettrale. Molto spesso si pone  $R_S = 9 R_I$ ; si ottiene in tal modo una attenuazione pari a 10. Inoltre il circuito sotto test vede complessivamente una resistenza di carico molto elevata ( $10 R_I$ ) con in parallelo una capacità molto piccola.

In pratica, per compensare una sonda, ossia per soddisfare la condizione  $R_S C_S = R_I C_P$ , viene generalmente utilizzato un segnale a onda quadra, quasi sempre fornito dall'oscilloscopio stesso. Per ottenere la compensazione si agisce su  $C_S$  fino a quando sullo schermo non viene visualizzata un'onda quadra.

Se sullo schermo non apparirà una corretta onda quadra significa che si è verificata una deformazione della forma d'onda dovuta alla diversa attenuazione delle sue componenti armoniche. Si possono distinguere tre diverse situazioni:

- **Compensazione corretta.** La forma d'onda è esattamente un onda quadra.
- **Sovracompensazione.** Il valore Cs è troppo elevato e vengono poco attenuate le armoniche di ordine più elevato.
- **Sottocompensazione.** Il valore Cs è troppo piccolo e vengono attenuate maggiormente le armoniche di ordine più elevato.

Ogniqualevolta si cambia sonda oppure oscilloscopio, è buona norma procedere alla compensazione della sonda stessa.



**Fig. 12\_Esempi di compensazione della sonda.**

## 9 Oscilloscopi a tracce multiple.

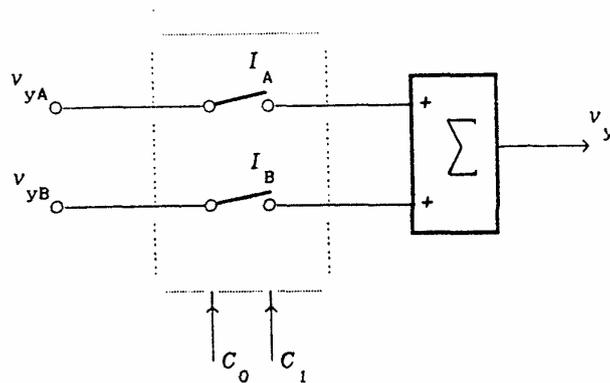
In molte applicazioni occorre visualizzare contemporaneamente più tracce per ricavare delle informazioni concernenti le relazioni esistenti fra i vari segnali. Nel seguito verranno presentati gli oscilloscopi a doppia traccia in quanto soluzioni a tracce multiple partono dall'architettura degli oscilloscopi a doppia traccia.

Esistono diverse soluzioni che consentono di ottenere visualizzare due tracce. Ad esempio vi sono oscilloscopi con due cannoni elettronici, che presentano anche un doppio sistema di deflessione, è come ci fossero due schermi indipendenti posti l'uno sull'altro. Altre soluzioni prevedono un solo cannone elettronico e due fasci, ottenuti dividendo il fascio principale, due coppie di placchette verticali ciascuna delle quali agisce su uno dei due fasci e a cui viene applicata uno dei due segnali. Comunemente viene però utilizzato un solo cannone e un solo fascio; per poter utilizzare l'unico fascio disponibile per la visualizzazione di entrambi i segnali si utilizza un commutatore. Grazie al commutatore elettronico il fascio viene utilizzato per visualizzare in intervalli di tempo diverso le due forme d'onda.

Per illustrare alcune delle modalità di funzionamento, si supponrà nel seguito di avere a disposizione un oscilloscopio a doppia traccia, che costituisce in effetti la situazione più comune. In tal caso si hanno due canali di ingresso, di solito contrassegnati con le lettere A e B.

Concettualmente si deve disporre di un commutatore elettronico che consenta di scegliere il segnale di ingresso al quale deve essere assegnato, in un dato intervallo di tempo, l'unico fascio a disposizione. In Fig. 34 è rappresentato uno schema di principio di questo commutatore elettronico. La chiusura e l'apertura dei due interruttori IA e IB è comandata dai due segnali C0 e C1. Considerare aperti entrambi gli interruttori corrisponde a inviare un ingresso nullo al blocco di deflessione verticale; tale situazione assume quindi uno scarso significato. Quando invece entrambi gli interruttori sono chiusi, il successivo blocco sommatore consente di inviare al blocco di deflessione verticale la tensione  $v_y = v_{yA} + v_{yB}$ ; come si vedrà in seguito, tale situazione assume un certo interesse in alcune applicazioni.

