

OSCILLOSCOPI

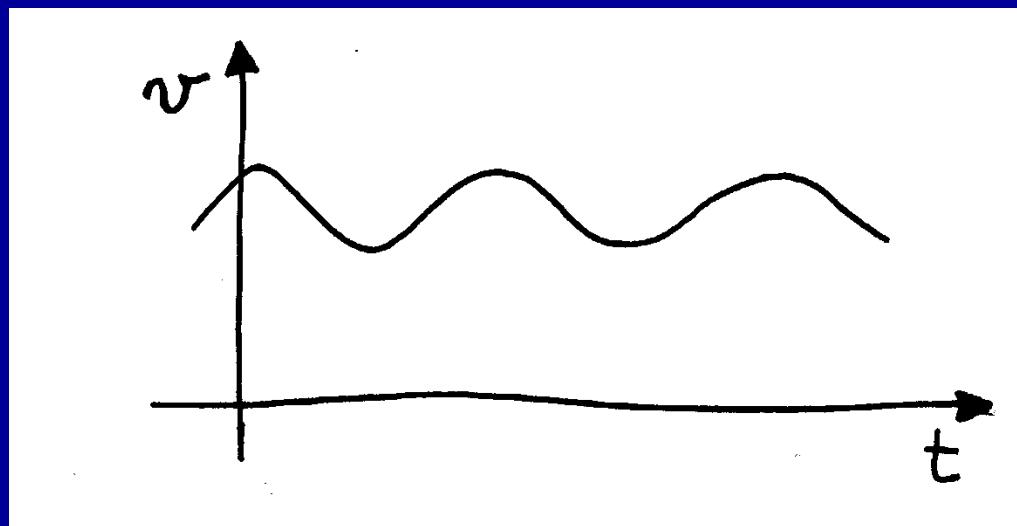
funzionamento OSC ANALOGICO e SONDE



prof. Cesare Svelto

L'oscilloscopio (oscillografo)

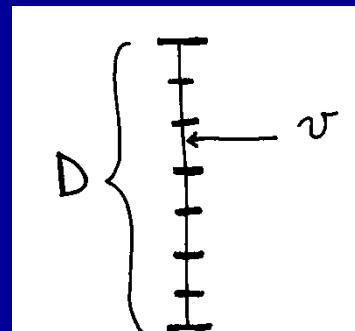
E' uno strumento di misura che consente la visualizzazione grafica dell'evoluzione temporale di un segnale di **tensione** (in ordinata o Asse Y) in funzione del **tempo** (in ascissa o Asse X)



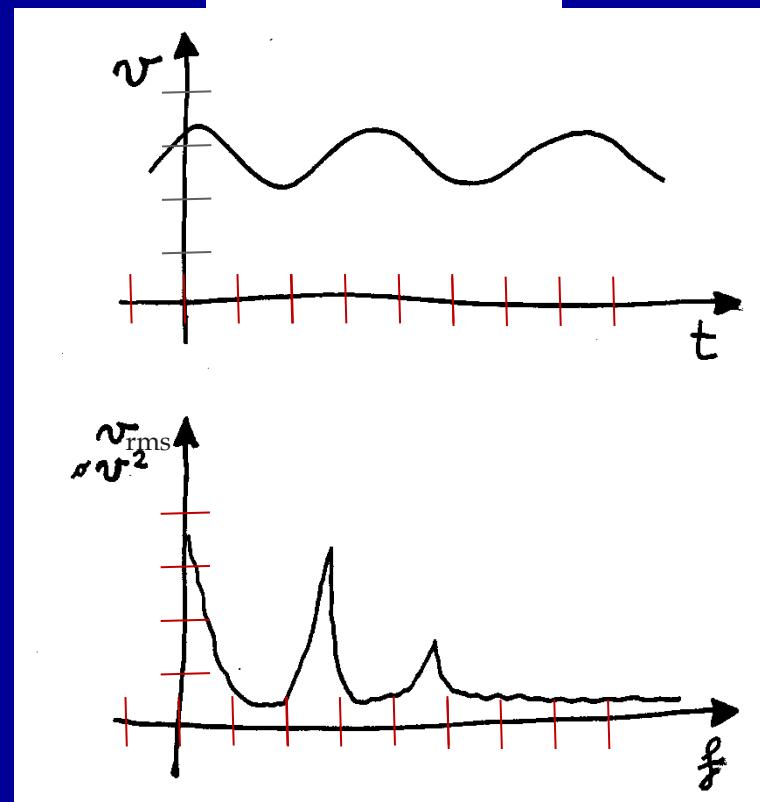
Utilizzando scale calibrate e graduate, è possibile effettuare **misure quantitative** oltre che qualitative

Confronto tra Strumenti di Misura

1) VOLTMETRI



2) OSCILLOSCOPI



3) ANALIZZATORI
DI SPETTRO

Sezioni dell'Oscilloscopio

4 SEZIONI PRINCIPALI

- 1) Schermo e regolazione della traccia
- 2) Condizionamento e amplificazione verticale
(accoppiamenti e guadagni d'ingresso)
- 3) Sincronismo (trigger)
- 4) Base dei tempi (amplificazione orizzontale)

Funzioni delle 4 Sezioni

1) Schermo e regolazione della traccia

consente di visualizzare una traccia luminosa che evolve nel dominio del tempo (asse X) tenendo conto dei livelli di tensione (asse Y)

2) Condizionamento e amplificazione verticale

consente di accoppiare il segnale in DC o AC (o GND) e di scegliere il fattore di scala verticale $A_Y=[V/DIV]$ per l'asse Y

3) Sincronismo (trigger)

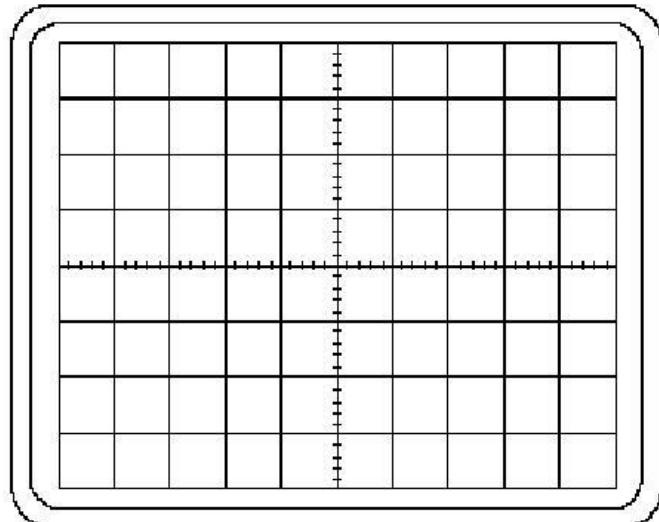
consente di "agganciare" un livello, con una data pendenza, sul segnale di trigger e da quel punto fa partire la visualizzazione

4) Base dei tempi (amplificazione orizzontale)

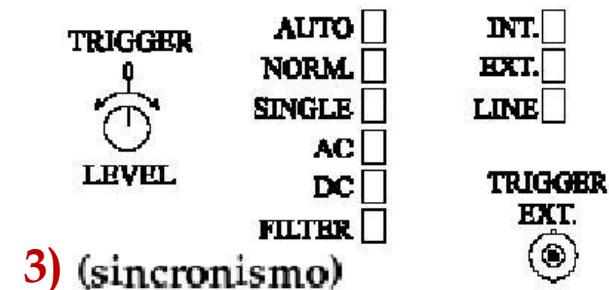
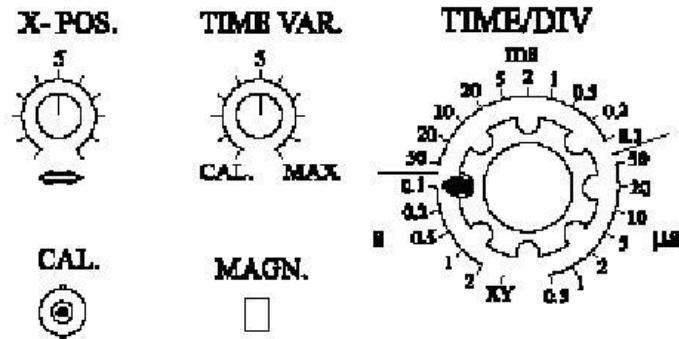
consente di "scansionare" la traccia da sx a dx lungo l'asse X e di scegliere il fattore di scala orizzontale $A_X=[s/DIV]$

