

L'oscilloscopio

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione
"Fondamenti di Misure"- Prof. Andrea Cataldo

Introduzione

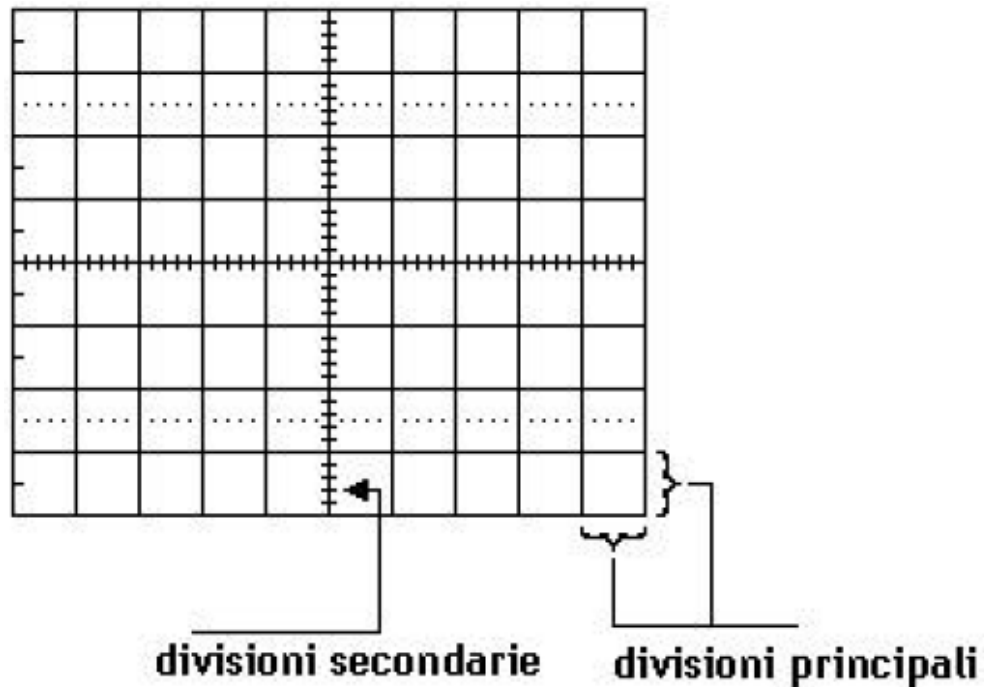
L'oscilloscopio è lo strumento di misura fondamentale per l'analisi dei segnali nel dominio del tempo.

L'oscilloscopio permette di visualizzare la forma d'onda del segnale di interesse, consentendo la determinazione dei suoi parametri caratteristici, come ad esempio l'ampiezza e il periodo.

Questo strumento, che può essere sia analogico che digitale, permette la visualizzazione su una scala graduata bidimensionale (reticolo) di segnali di tensione variabili nel tempo e consente di eseguire misure di ampiezza (valore di picco, efficace, medio, ecc.) e di tempo (periodo, frequenza, sfasamento, duty cycle, tempi di transizione, ecc.).

Ricorrendo all'uso di opportuni trasduttori, è comunque possibile impiegare l'oscilloscopio per la visualizzazione dell'andamento temporale di qualsiasi grandezza fisica.

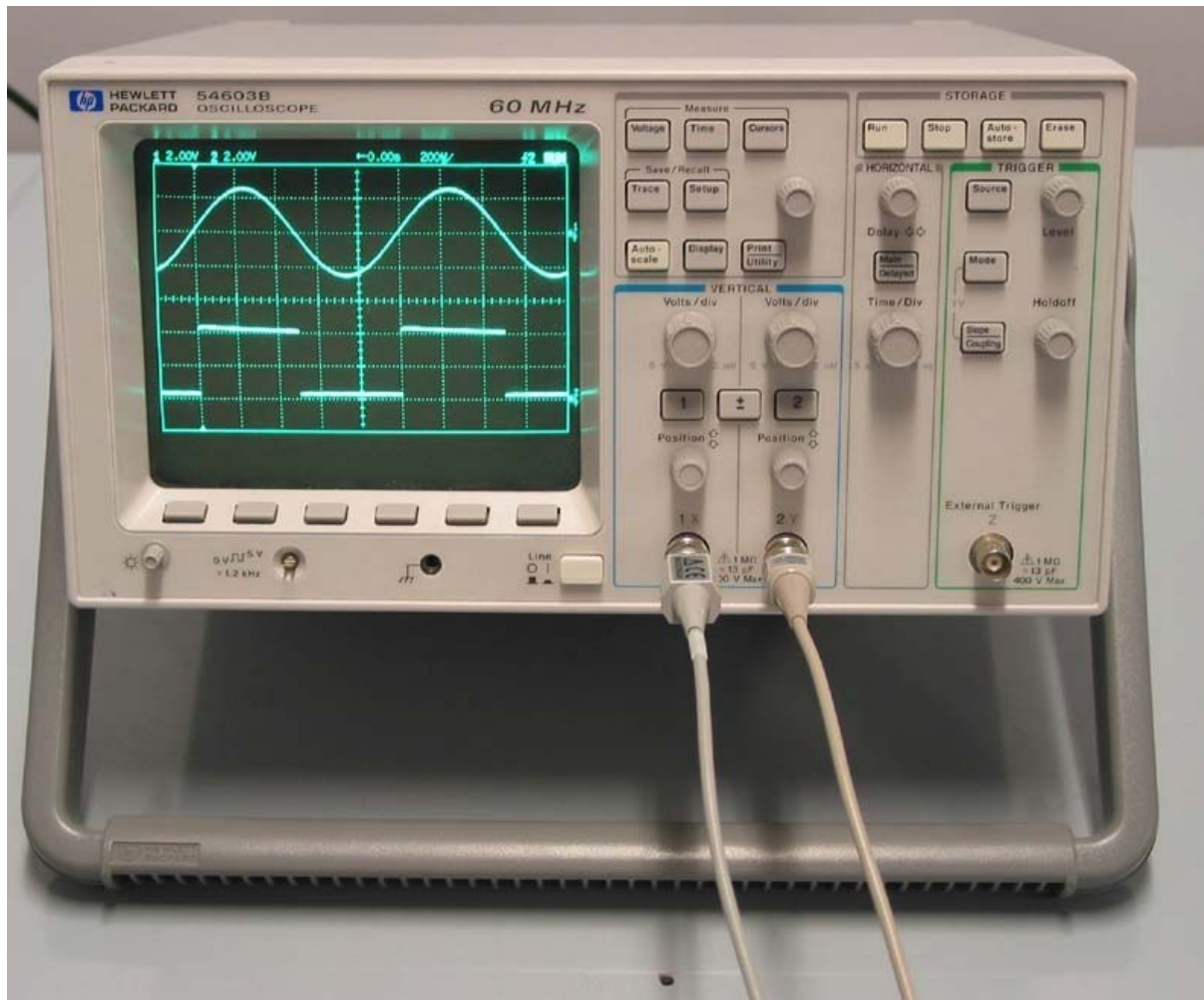
Lo schermo consente di eseguire visivamente una prima analisi del segnale e di effettuare delle misure con una certa precisione. Dall'analisi visiva possono scaturire le prime informazioni sul segnale, come ad esempio, la forma d'onda, distorsioni, presenza di disturbi ed altro. Quanto migliore è la qualità dello schermo, tanto migliore sarà la visualizzazione delle tracce.



Le misurazioni a video sono rese possibili grazie ad un “reticolo” che, tipicamente, suddivide lo schermo in otto divisioni verticali e dieci divisioni orizzontali.

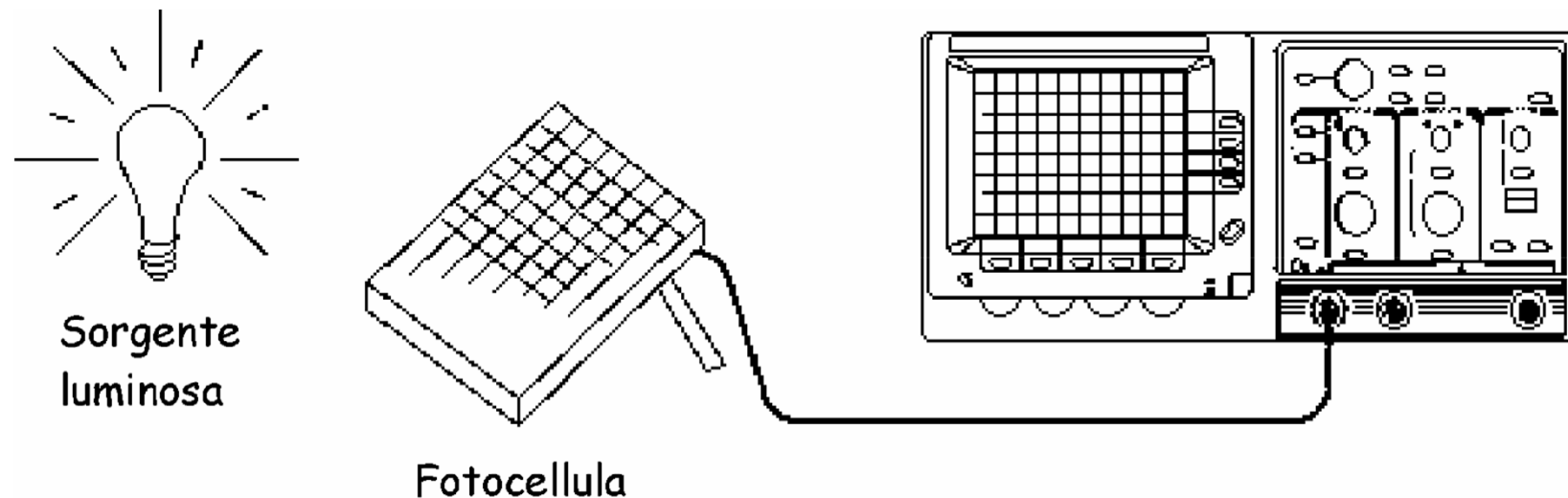
Le divisioni sono suddivise a loro volta in cinque piccoli tratti, le divisioni secondarie, utilizzati per eseguire misure più accurate.