Ha però maggior interesse la situazione in cui uno solo dei due interruttori è chiuso. In particolare, se uno dei due interruttori è permanentemente aperto, mentre l'altro è chiuso, il funzionamento dell'oscilloscopio a doppia traccia coincide con quello di un normale oscilloscopio a traccia singola.



**Fig. 34. Schema di principio del commutatore elettronico.**

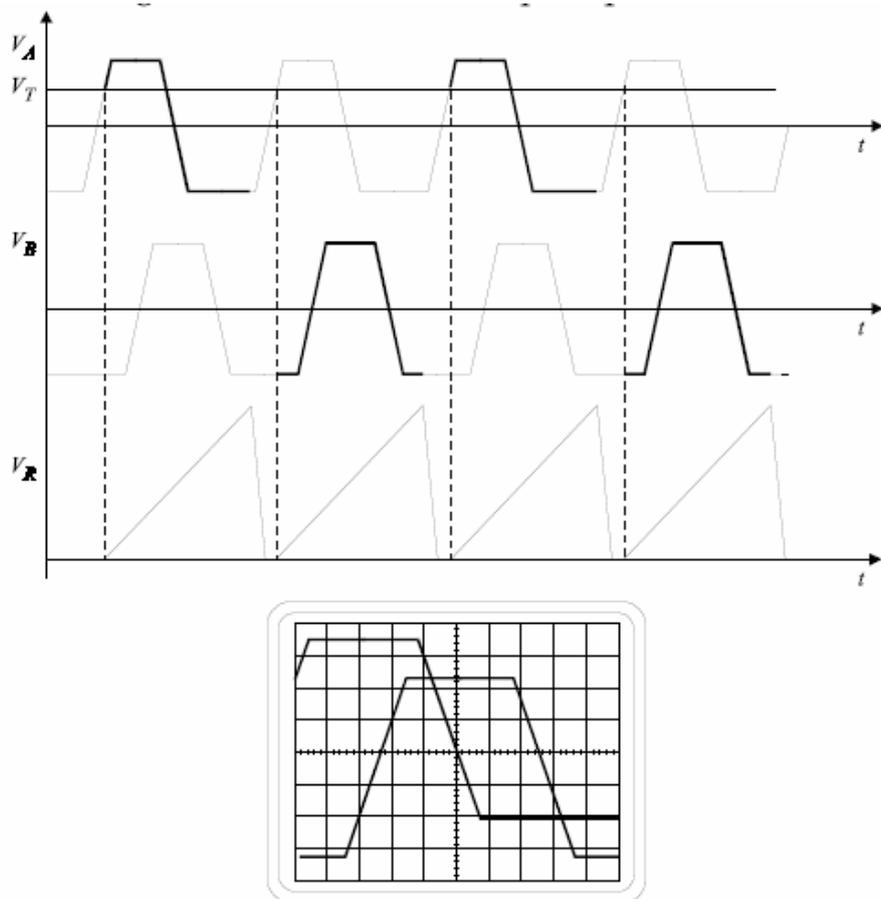
Quando invece si agisce alternativamente sui due interruttori, al variare della frequenza con cui vengono effettuate le aperture e le chiusure si possono avere diverse modalità di funzionamento.

Se tale frequenza coincide con quella dei segnali di sincronizzazione, durante una spazzolata viene chiuso  $I_A$  e aperto  $I_B$ ; la posizione di entrambi gli interruttori viene poi variata alla spazzolata successiva. In tal modo viene visualizzato alternativamente uno dei due segnali di ingresso; per tale motivo questa modalità di funzionamento viene denominata “alternate”.

La frequenza delle aperture e chiusure di  $I_A$  e  $I_B$  può però essere anche molto maggiore di quella relativa a una singola spazzolata. In questo caso vengono visualizzate alternativamente piccolissime porzioni dei due segnali, difficilmente risolvibili dall'occhio dell'operatore; le due tracce appaiono pertanto continue. Per ricordare che le due tracce sono state “affettate”, questo modo di funzionamento viene denominato “chopped”.

- **Modalità Alternated.**

Se la frequenza di funzionamento dei due interruttori, coincide con quella dei segnali di sincronizzazione, durante una spazzolata viene chiusa  $C_1$  e aperto  $C_2$ ; la posizione di entrambi gli interruttori viene poi variata alla spazzolata successiva. In tal modo viene visualizzato alternativamente uno dei due segnali di ingresso (Fig. 35). Sfruttando la proprietà di fosforescenza dei fosfori e il tempo di persistenza delle immagini sulla retina dell'occhio umano, le tracce sullo schermo appariranno come se fossero state visualizzate contemporaneamente. Questo sistema non si presta a visualizzare finestre temporali lunghe e segnali a frequenza troppo bassa, in quanto la traccia di un canale sullo schermo può diventare evanescente prima del successivo rinfresco e quindi si vede una traccia alla volta.