Pannello frontale

1) (schermo)

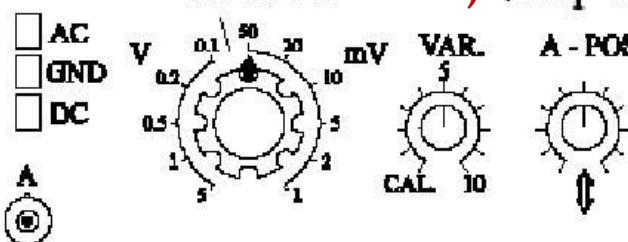


4) (base dei tempi)

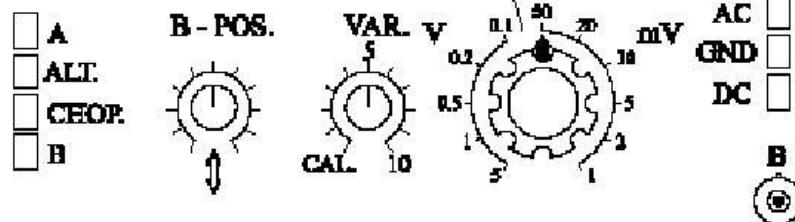


3) (sincronismo)

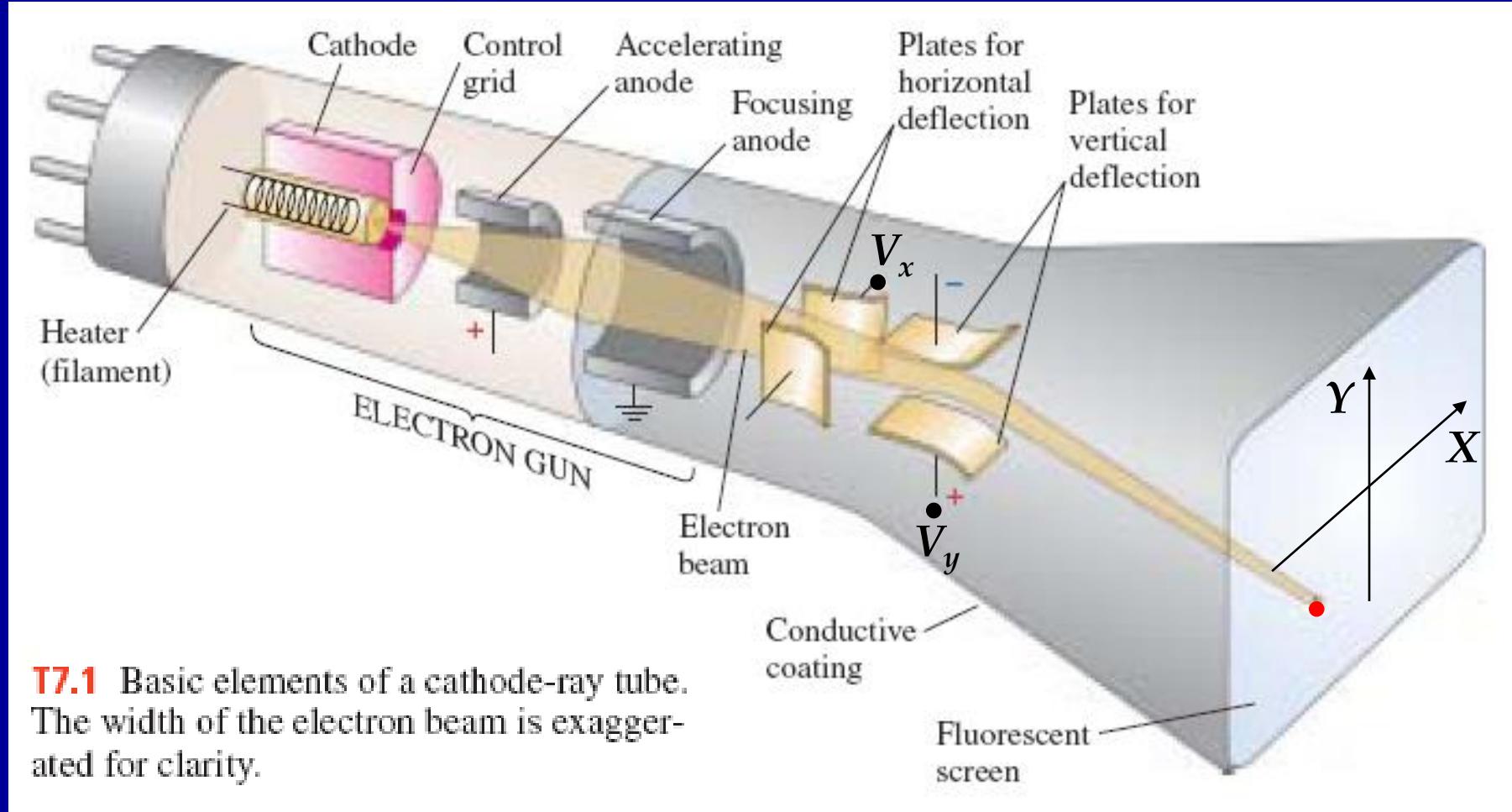
VOLT/DIV



2) (amplificazione verticale)