Con questo strumento estremamente versatile è possibile caratterizzare dispositivi e circuiti, effettuare confronti di vario tipo,



verificare il corretto funzionamento di componenti e sistemi, analizzare le caratteristiche di disturbi e interferenze, ecc.

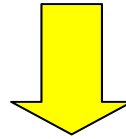
L'oscilloscopio visualizza l'andamento temporale della tensione ai capi di un bipolo (che può essere un elemento di un circuito, un sensore, ecc.).



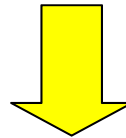
In quanto misuratore di tensione, l'impedenza d'ingresso di un oscilloscopio è (normalmente) molto elevata; tipicamente essa è di tipo ohmico-capacitivo ed è costituita dal parallelo di un resistore da $1\text{ M}\Omega$ con un condensatore dell'ordine della decina di picofarad ($10\div 15\text{ pF}$ per strumenti di classe elevata, $30\div 35\text{ pF}$ per strumenti economici).

Tuttavia gli oscilloscopi a più ampia banda passante (ordine del gigahertz, quindi utilizzabili per l'analisi di segnali RF), possono avere impedenza di ingresso di $50\text{ }\Omega$ o $75\text{ }\Omega$.

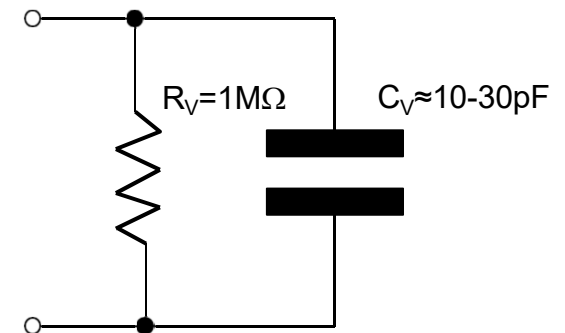
E' pertanto uno strumento di tipo *voltmetrico*

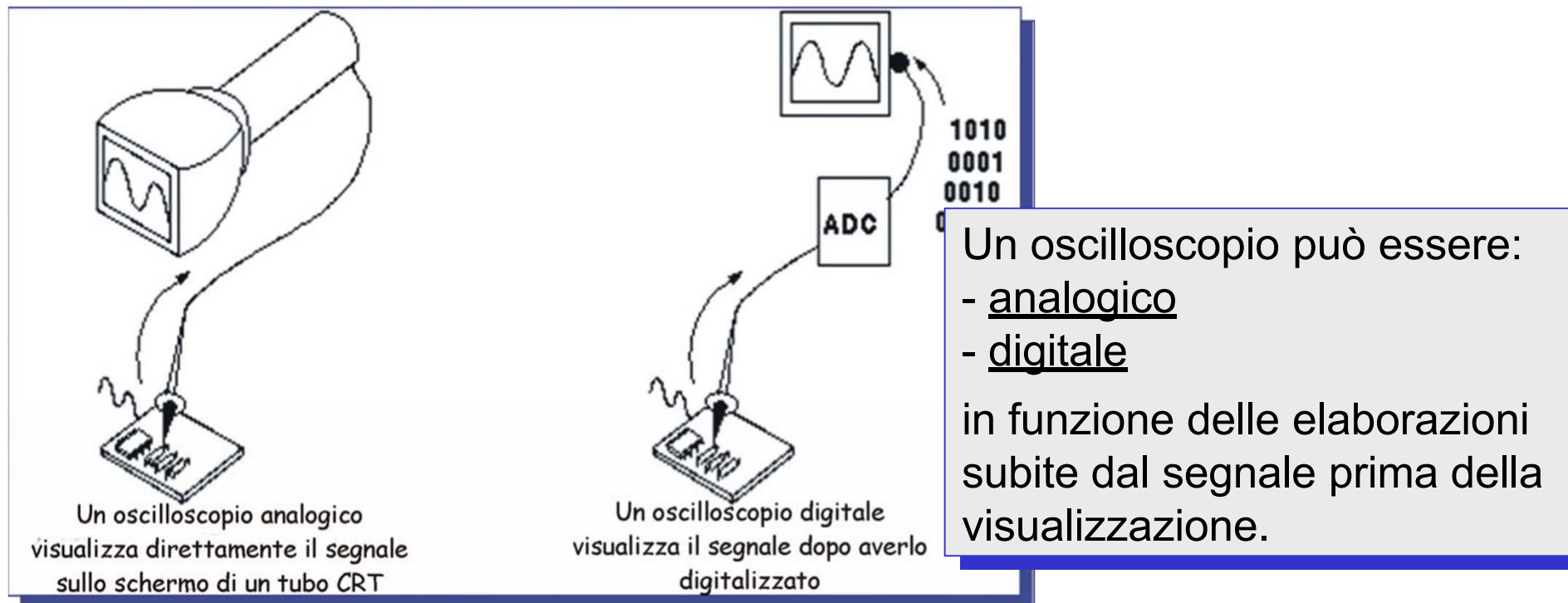


visualizza l'andamento temporale della tensione ai capi di un bipolo



L'impedenza d'ingresso è (normalmente) molto elevata ed è costituita da un bipolo R-C parallelo:





Nell'**oscilloscopio analogico** il segnale di ingresso, dopo un limitato condizionamento (amplificazione o attenuazione), viene direttamente inviato al sistema di visualizzazione.

Nell'**oscilloscopio digitale** il segnale di ingresso dopo il condizionamento viene convertito nel dominio numerico (conversione analogico/digitale) e, solo successivamente, viene visualizzato.

Un oscilloscopio digitale può essere di tipo **DSO** (*Digital Storage Oscilloscope*), **DPO** (*Digital Phosphor Oscilloscope*) o **MSO** (*Mixed Signal Oscilloscope*)

Gli **oscilloscopi analogici** sono preferibili quando si intende eseguire misure, prevalentemente, su segnali ripetitivi ed è prioritario visualizzare variazioni veloci del segnale d'ingresso in tempo reale.

Gli **oscilloscopi digitali** vengono impiegati quando è necessaria l'analisi di segnali non ripetitivi o aventi frequenza molto elevata, oppure ancora quando i segnali presentano variazioni molto lente o quando bisogna catturare singoli eventi.

Oggi, gli oscilloscopi analogici sono poco diffusi: sia per il relativo "basso" costo di oscilloscopi digitali con prestazioni equivalenti, sia perchè alcune funzionalità che erano tipiche degli analogici sono ora disponibili nei digitali (es. vedasi i DPO descritti nel seguito).

L'Oscilloscopio analogico (cenni)