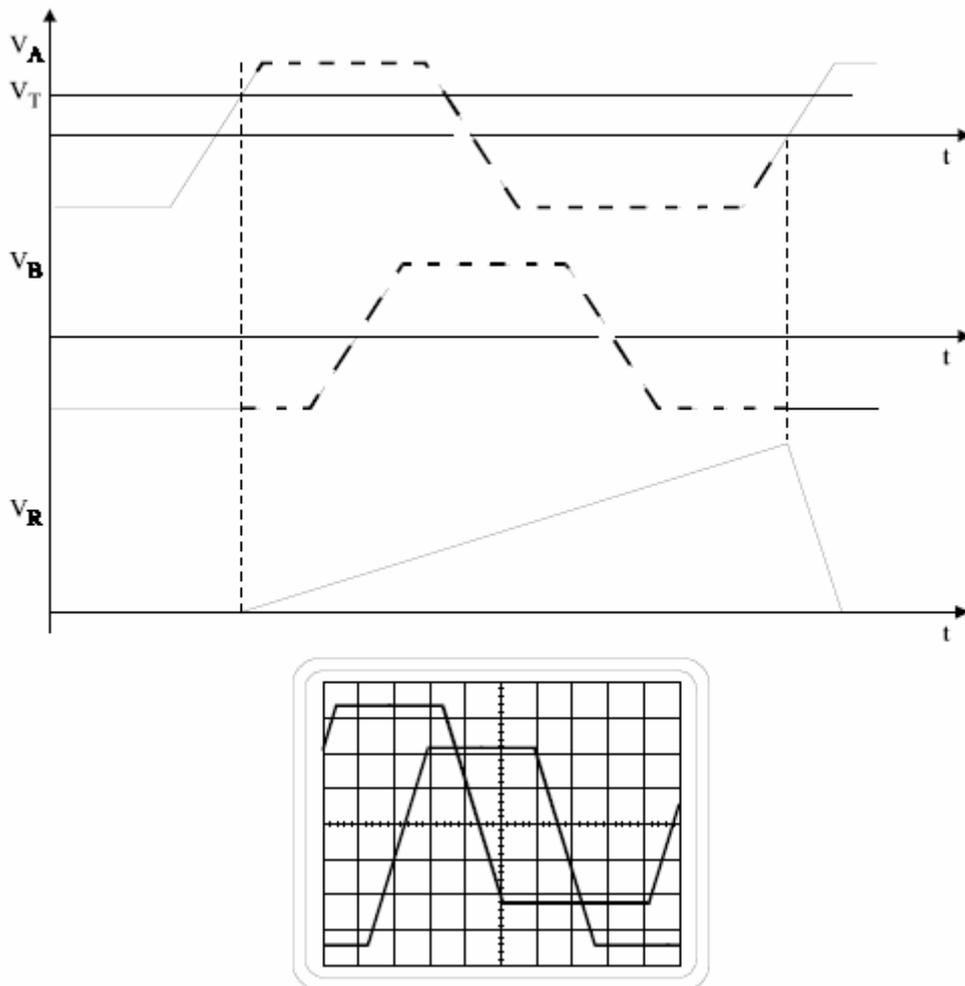


**Fig. 13\_Rappresentazione di due segnali in modalità alternated.**

- **Modalità Chopped.**

Questa seconda modalità operativa regola l'apertura e la chiusura dei due interruttori mediante un multivibratore astabile avente una frequenza di oscillazione dell'ordine delle centinaia di kHz. Se la finestra temporale di osservazione è molto maggiore del periodo di commutazione del multivibratore, la traccia visualizzata è costituita da un numero elevato di tratti successivi e quindi appare continua (Fig. 36). Viceversa se la finestra temporale di osservazione è breve si hanno poche commutazioni in una spazzolata e quindi si possono perdere porzioni delle tracce.