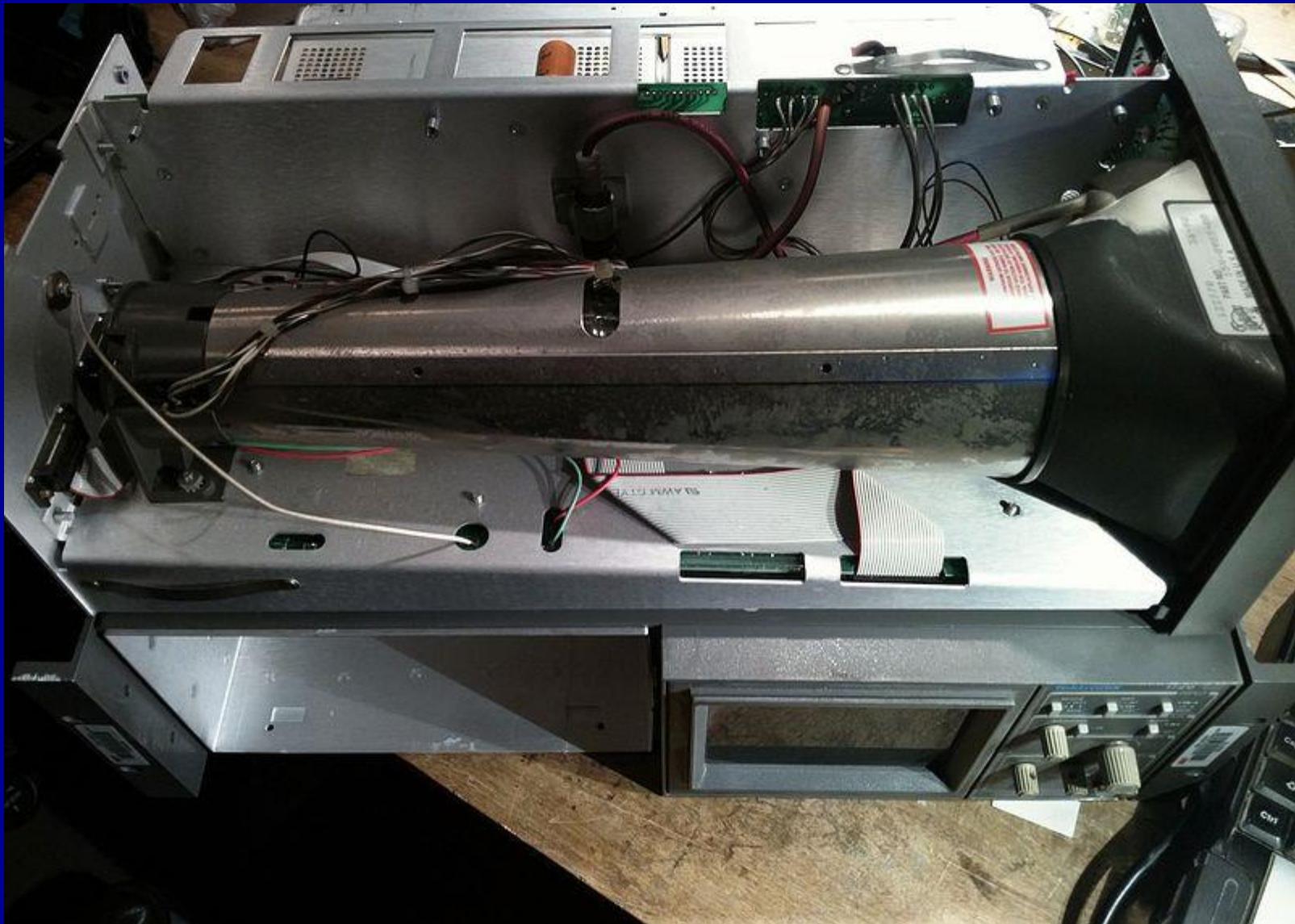
Tubo a raggi catodici (TRC o CRT)



T7.1 Basic elements of a cathode-ray tube.
The width of the electron beam is exaggerated for clarity.

Controllando le tensioni di deflessione, V_y e V_x , è possibile “disegnare” sullo schermo (PLOT X-Y) l’andamento dei segnali in funzione del tempo

Tubo a raggi catodici (TRC o CRT)



YOUTUBE Videos on CRTs

Electrostatic deflection of cathode Rays

<https://www.youtube.com/watch?v=Ne4ls1xEgiI>

Incredible Homemade Cathode Ray Tube - Part 1

<https://www.youtube.com/watch?v=5-Bco8KRpmU>

The Cathode Ray Tube "how it works"

Year 1943 16mm U.S. military training film

<https://www.youtube.com/watch?v=GnZSopHjmYQ>

Sensibilità e banda passante (1/3)

Considerando il caso di un segnale sinusoidale $\omega=2\pi f$ applicato in tensione per la deflessione verticale:

$$V_y(t) = V_y \sin(\omega t + \varphi) = V_y \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \text{ SEGNALE}$$

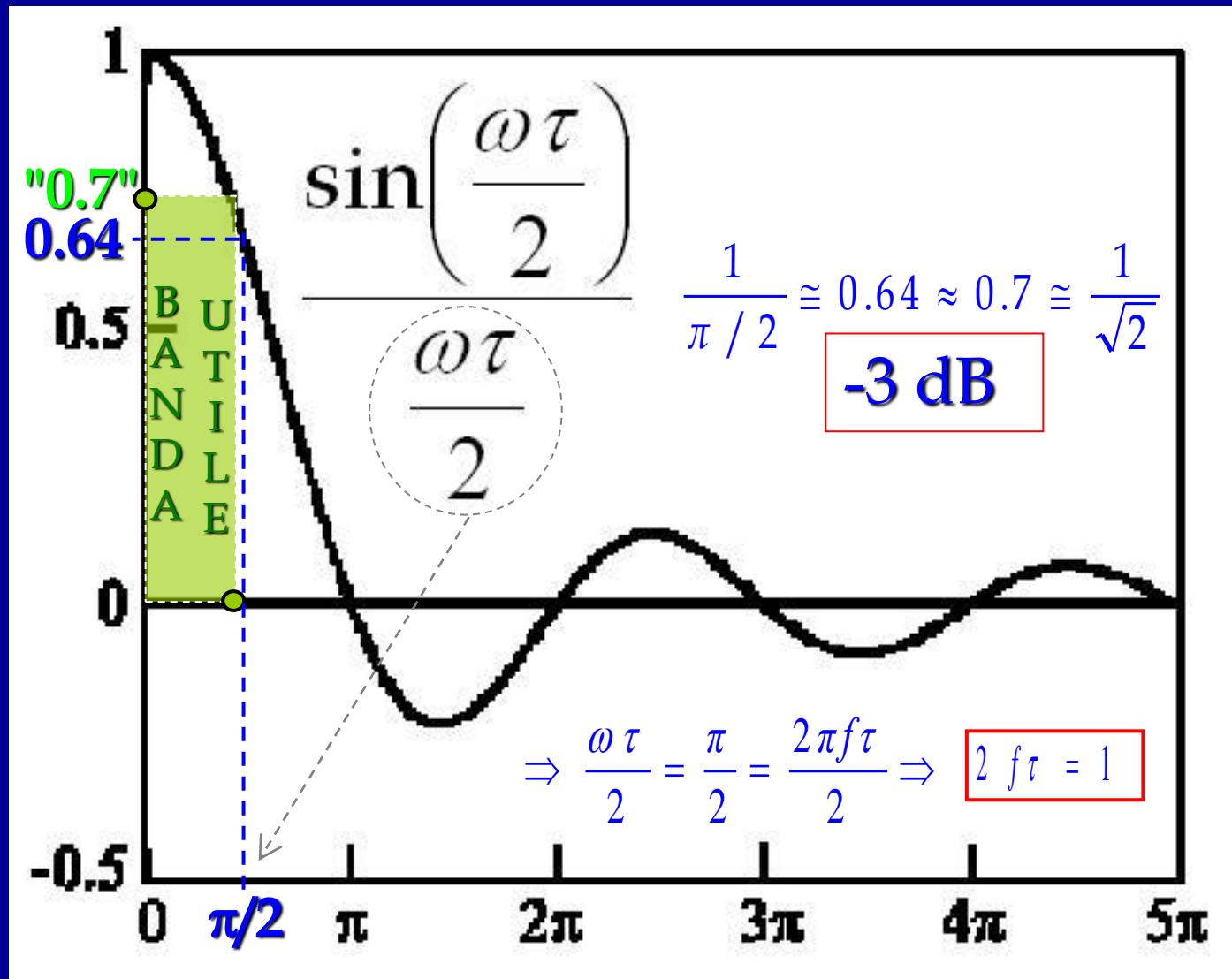
$$Y = \frac{BL}{2dV_{\text{acc}}} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \cdot V_y \text{ DEFLESSIONE}$$

B, L, d
 V_{acc}, τ

$$S_{\text{d.}} = \frac{Y}{V_y} = \frac{BL}{2dV_{\text{acc}}} \frac{\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)}{\frac{\omega\tau}{2}} = S_{\text{s.}} \frac{\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)}{\frac{\omega\tau}{2}} \text{ SENSIBILITÀ'}$$

$\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) = (\pi f\tau)$ come nel voltmetro integratore

Sensibilità e banda passante (2/3)



Sensibilità e banda passante (3/3)

Frequenza massima di lavoro, BANDA, è f_{\max} t.c. :

$$\frac{\omega \tau}{2} = \frac{\pi}{2} \text{ per cui l'ampiezza si riduce di } \frac{1}{\pi/2} \approx 0.64 \approx 0.7 \approx \frac{1}{\sqrt{2}}$$

“Banda utile” di lavoro per “misure non distorte”:

$$\frac{\omega \tau}{2} < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{2\pi f \tau}{2} < \frac{\pi}{2} \Rightarrow f_{\max} = \frac{1}{2\tau} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{e V_{\text{acc}}}{2m_e}}$$

Banda passante e sensibilità sono requisiti contrastanti !!