Schema a blocchi

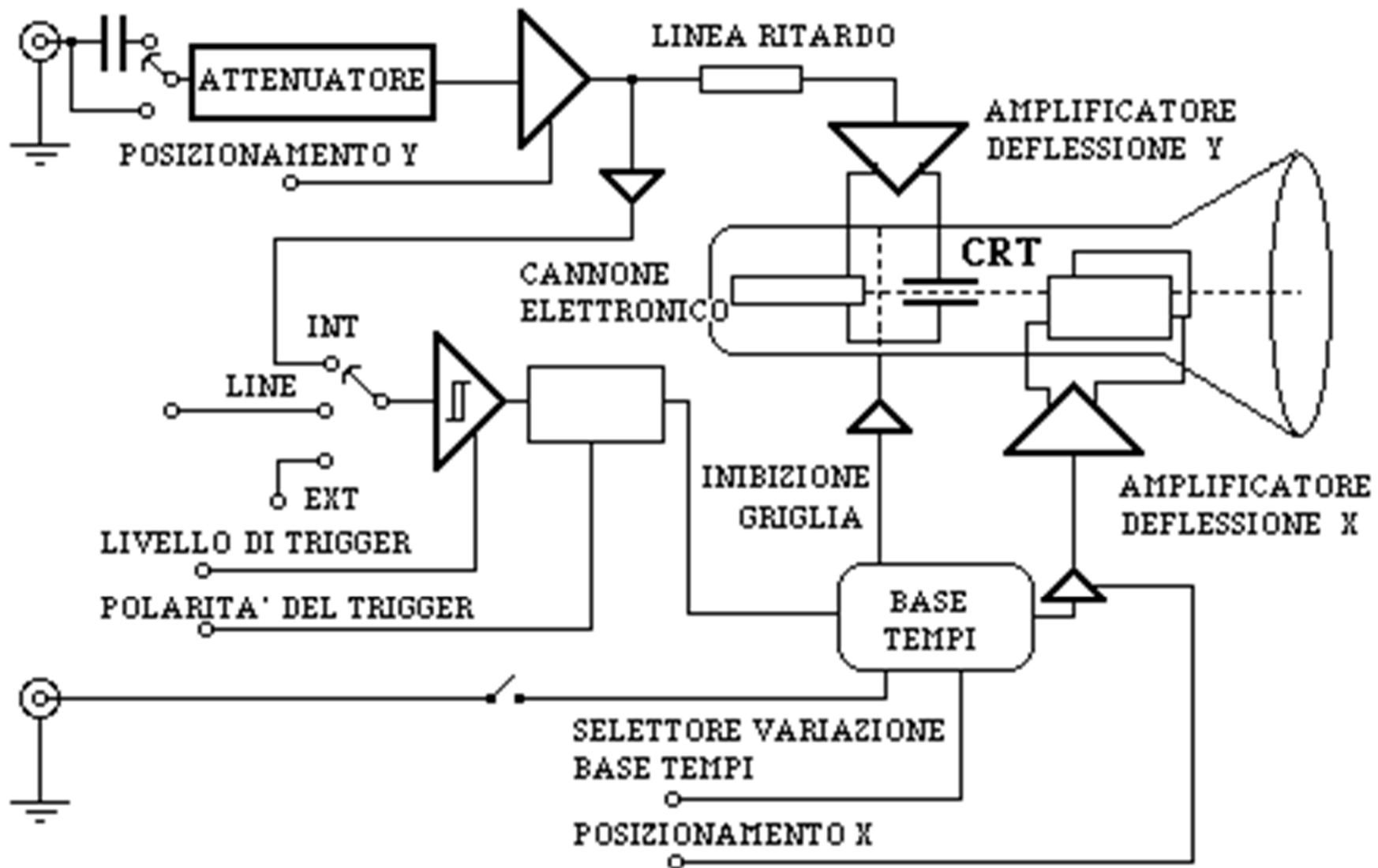
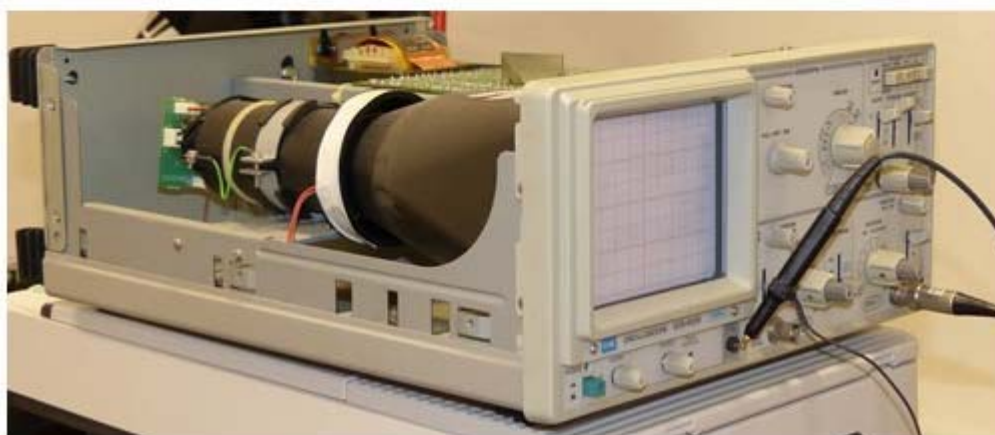
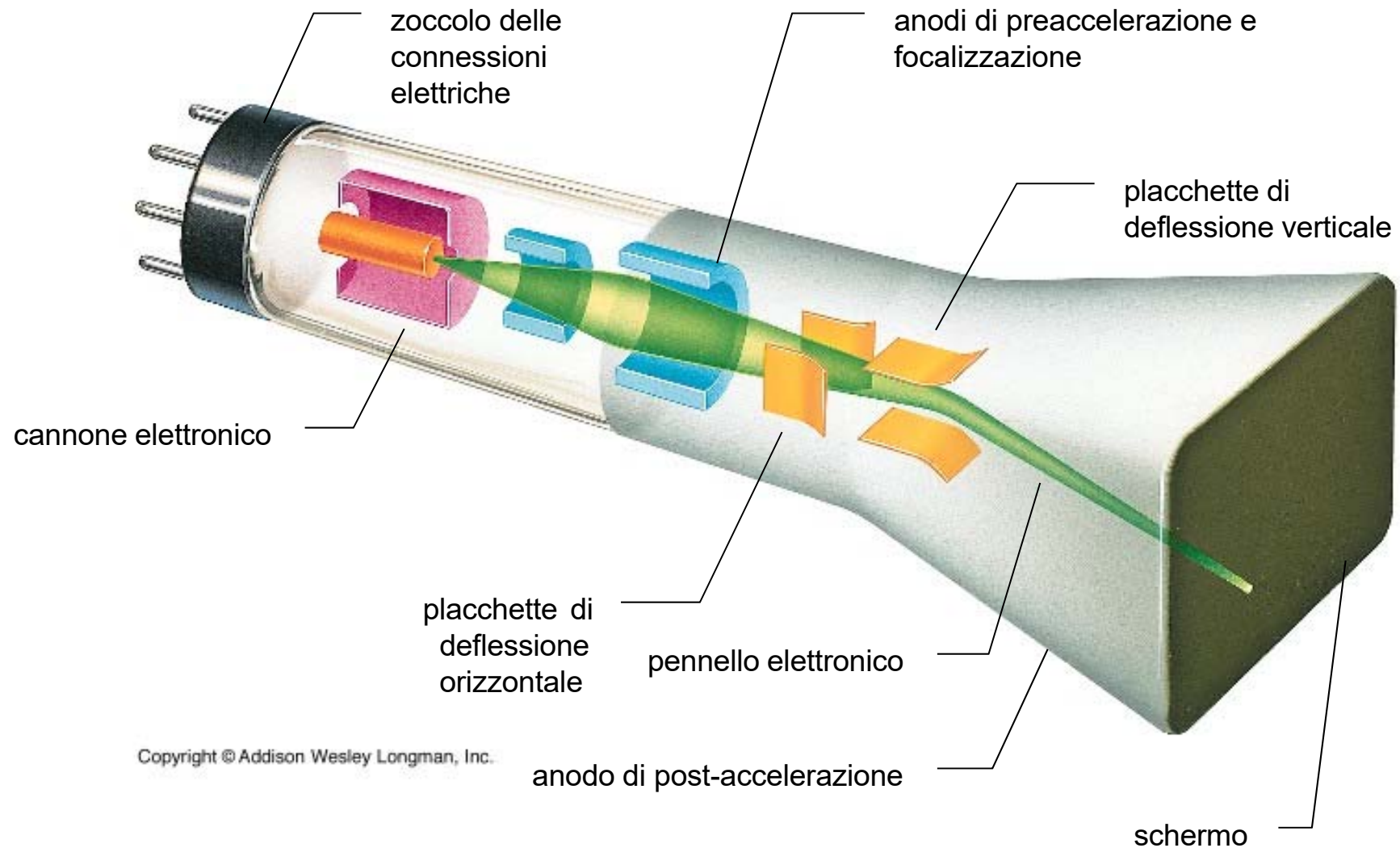