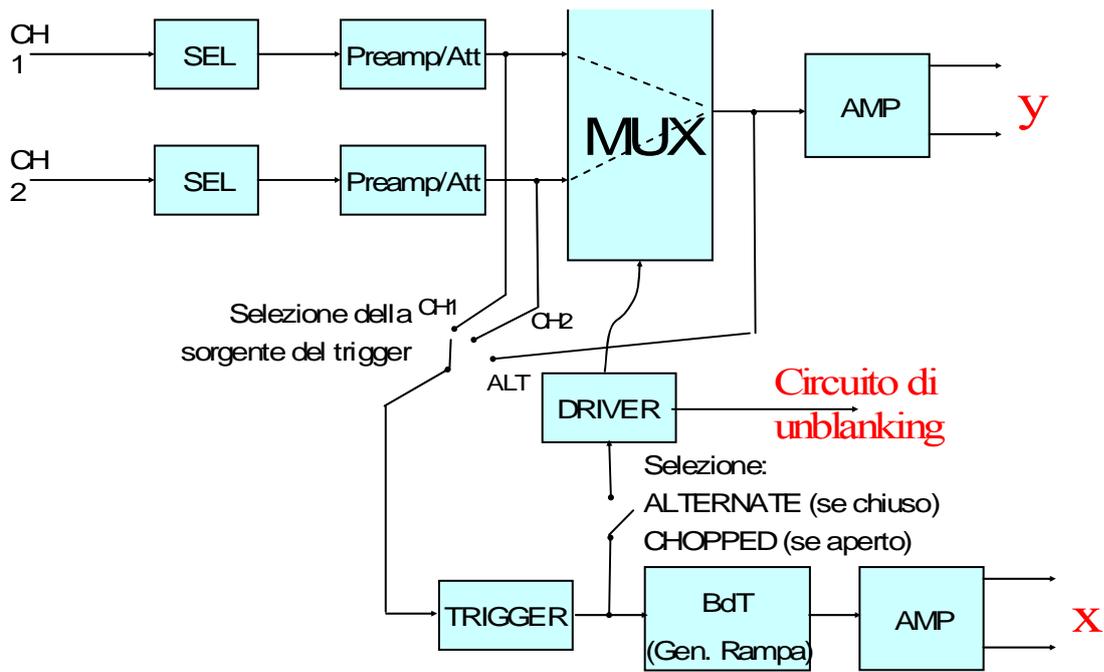
Nella modalità chopped i comandi C1 e C2 vengono alternativamente comandati con periodo  $T_c$ .



**Fig. 14\_Rappresentazione di due segnali in modalità chopped.**

Supponendo che i segnali di ingresso siano periodici e che sullo schermo siano visualizzati al più pochi periodi di tali segnali, si può quindi affermare che il funzionamento chopped è adatto per segnali a bassa frequenza, mentre quello alternate fornisce prestazioni migliori con segnali ad alta frequenza.

In alcuni oscilloscopi, la scelta fra le due modalità è affidata all'operatore attraverso un comando presente sul pannello, mentre in altri casi, sarà lo strumento stesso a effettuare la scelta più opportuna. Per coefficienti inferiori a 0.2 ms/div è selezionata la modalità alternated, mentre per valori superiori a 0.2 ms/div opera la modalità chopped.



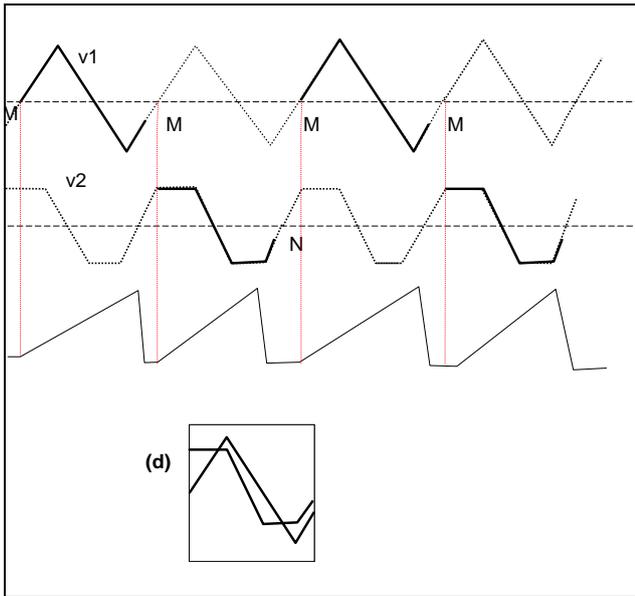
**Fig. 37 Schema a blocchi di un oscilloscopio a doppia traccia**

In Fig. 37 è riportato uno schema a blocchi dell'oscilloscopio a doppia traccia. Nella modalità alternate sarà l'uscita della base dei tempi a pilotare la commutazione mentre in modalità chopped il driver non ha nessun segnale in ingresso e quindi funziona da astabile. Il circuito di unblanking è anch'esso pilotato dal driver in modo da evitare che in modalità chopped si veda il passaggio del pennello da una traccia ad un'altra.