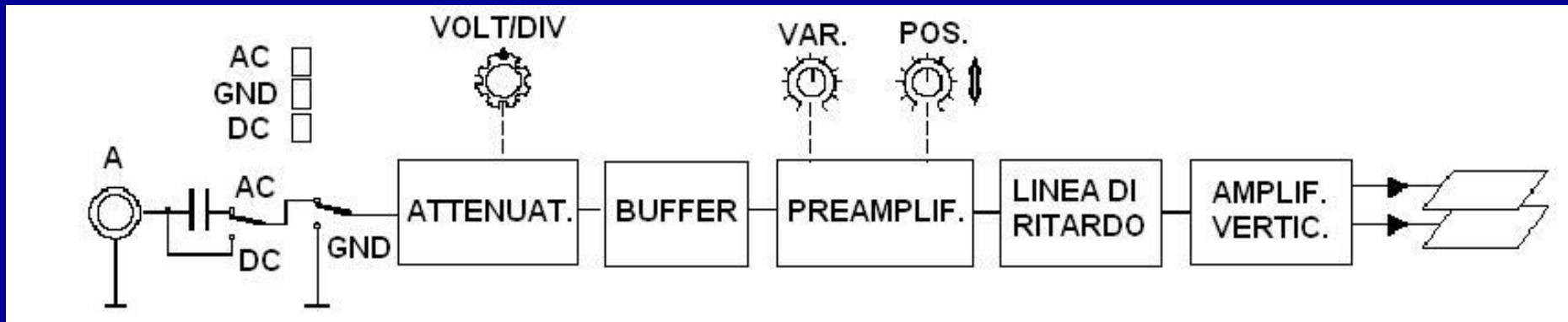
$$S_{\text{s.}} = \frac{B L}{2 d V_{\text{acc}}}$$

$$B \approx f_{\max} \propto \frac{\sqrt{V_{\text{acc}}}}{L}$$

mentre

$$S \propto \frac{L}{V_{\text{acc}}}$$

Condizionamento - ampl. verticale

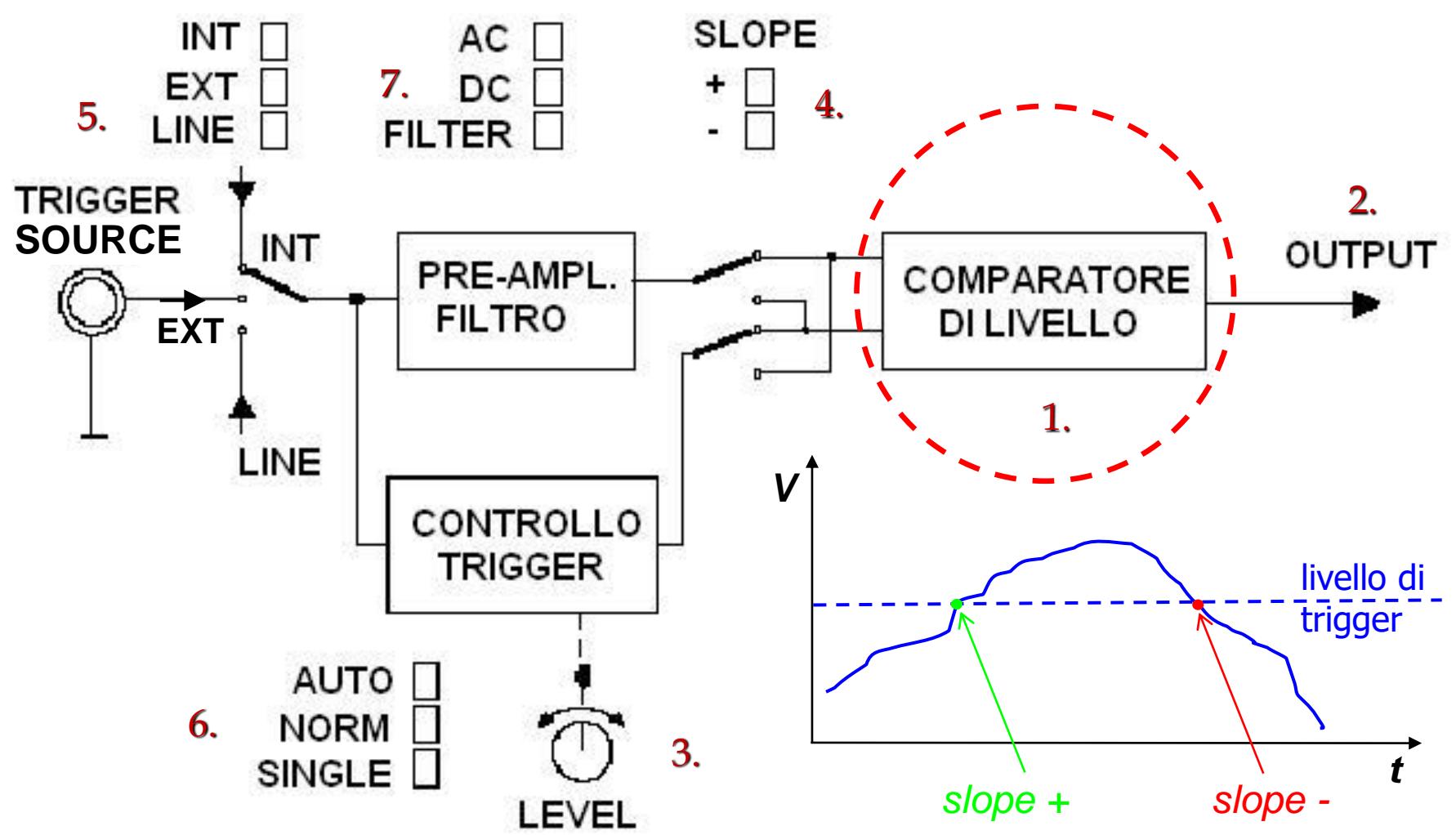


<i>coupling</i>	regolaz. scal. vert.	adatt. imped.	guadagno fine e offset	rifasam. X-Y	100-400V alta banda	defl. Y carico C
-----------------	----------------------------	------------------	------------------------------	-----------------	------------------------	---------------------