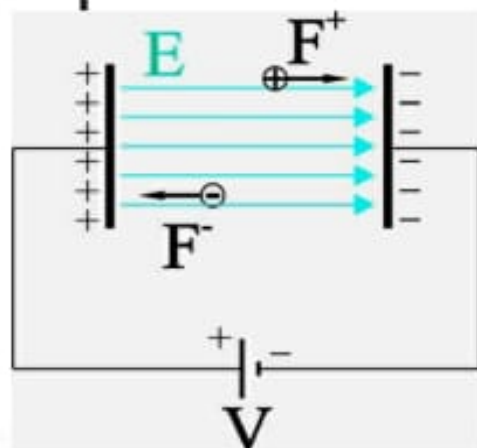
Immagine di un oscilloscopio analogico



Struttura del CRT a deflessione elettrostatica

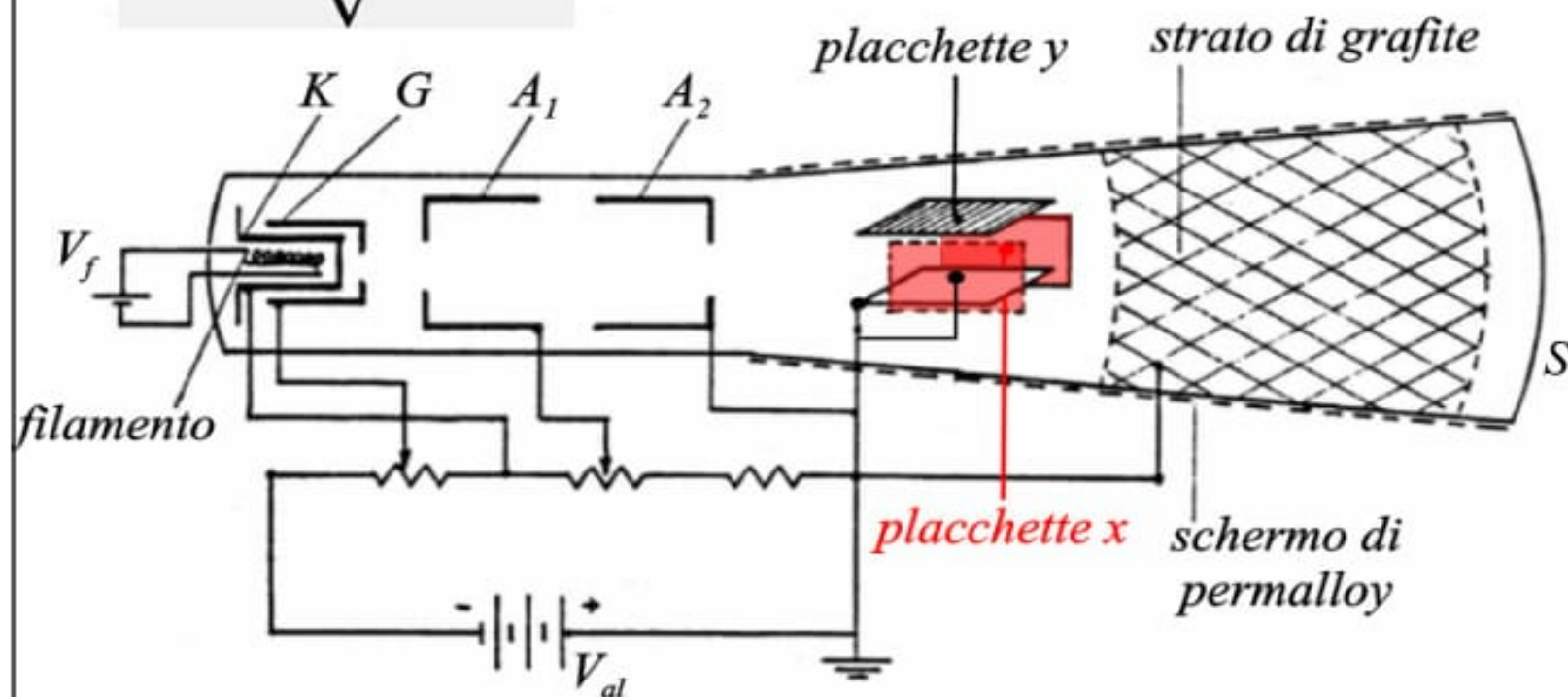


Oscilloscopio: schema e principio di funzionamento



Il concetto alla base del funzionamento di un oscilloscopio analogico (a placchette) è:

un fascio di elettroni può essere deviato da un campo elettrico E .



f : filamento

K : catodo

G : griglia

A_1 e A_2 : anodi
focalizzatori

x : placchette
deflettrici direzione x

y : placchette
deflettrici direzione y

S : schermo
(visualizzazione del
segnale)

V_{al} : tensione di
accelerazione degli
elettroni

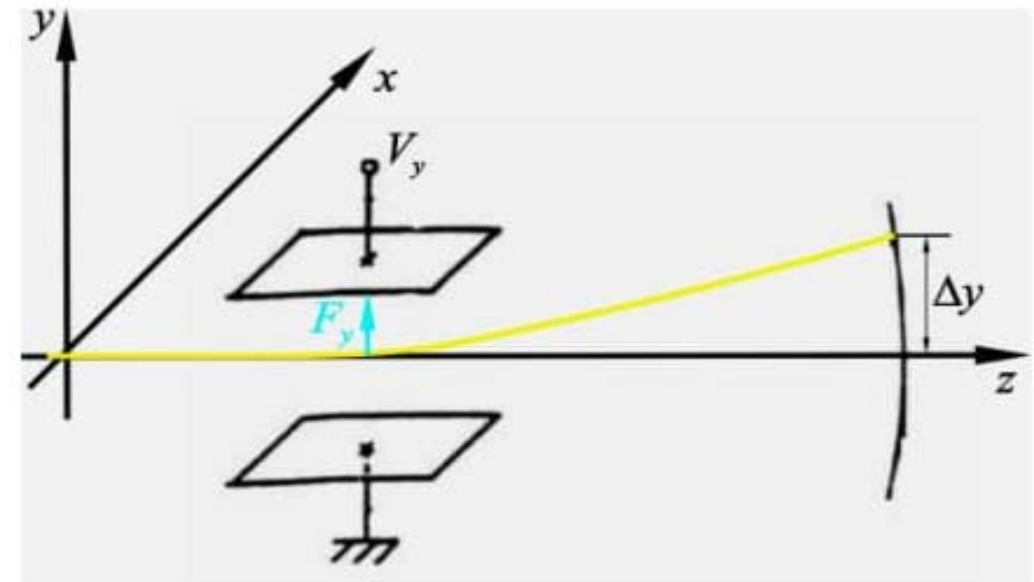
V_f : tensione di
alimentazione del
filamento

Oscilloscopio: principio di funzionamento

Si prenda in considerazione una singola carica elettrica e che esce dal focalizzatore con velocità costante u_z : appena entrata nel condensatore, costituito dalle placchette, subirà una forza verticale proporzionale alla sua carica (e) e al campo **elettrico** (E_y) presente tra le armature.

V_y rappresenta la tensione imposta tra le placchette y .

$$|\overline{F}_y| = |e\overline{E}_y| = e \frac{V_y}{h}$$



La forza F_y imprime alla particella un'accelerazione lungo la direzione y pari a:

$$\overline{a}_y = \frac{\overline{F}_y}{m} = \frac{e}{m} \frac{V_y}{h}$$

Oscilloscopio: principio di funzionamento

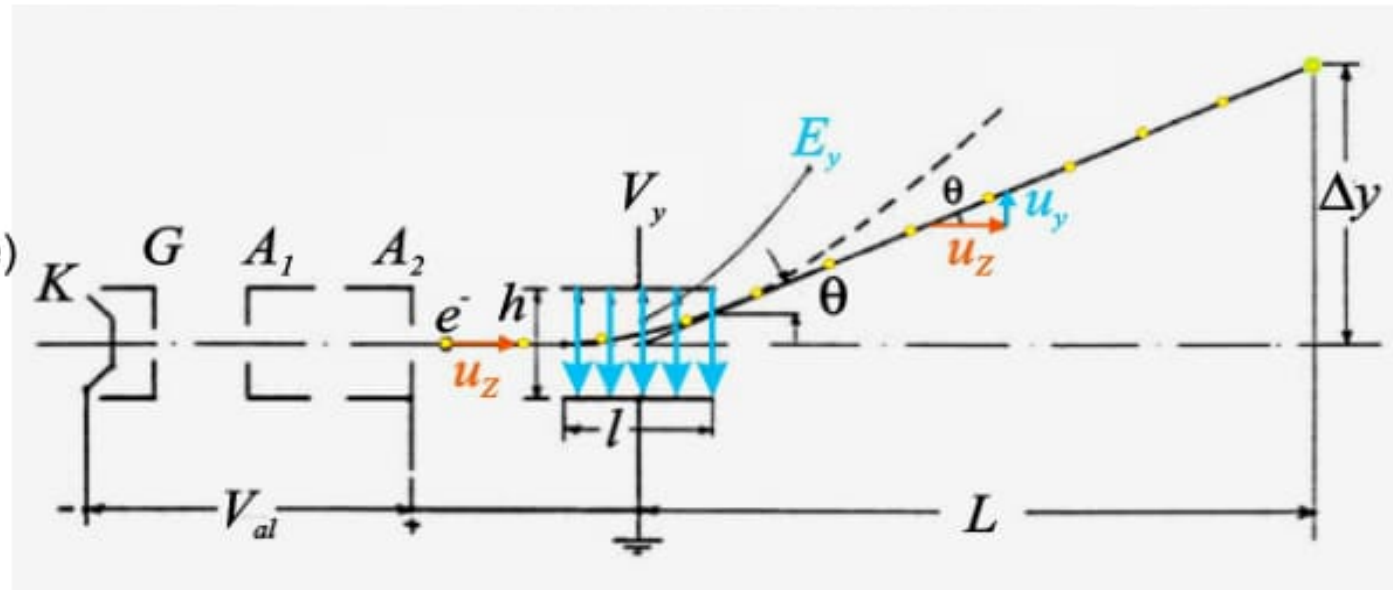
Il tempo impiegato per uscire dal campo elettrico (deviatore) E_y sarà: $t=l/u_z$,

In cui l è la lunghezza delle placchette e u_z la velocità della particella.