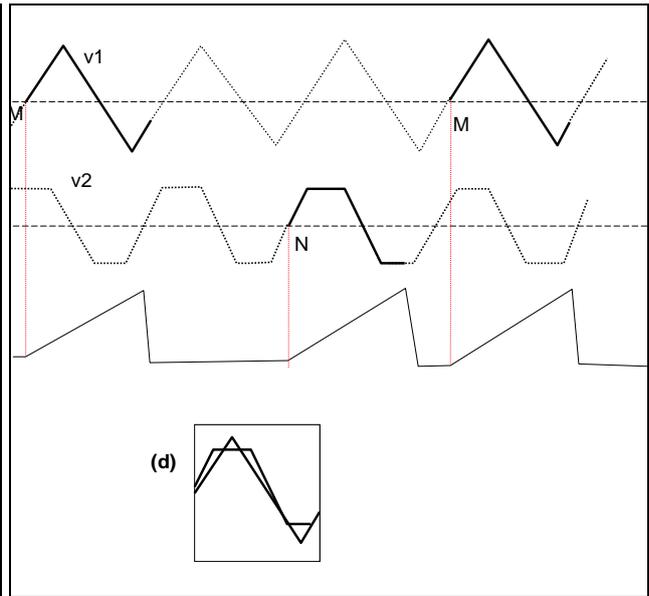
Per quanto riguarda la sorgente del sincronismo è possibile scegliere uno dei due segnali visualizzati (CH1, CH2) oppure il segnale in uscita dal commutatore (in Fig. 37 modalità ALT). Se si sceglie come sorgente uno dei due segnali, le due tracce appaiono stabili sullo schermo solo se i due segnali sono isofrequenziali o uno possiede una frequenza multipla intera di quella dell'altro. In caso contrario, solo il canale che fornisce la sorgente di sincronismo alla base dei tempi appare stabile sullo schermo, mentre l'altro non è sincronizzato. Se si seleziona come segnale di trigger quello in uscita dal commutatore (ALT) a seconda della modalità di commutazione si hanno diversi effetti.

In modalità **alternate**, si ha che ad ogni rampa varia la sorgente di sincronismo e coincide sempre con il segnale visualizzato, di conseguenza le due tracce appaiono stabili. : la partenza della rampa è sincronizzata di volta per entrambe le traccia è sincronizzata con il segnale è sincronizzato con il segnale da visualizzare. Poiché entrambe le tracce partono dallo stesso livello e pendenza viene persa la loro relazione di fase.

Per chiarire questa ultima condizione di funzionamento in Fig. 38 o sono illustrate schematicamente le forme d'onda ottenute in modalità alternate, per due segnali isofrequenziali ed utilizzando come



**Fig. 39. Sorgente di trigger CH1**



**Fig. 39. Sorgente di trigger ALT**

sorgente il segnale CH1. La partenza della rampa avviene sempre in corrispondenza ai punti M di trigger ottenuti dal segnale  $v_1$ . L'immagine ottenuta sfruttando la persistenza dei fosfori è riportata in Fig. 38(d); si noti in particolare che viene mantenuta la relazione di fase esistente tra i due segnali.

Viceversa, se il segnale di sincronismo è ottenuto alternativamente dai due canali, ALT, l'immagine visualizzata appare come illustrato in Fig. 39(d), perché la rampa parte in corrispondenza degli istanti M se si sta visualizzando  $v_1$  e N quando si visualizza  $v_2$ . In questo modo, al contrario di quanto accade quando il sincronismo è ricavato da un unico canale, si ottengono sempre tracce sincronizzate; viene però persa la relazione di fase.

In modalità chopped non è possibile sincronizzarsi prelevando il segnale a valle del commutatore in quanto questo segnale è composto in parte dal segnale su canale 1 ed in parte sul segnale di canale 2, quindi non è un segnale sul quale si può prendere un riferimento temporale. Di conseguenza gli impulsi di sincronismo possono pertanto essere ottenuti solamente da un unico canale (CH1 o CH2), e se non c'è un rapporto intero tra i periodi dei due segnali non si ha il sincronismo di entrambe le tracce.