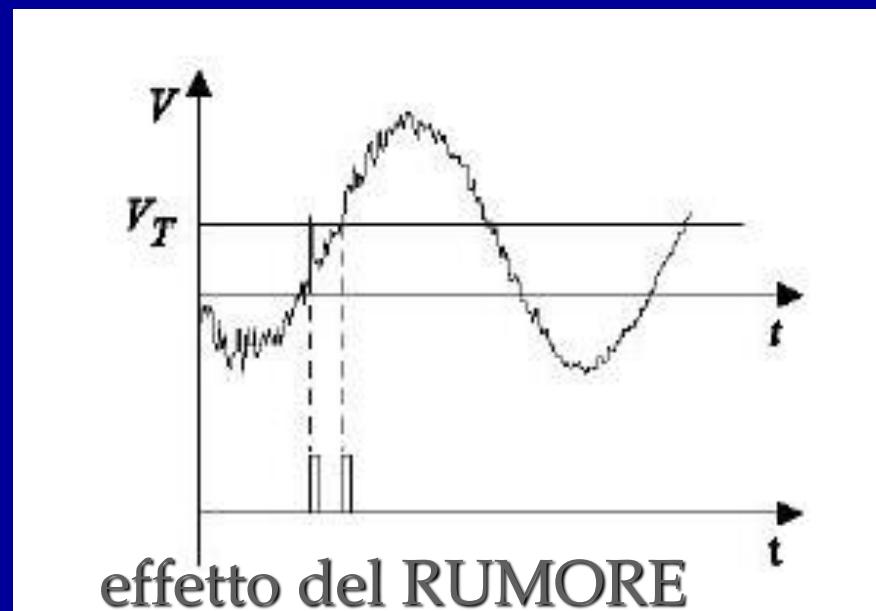
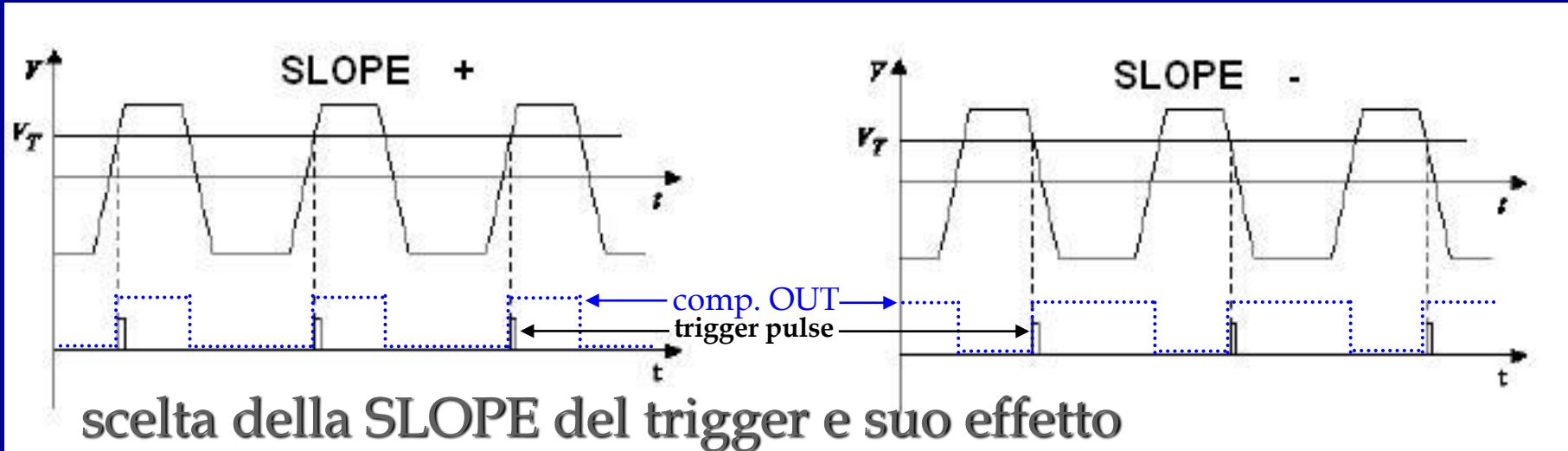
Tempo di salita dell'oscilloscopio (“risposta” Y):

$$t_{\text{so}}[\text{s}] = \frac{k}{B[\text{Hz}]} \left\{ \begin{array}{l} k = 0.35 \text{ per f.d.t. a un polo} \\ \quad (\text{v. lucidi "Misure con l'Oscilloscopio"}) \\ 0.35 < k < 0.5 \text{ per f.d.t. a due poli} \end{array} \right.$$

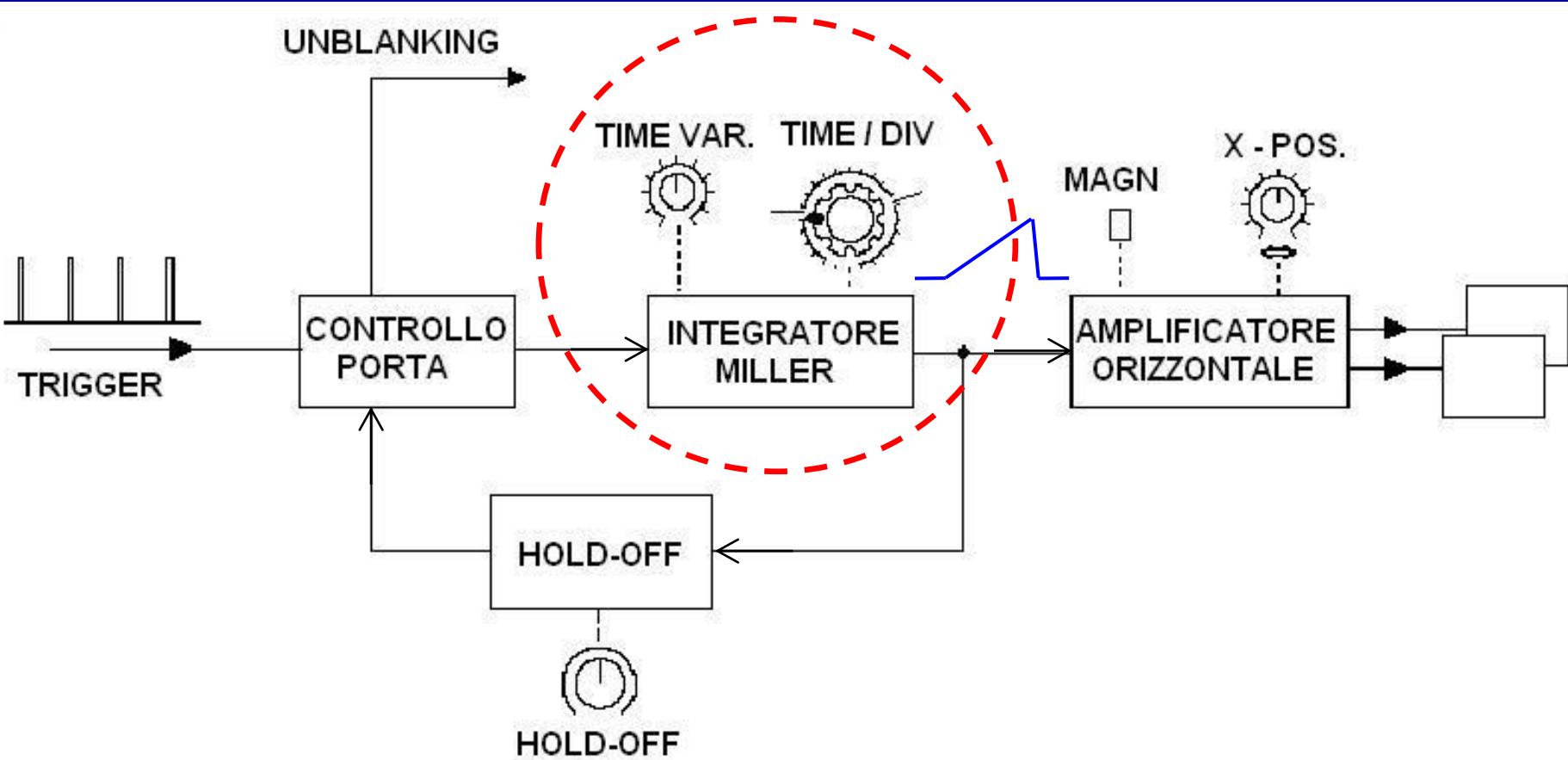
Sincronismo (*trigger*)