La velocità dell'elettrone può essere calcolata dalla seguente relazione:

$$\frac{1}{2}mu_z^2 = eV_{al}$$

In cui V_{al} rappresenta la differenza di potenziale cui è soggetto l'elettrone durante il suo passaggio tra le placchette acceleratrici.



Nel tempo t di percorrenza, l'elettrone subisce un'accelerazione verticale a_y tale per cui all'uscita dal campo elettrico E_y la particella possiede una componente verticale della velocità u_y pari a:

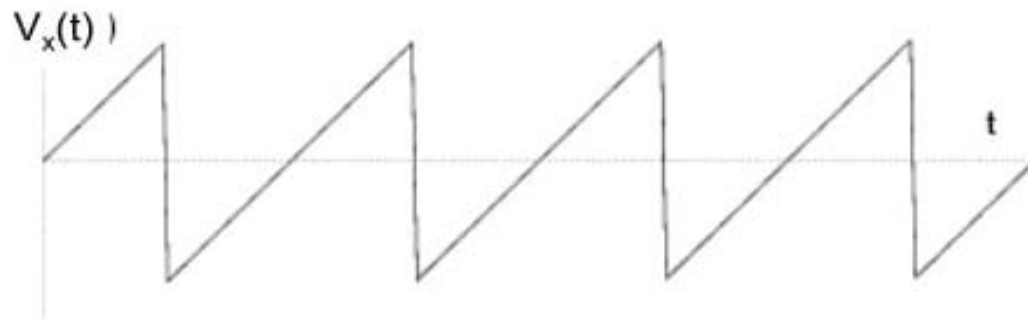
$$u_y = a_y t = \frac{e}{m} \frac{V_y}{h} \frac{l}{u_z}$$

Questo può essere ritenuto vero anche per segnali variabili nel tempo se le variazioni della tensione V_y sono lente rispetto al tempo di transito dell'elettrone sotto le placche di deflessione

Oscilloscopio: visualizzazione del moto (1).

Per permettere una visualizzazione dell'andamento nel tempo del segnale in ingresso si impone all'elettrone (1) un moto verticale indotto dal segnale V_y da visualizzare (placchette y o "verticali"); ed (2) un moto orizzontale a velocità costante, imposto da un secondo campo elettrico, prodotto dalle armature di un'altra coppia di placchette, indicate in genere come "placchette x" o "placchette orizzontali", ortogonali a quelle di segnale descritte in precedenza.

Si utilizza solitamente imporre alle placchette orizzontali un segnale a dente di sega V_x del tipo rappresentato in figura sotto. In questo modo il pennello elettronico percorre ripetutamente lo schermo dell'oscilloscopio lungo la direzione x a velocità costante. Al fine di poter controllare tale velocità (poiché da essa dipende l'intervallo temporale entro cui il segnale V_y è rappresentato sullo schermo) è di cardinale importanza poter controllare la pendenza del segnale a dente di sega (ovvero il suo periodo).



$$V_x(t) = Kt;$$

con t variabile tra $-T_x/2$ e $T_x/2$

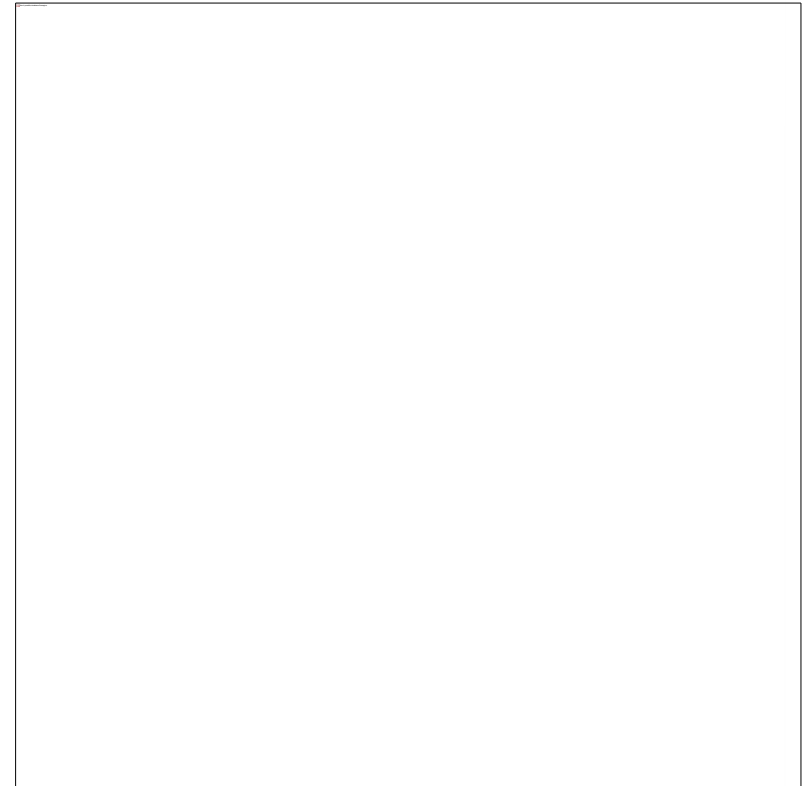
Dove T_x rappresenta il periodo del dente di sega

Oscilloscopi digitali

Oscilloscopio Digitale



esempio di oscilloscopio "da banco" (benchtop) ad alte prestazioni: R&S RTE1104 a 4 canali, con banda passante da 1 GHz.



esempio di oscilloscopio "palmare": FLUKE 199-C 190 STD

Dettagli sugli oscilloscopi digitali

Negli oscilloscopi digitali il segnale prima di essere visualizzato viene campionato (discretizzato lungo l'asse temporale) e digitalizzato (discretizzato lungo l'asse verticale).

Il campionamento è fondamentalmente di due tipi: *in tempo reale* (*real-time sampling*) o *in tempo equivalente* (*equivalent-time sampling*); quest'ultimo può poi essere *ripetitivo* (*repetitive equivalent-time*) o casuale (*random interleaved sampling*).

Un valore di risoluzione molto diffuso per il digitalizzatore è di 8 bit.

Un oscilloscopio digitale:

- dà una traccia formata da punti discreti (eventualmente interpolati);
- permette l'elaborazione numerica del segnale;
- luminosità e stabilità della traccia non dipendono dalla frequenza o dalla velocità locale del segnale.

Gli oscilloscopi digitali si dividono in due classi distinte, tecnologicamente molto diverse tra loro:

I **DSO** (*Digital Storage Oscilloscopes*) sono la versione tradizionale e meno costosa degli oscilloscopi digitali;

I **DPO** (*Digital Phosphor Oscilloscopes*) invece, sono una versione più avanzata dei DSO che riproducono numericamente la modalità di visualizzazione degli oscilloscopi analogici (*asse z delle intensità*) preservando comunque i vantaggi dell'acquisizione e dell'elaborazione digitale che è propria degli oscilloscopi digitali.

A questi, negli ultimi anni, sono stati affiancati gli **MSO** (Mixed Signal Oscilloscopes), ossia Oscilloscopi a Segnali Misti (e.g. con input sia per segnali analogici, sia per segnali digitali), che permettono di correlare nel tempo i canali analogici e quelli digitali.

Sebbene il funzionamento e le modalità di visualizzazione dell'oscilloscopio digitale sono in genere differenti da quelle dell'oscilloscopio analogico, l'aspetto e i principali comandi sono sostanzialmente gli stessi.

Blocchi costitutivi

- 1) **Condizionamento analogico**,
campionamento e conversione in sequenza
numerica del segnale di misura
- 2) Memorizzazione dei campioni
- 3) Elaborazione numerica
(ricostruzione andamento del
segnale nel tempo)
- 4) Visualizzazione sullo schermo (*display*):

Differenze principali rispetto agli oscilloscopi analogici

- **Disaccoppiamento temporale** tra il segnale e la visualizzazione (permesso dalla memorizzazione dei campioni e "successiva visualizzazione")
L'OSCILLOGRAMMA NON E' IN TEMPO REALE CON IL SEGNALE
- Memoria **RAM video** (la “mappatura” dell’immagine da realizzare ha una memoria dinamica dedicata)
- Porte Input/Output per trasferimento dati di misura (es. porta USB, LAN, GPIB, RS-232, etc.)
- Display a schermo piatto (ma nei DSO meno recenti, spesso si trova un CRT, come nel caso della serie HP54600)

Vantaggi dei DSO (1/2)

- Maggior **banda** passante (no limite TRC)
- Capacità di **memorizzare** più segnali per "lunghi" intervalli di tempo ("tempo equivalente")
- **Visualizzazione stabile** anche di segnali a bassa o bassissima frequenza (no "sfarfallamento")
- Memorizzazione e visualizzazione **eventi *single-shot***
- Modalità di ***trigger* molto complesse**,, adatte per misure in sistemi digitali, analisi di guasti in apparecchiature,...