Trigger: slope e rumore additivo



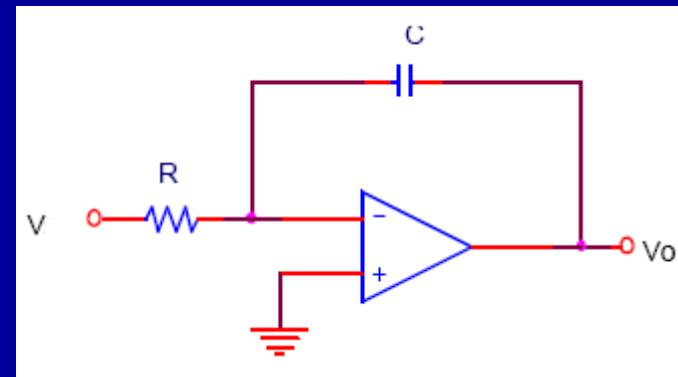
Base dei tempi (1/3)



Base dei tempi (2/3)

INTEGRATORE DI MILLER

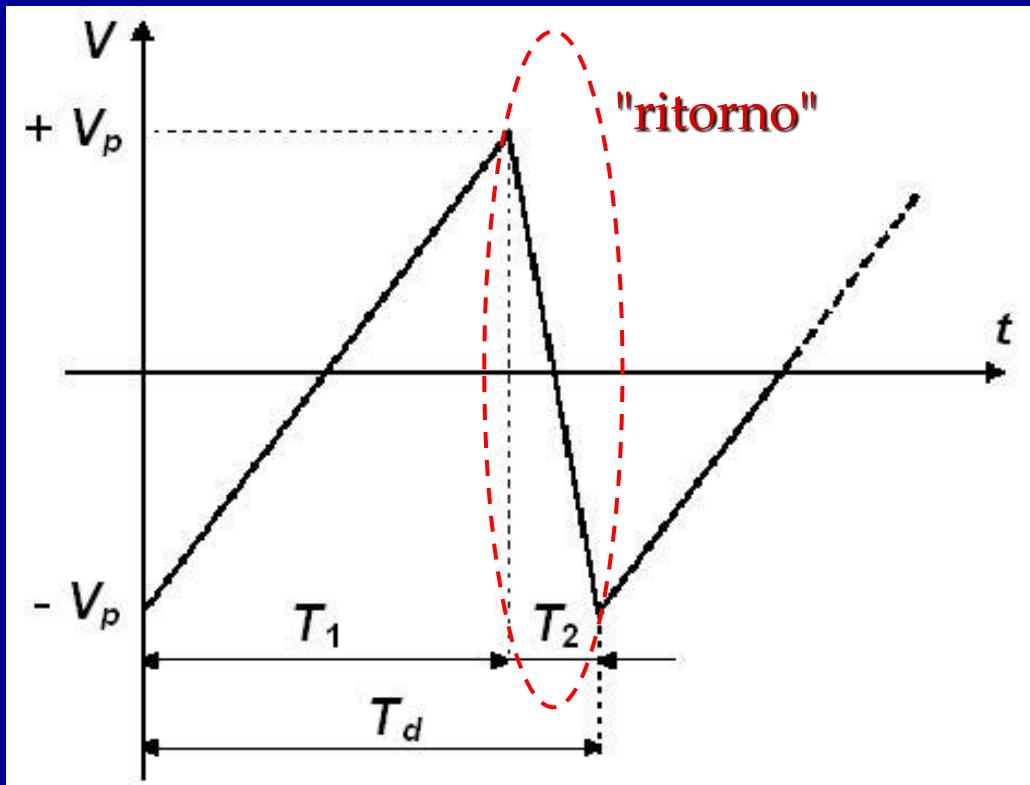
È un amplificatore operazionale, in configurazione invertente, con un condensatore (C) in reazione e una resistenza (R) in ingresso



È comandato da una tensione d'ingresso costante (V) che produce una corrente costante $I = V/R$ quindi "integrata" sul condensatore.

Si ottiene in uscita una **rampa di tensione** con pendenza regolabile variando il valore della costante di tempo RC (variando R e/o C a scatti)

Base dei tempi (3/3)



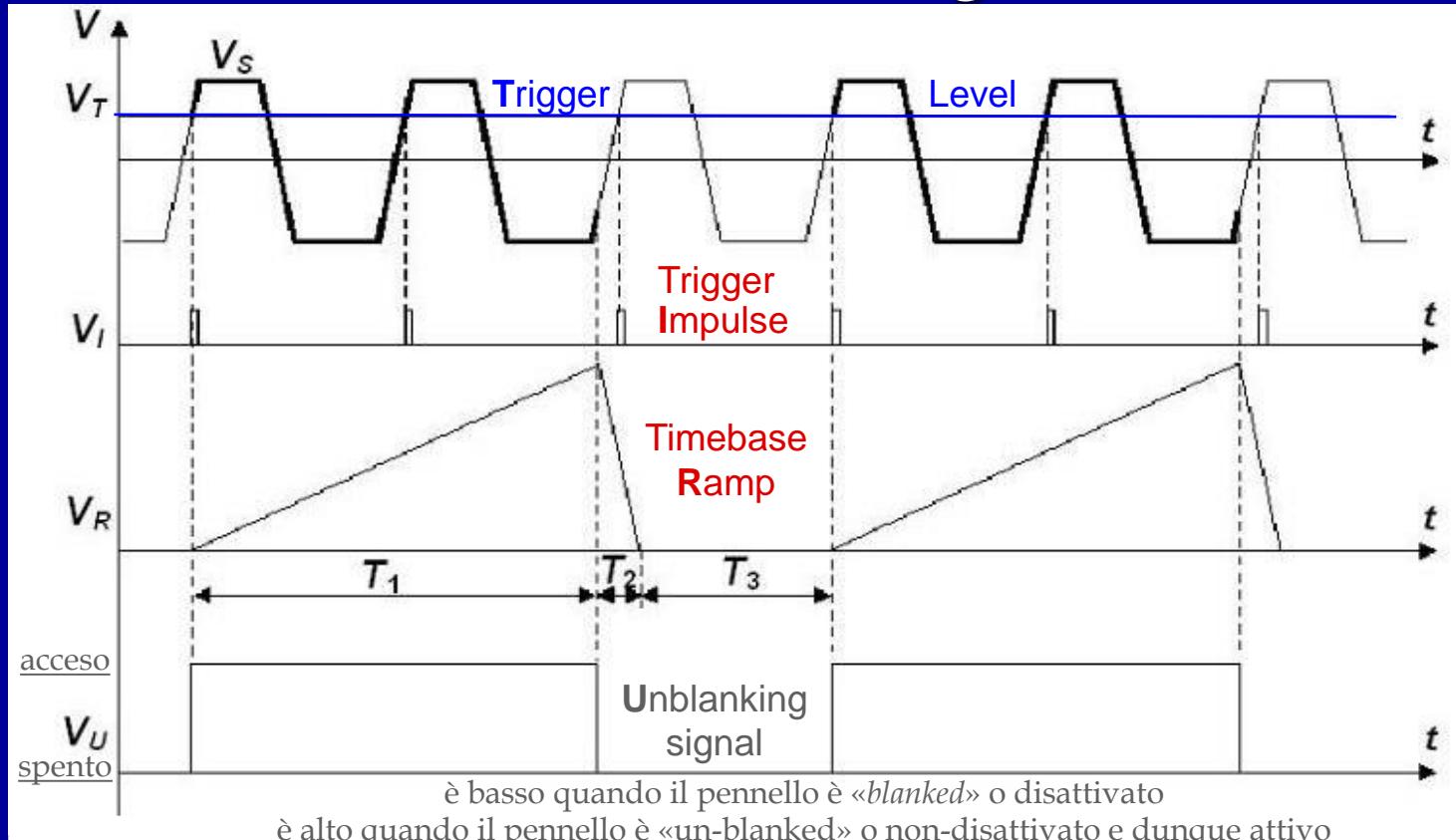
Rampa di deflessione X

L'amplificazione orizzontale è legata alla pendenza della rampa X $A_x \propto p^{-1}$
 $T_x = (2V_p/p)$
 $A_x = T_x / 10\text{DIV}$
= [s/DIV]

Durante il “ritorno” del pennello elettronico (tempo T_2) un comando (*unblanking*, su V_G di griglia) regola a zero l'intensità della traccia luminosa

Base dei tempi e trigger

Effetto del sincronismo sul segnale visualizzato

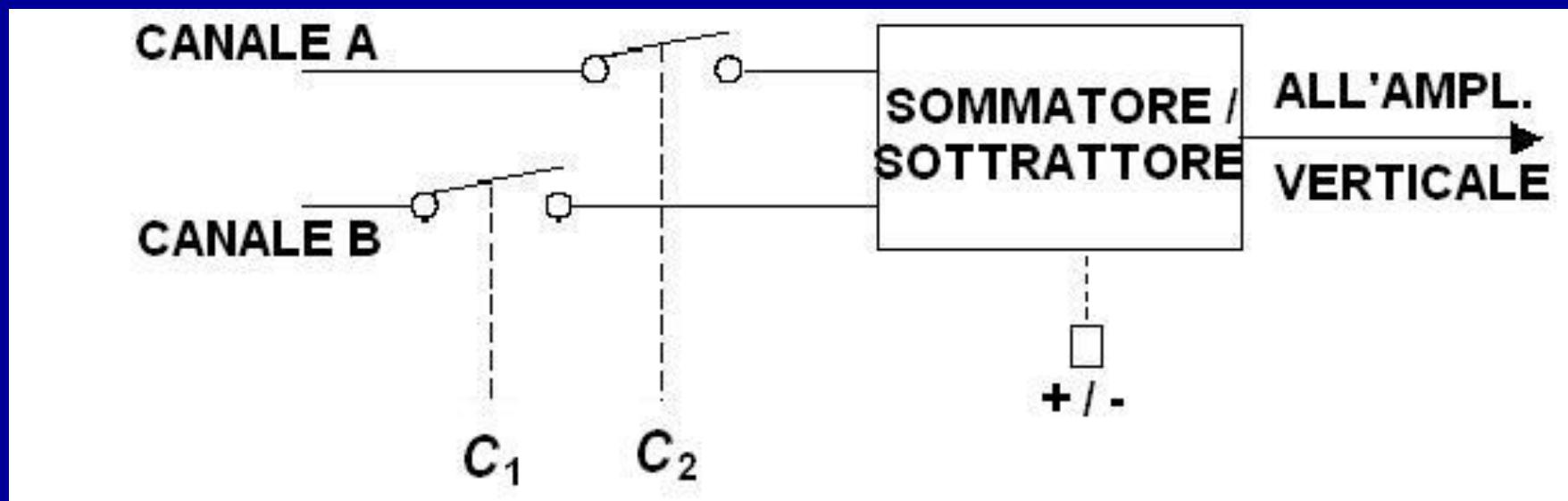


Il tempo T_2 occorre per riportare il pennello elettronico da dx a sx lungo lo schermo (il cannone elettronico è spento $\leftarrow V_U \text{ low}$)

Il tempo T_3 di attesa, prima di partire con il disegno di una nuova traccia, dipende dal segnale d'ingresso (da quando si ri-verificherà una condizione di *trigger utile*; Oscilloscopi V_U rimane *low*)

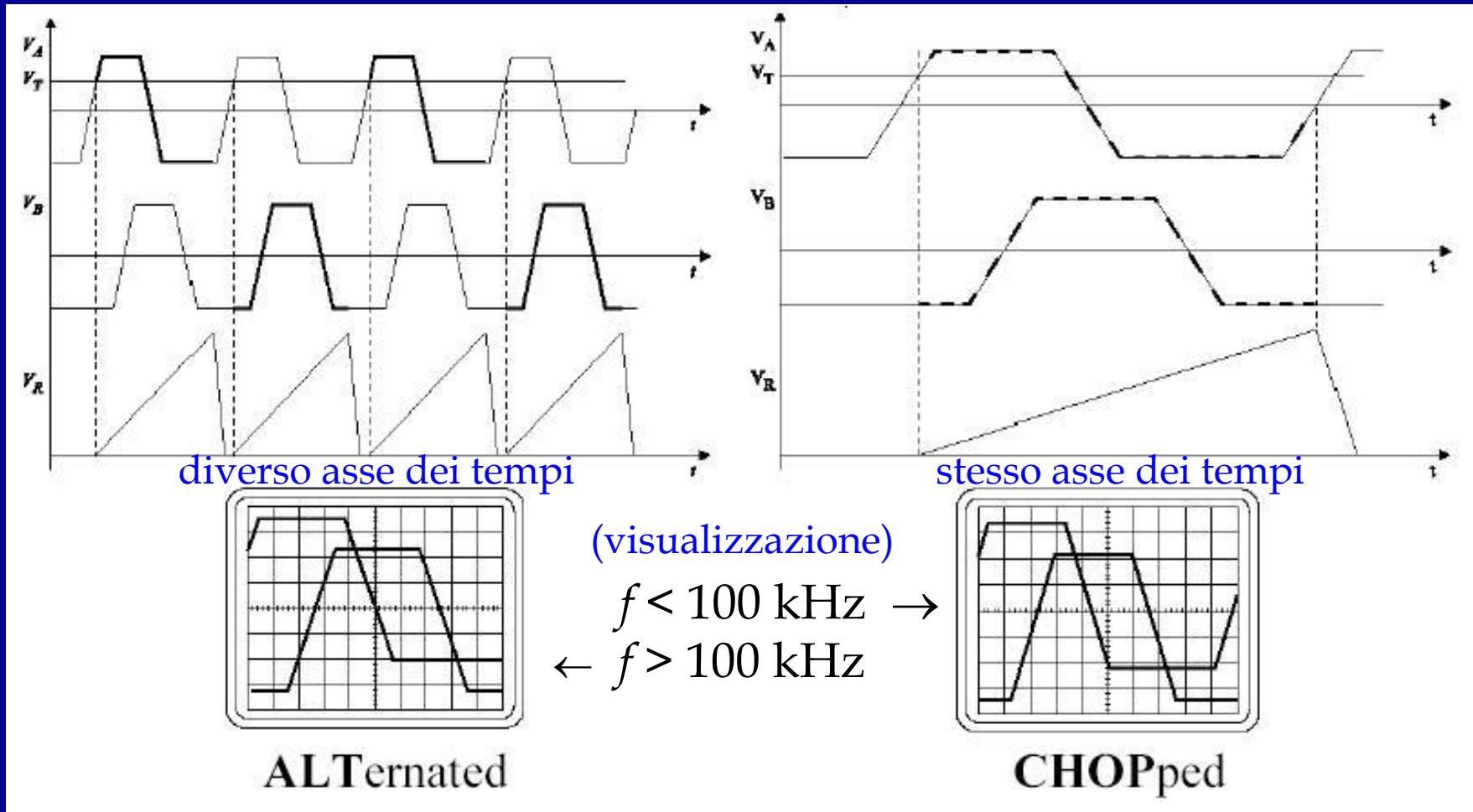
Amplificatore verticale per traccia multipla

Serve a inviare più segnali di misura all'unico amplificatore verticale che comanda le placchette di deflessione Y



I commutatori C_1 e C_2 (interruttori) regolano quali canali andranno all'amplificatore verticale e secondo quale modalità temporale