Visualizzazione dell'andamento del segnale anche in intervalli di tempo **precedenti l'evento di *trigger***

- Capacità di effettuare **in modo diretto ed automatico misure sul segnale** nel dominio del tempo (misure di ampiezza, frequenza, sfasamento, ...) o frequenza
- Possibilità di salvataggio ed esportazione dei dati di misura.
- Possibilità di **interfacciare il DSO a un calcolatore** esterno per inserirlo in ambienti di misura o di test automatizzati
- Gli oscilloscopi digitali permettono di eseguire e visualizzare manipolazioni matematiche del segnale anche molto complesse (moltiplicazione, divisione, integrazione, derivazione, FFT, ecc.)

ALCUNI RICHIAMI UTILI.....

Segnale analogico: segnale il cui stato è “analogo” alla grandezza fisica G da cui ha avuto origine.



Il segnale analogico nel rappresentare la grandezza G di origine (es. tensione, corrente, ecc.), varia seguendo l'andamento di quest'ultima, ossia “in analogia” con essa

Peculiarità del segnale analogico:

“Può assumere infiniti valori nel suo campo di variabilità: è continuo.

“Varia con la medesima velocità con cui varia la grandezza G di origine

(ha medesimo contenuto frequenziale o banda)

Conversione A/D

Conversione A/D

Quali sono gli svantaggi dell'utilizzo di segnali analogici?

- ☐ DIFFICOLTA' di MEMORIZZAZIONE
- ☐ SPAZIO (ingombro del supporto)
- ☐ DEPERIBILITA' del supporto
- ☐ INCERTEZZA introdotta dai SISTEMI DI REGISTRAZIONE
- ☐ LIMITATA POSSIBILITA' DI ELABORAZIONE a posteriori
- ☐ DIFFICILE REPERIBILITA' della singola INFORMAZIONE
- ☐ RUMORE

Conversione A/D

Quali sono i vantaggi dell'utilizzo di segnali digitali?

- ☐ SPAZIO limitato dei supporti di memorizzazione (ingombri limitati dei supporti)
- ☐ limitata DEPERIBILITA' del supporto
- ☐ ELEVATA POSSIBILITA' DI ELABORAZIONE a posteriori
- ☐ REPERIBILITA' della singola INFORMAZIONE
- ☐ ELEVATA CAPACITA' INFORMATIVA

(es. l'acquisizione di un segnale per via digitale può protrarsi per tempi molto lunghi senza eccessive difficoltà)

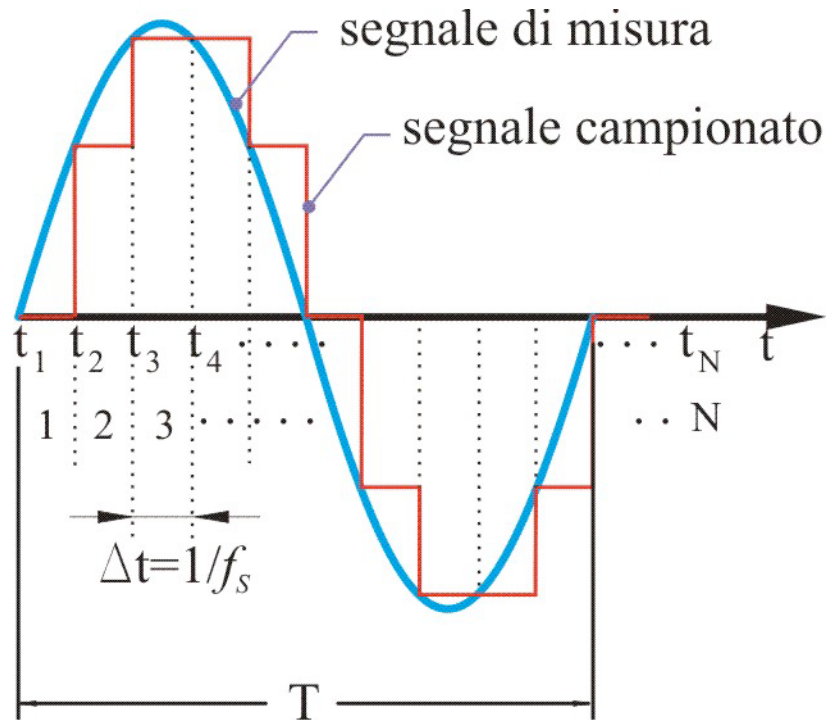
Conversione A/D

Il segnale digitale è il risultato della CONVERSIONE A/D del corrispondente segnale analogico, quest'ultima può essere schematizzata in tre fasi:

- ☐ DISCRETIZZAZIONE (o CAMPIONAMENTO)
- ☐ QUANTIZZAZIONE
- ☐ CODIFICA

Il dispositivo che attua la conversione A/D viene indicato genericamente con il termine di CONVERTITORE ANALOGICO/DIGITALE (Analog to Digital Converter o ADC)

Durante la discretizzazione il segnale di misura viene campionato:
TRACK&HOLD, SAMPLE&HOLD



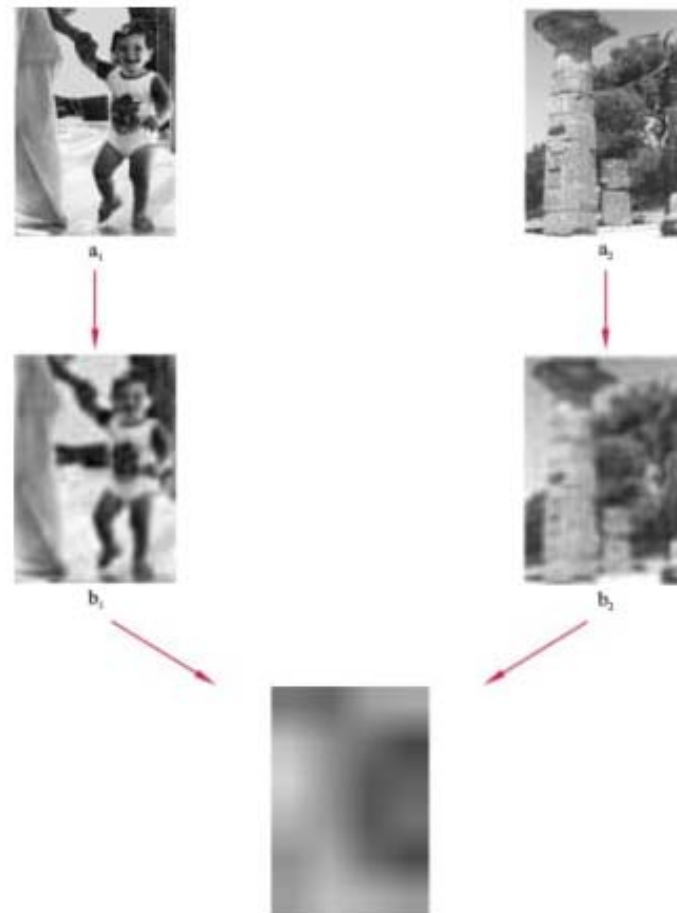
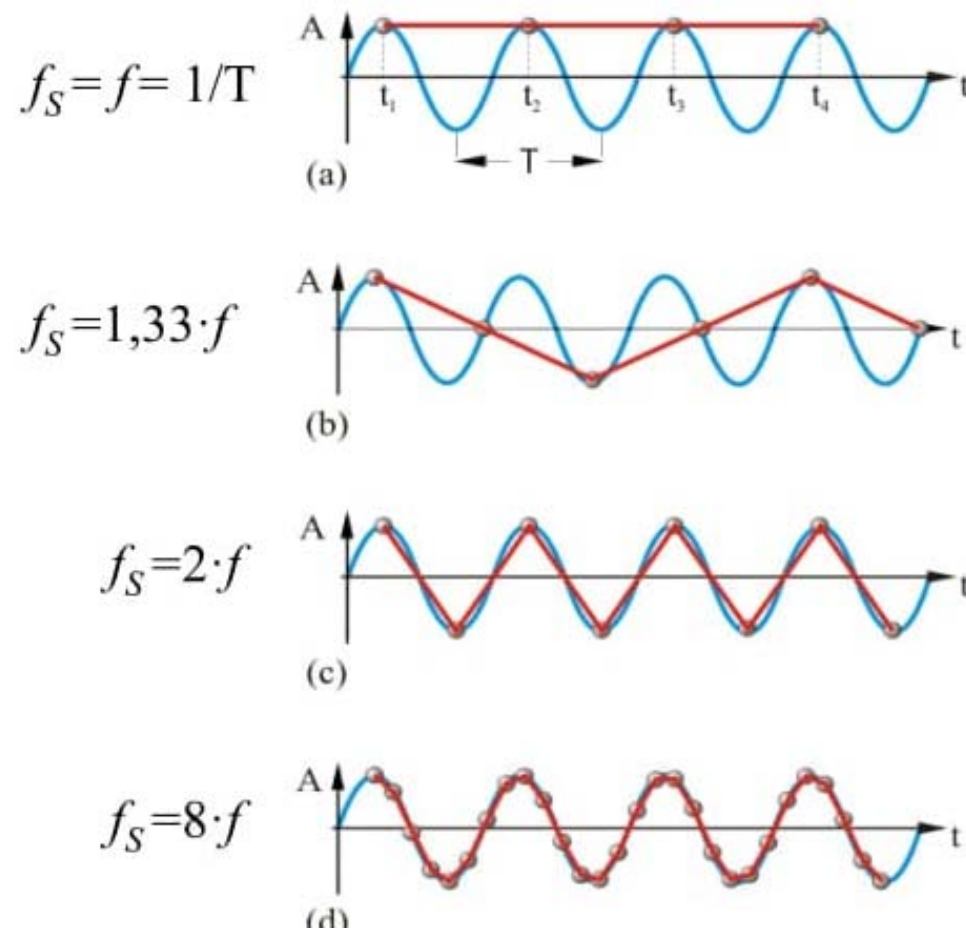
Qualsiasi sia il metodo e la circuiteria adottati per il campionamento, essi dipendono comunque dalla
FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO f_s
(sampling frequency)
 f_s : numero di campioni per unità di tempo/spazio impiegati per descrivere il segnale