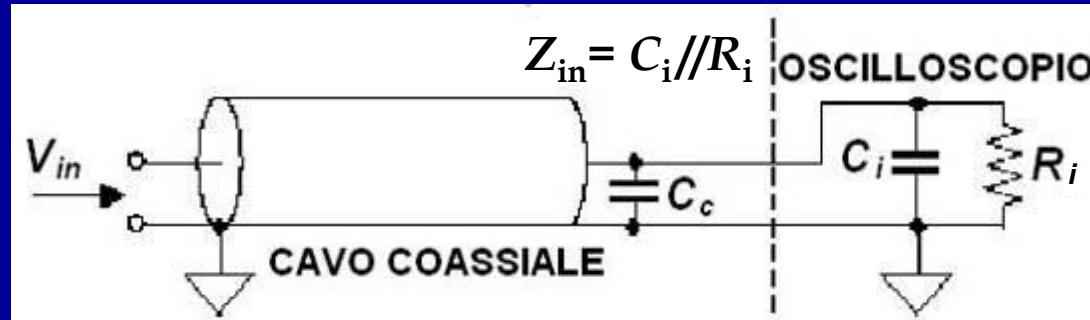
Multitraccia: ALTERNATED e CHOPPED



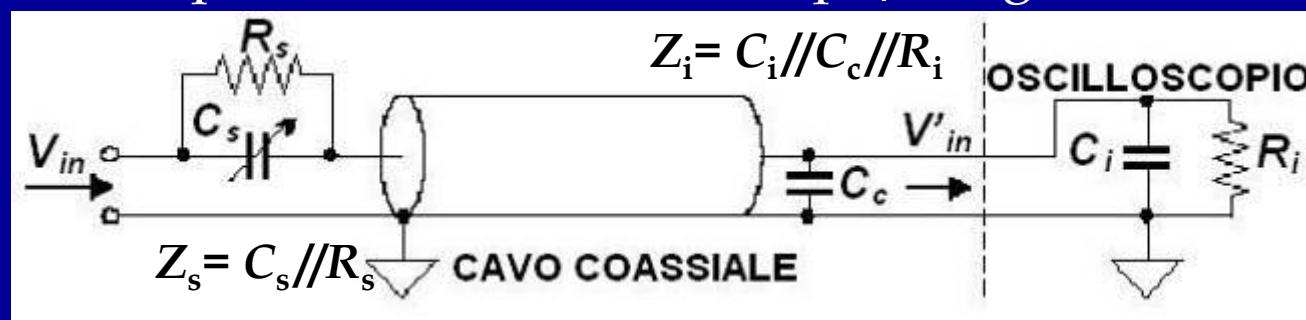
Per segnali “lenti” è preferibile la modalità **CHOPped** (che mantiene le relazioni di fase); per segnali “veloci” è preferibile (o necessaria) la modalità **ALternated** (non si deve vedere una traccia segmentata) (se il segnale V_B non è sincrono con V_A , il segnale *non-triggerato* scorrerà in X sullo schermo)

Sonde d'ingresso (1/2)

Poiché l'impedenza d'ingresso è elevata, il segnale viene prelevato con un **cavo schermato** (e.g. coassiale) così da **ridurre le interferenze esterne**



A causa della **capacità del cavo** (C_c) l'impedenza d'ingresso (da V_{in}) varia con la frequenza e cambia con il tipo/lunghezza di cavo



$$t = \frac{V'_{in}}{V_{in}}$$
$$a = \frac{V_{in}}{V'_{in}}$$

Se il cavo di collegamento fa parte di una sonda è possibile **compensare l'impedenza complessiva d'ingresso** (sonda + oscilloscopio), grazie alla capacità di compensazione C_s : di modo che l'attenuazione a tra V_{in} e V'_{in} sia puramente resistiva (indipendente dalla frequenza)

Sonde d'ingresso (2/2)

Attenuazione:

$$a = \frac{V_{\text{in}}}{V'_{\text{in}}} = \frac{Z_i + Z_s}{Z_i} = \frac{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i(C_i + C_c)} + \frac{R_s}{1 + j\omega R_s(C_s)}}{\frac{R_i}{1 + j\omega R_i(C_i + C_c)}}$$

Durante la compensazione della sonda si varia la sua capacità d'ingresso C_s sino a ottenere un comportamento equalizzato in frequenza, ottenuto quando:

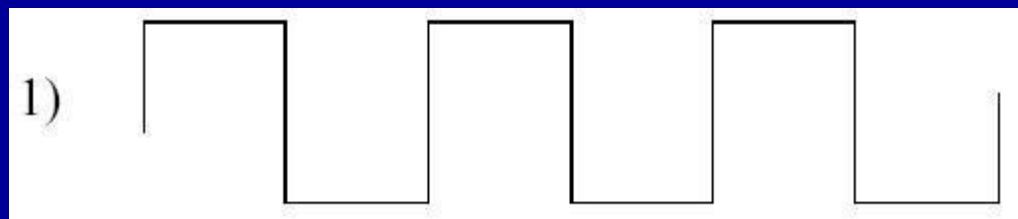
$$R_i(C_i + C_c) = R_s C_s \Rightarrow a = \frac{V_{\text{in}}}{V'_{\text{in}}} = \frac{Z_i + Z_s}{Z_i} = \frac{R_i + R_s}{R_i}$$

Tipicamente con $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ e $R_s = 9 \text{ M}\Omega$ (sonda 10x)
si attenua il segnale di un fattore 10 e si ottiene $R_{\text{in}} = 10 \text{ M}\Omega = 10 R_i$

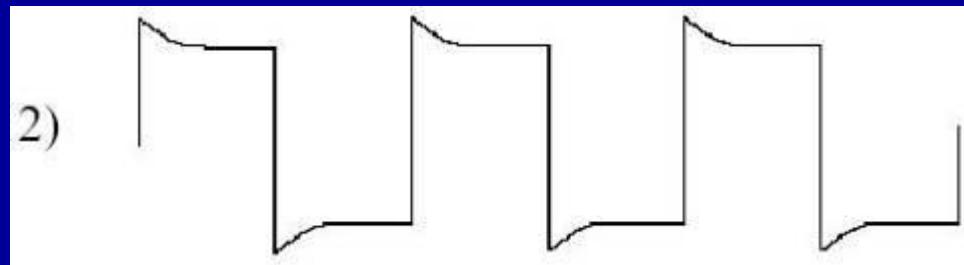
(aumenta l'impedenza d'ingresso! ☺ e anche la banda!! ☺ ☺)

Esistono anche sonde 100x oppure sonde attive (con guadagno) o di corrente

Compensazione sonda (1/2)

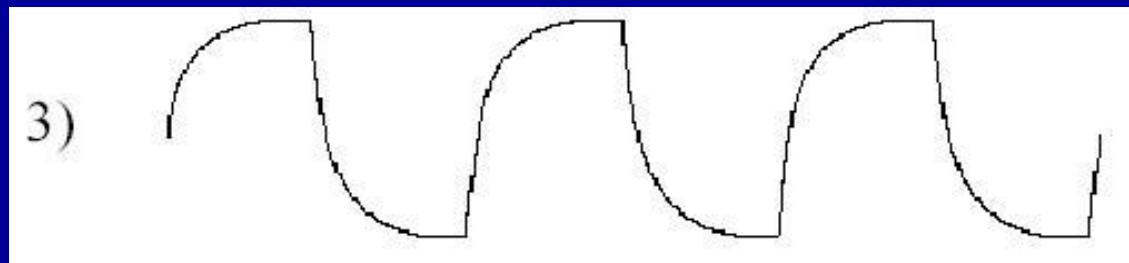


Compensazione corretta: la forma d'onda visualizzata è effettivamente di tipo rettangolare



Sovracompensazione della sonda: il valore di C_s è troppo elevato e vengono poco attenuate le armoniche a più alta frequenza (PASSA-ALTO)

Compensazione sonda (2/2)



Sottocompensazione della sonda: il valore di C_s è troppo piccolo e vengono attenuate maggiormente le armoniche a più alta frequenza (PASSA-BASSO)