Teorema di NYQUIST-SHANNON:

$f_s > 2 f_{MAX}$ dove f_{MAX} è la componente in frequenza più alta del segnale da campionare

Se la frequenza di campionamento f_s non è superiore a 2 volte la frequenza più alta del segnale $f = 1/T \rightarrow$ **ALIASING**.
 Per un corretto campionamento $f_s \approx 10 f_{MAX}$.



Durante la quantizzazione il segnale campionato viene ricondotto a livelli definiti (o “quantizzati”)

Il numero n di **bit** utilizzati per rappresentare il segnale analogico determina la RISOLUZIONE dell'ADC:

$$\text{LSB} = Q = \text{Range} / 2^n$$

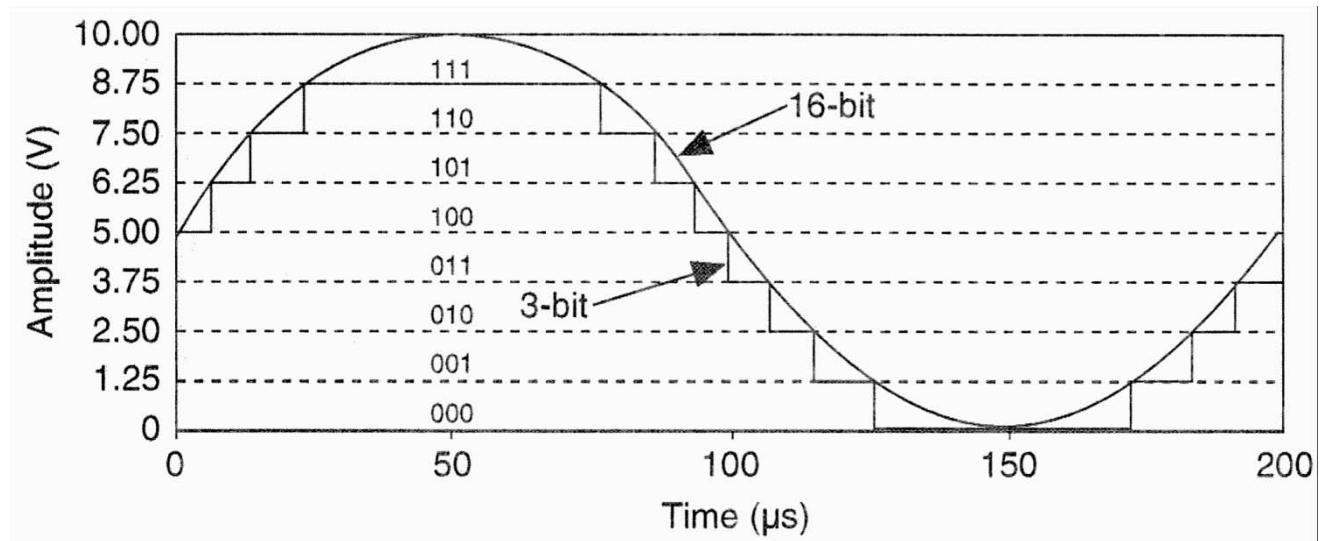
n = numero di bit

Fondo scala (Range) = intervallo tra il massimo ed il minimo livello del segnale analogico che l'ADC può digitalizzare

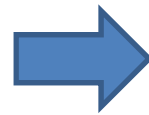
Il LSB (Least Significant Bit) individua *teoricamente* la più piccola variazione del segnale analogico in ingresso che può essere rilevata e convertita dall'ADC.

Es. ADC 3bit vs 16 bit

Range=10V



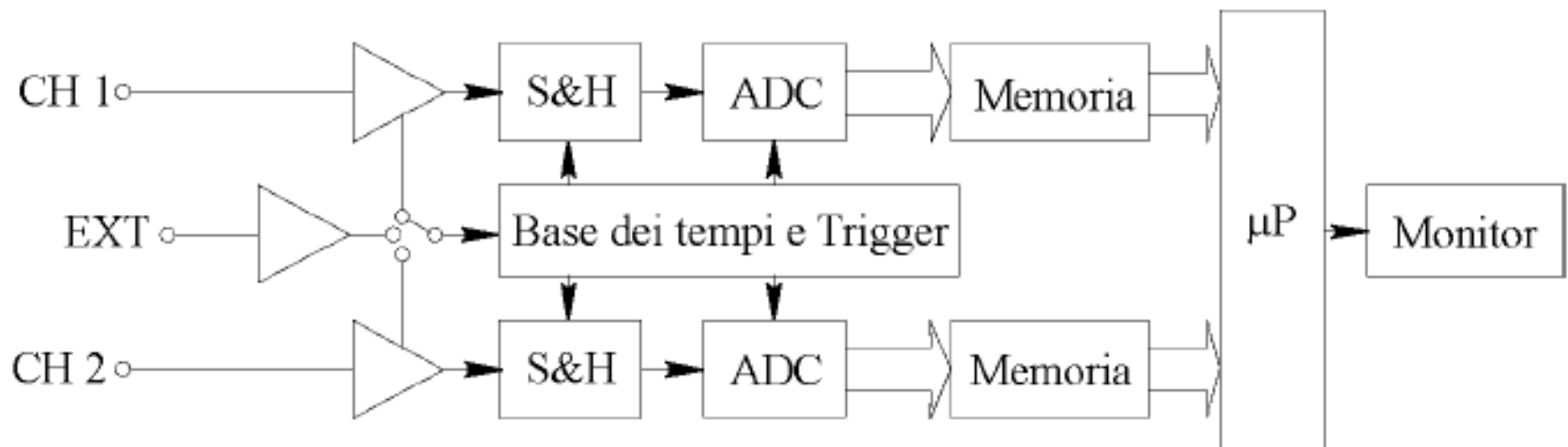
- n=8bit è 256 livelli
- n=10bit è 1 024 livelli
- n=12bit è 4 096 livelli
- n=16bit è 65 536 livelli
- n=24bit è 16 777 216 livelli



In genere n è fisso, pertanto è necessario valutare attentamente il campo di variazione del segnale di misura ed eventualmente adattarlo al Range dell'ADC in modo da evitare lo “spreco” di bit di risoluzione.

Schema a blocchi di un DSO a due canali

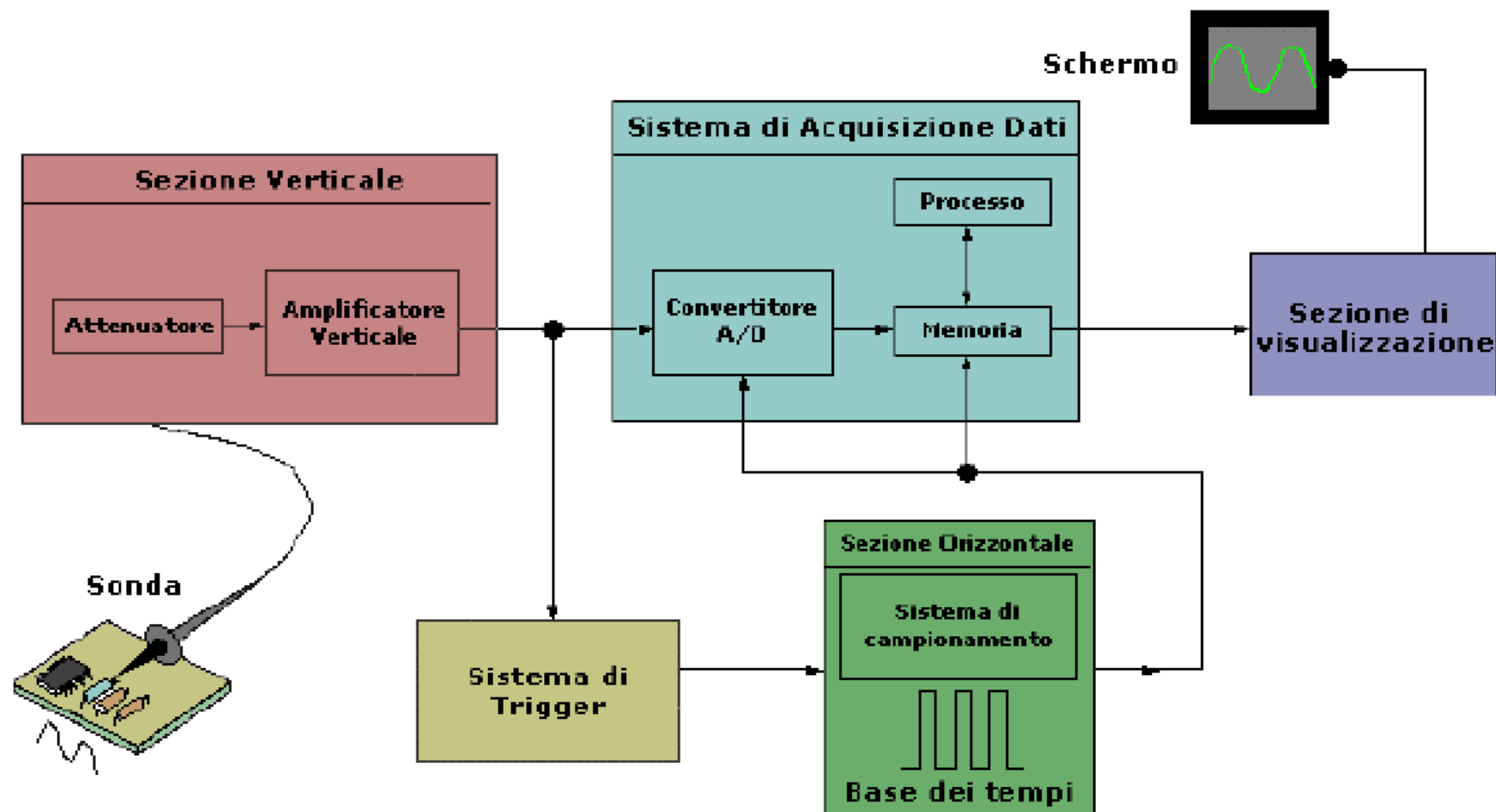
- Il segnale analogico opportunamente condizionato da uno stadio di ingresso che ne realizza, per esempio, l'amplificazione o l'attenuazione, viene inviato al
- sistema di acquisizione, composto dal campionatore, S&H dal convertitore AD
- .
- Il processo di campionamento è gestito dalla base dei tempi, mentre la sezione di trigger consente di ottenere la sincronizzazione necessaria per una corretta visualizzazione del segnale acquisito.
- Il segnale digitalizzato viene memorizzato in una memoria RAM, dalla quale viene poi prelevato per la successiva visualizzazione, oltre che per eventuali elaborazioni numeriche



Trigger

- La rappresentazione della forma d'onda sullo schermo dipende dal verificarsi della condizione di trigger. Il significato del trigger è simile a quello dell'oscilloscopio analogico, ma il funzionamento è assai differente.
- Infatti, mentre nello strumento analogico l'evento di trigger attiva lo sweep del fascio elettronico, in quello digitale esso stabilisce quando il sistema di elaborazione deve prelevare il contenuto della memoria per la sua visualizzazione e quindi assume il significato di punto al quale ancorare la rappresentazione visiva del segnale sul monitor.
- In sostanza, per una data successione di campioni memorizzati, si tratta di ricercare e marcare il campione che corrisponde a un evento di trigger. Questa caratteristica consente, prelevando le opportune porzioni di dati dalla memoria, di avere informazioni sul segnale non solo con riferimento a ciò che accade dopo il verificarsi dell'evento di trigger, ma anche per gli istanti che lo precedono (pretrigger).

Il trigger determina il momento in cui l'oscilloscopio inizia ad acquisire i dati e a mostrare una forma d'onda. Quando il trigger è impostato correttamente, l'oscilloscopio è in grado di convertire visualizzazioni instabili o schermate vuote in forme d'onda significative. Quando l'oscilloscopio inizia ad acquisire una forma d'onda, raccoglie i dati a sufficienza per disegnare i dati a sinistra del punto di trigger. L'oscilloscopio continua ad acquisire dati in attesa che si verifichi la condizione di trigger. Dopo avere individuato un evento, l'oscilloscopio continua ad acquisire dati in modo da poter disegnare la forma d'onda alla destra del punto di trigger.



Modalità di campionamento

Il campionamento di un segnale in un DSO può avvenire secondo tre differenti modalità::

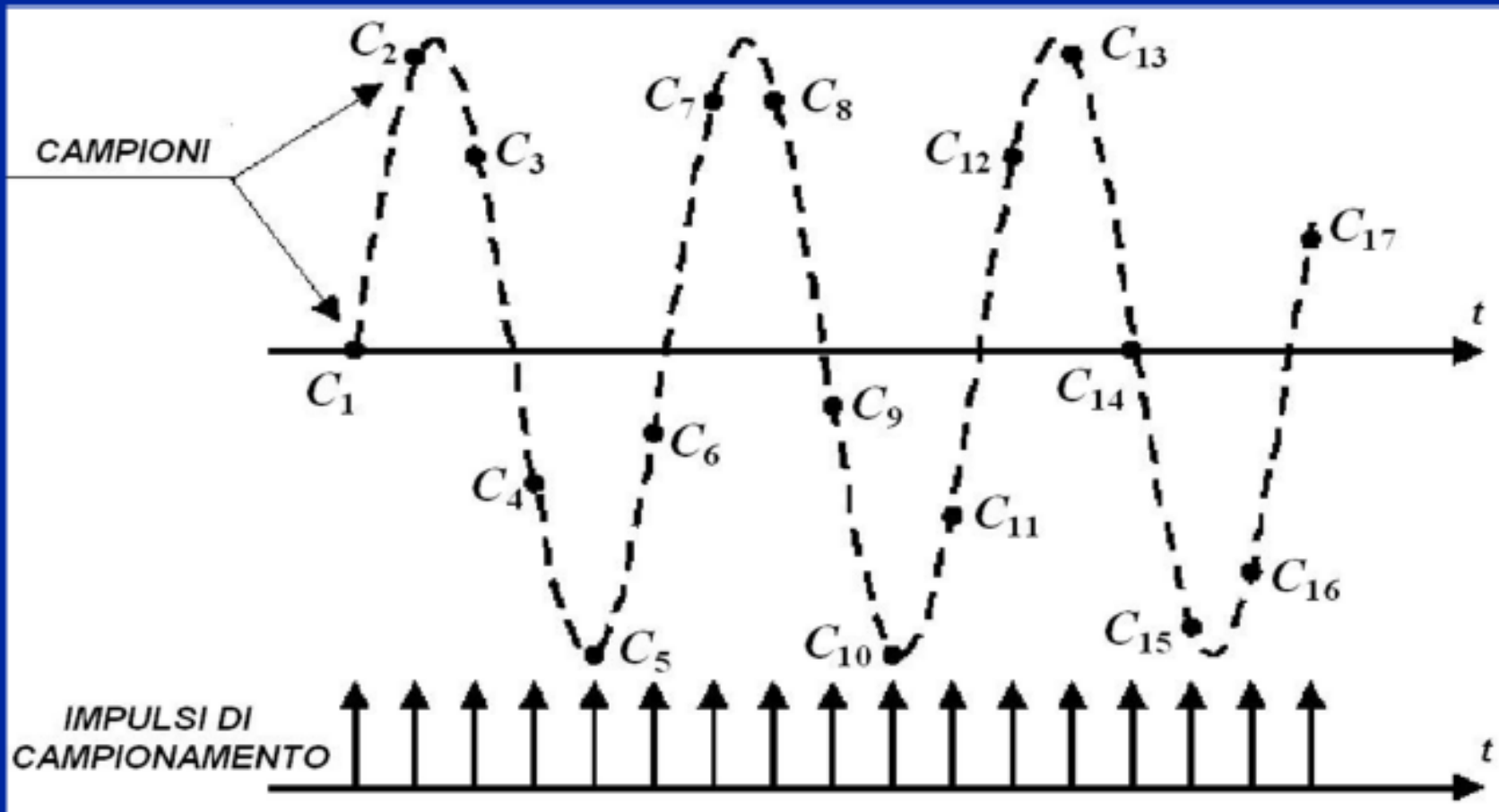
- Camp. **in tempo reale** (*single shot*)
- Camp. **in tempo equivalente di tipo sequenziale**
- Camp. **in tempo equivalente di tipo casuale**

La prima modalità ha validità generale (ma presenta limiti di banda) le altre due sono invece applicabili solo alla classe dei segnali ripetitivi o periodici (e consentono di visualizzare segnali molto veloci)

In tempo reale i campioni sono prelevati direttamente nel periodo/tempo del segnale da visualizzare..

In tempo equivalente i campioni sono presi su più periodi della forma d'onda e successivamente riordinati e visualizzati..

Campionamento in tempo reale



La sequenza dei dati acquisiti rispetta la sequenza temporale dei punti della forma d'onda che evolve sull'asse dei tempi

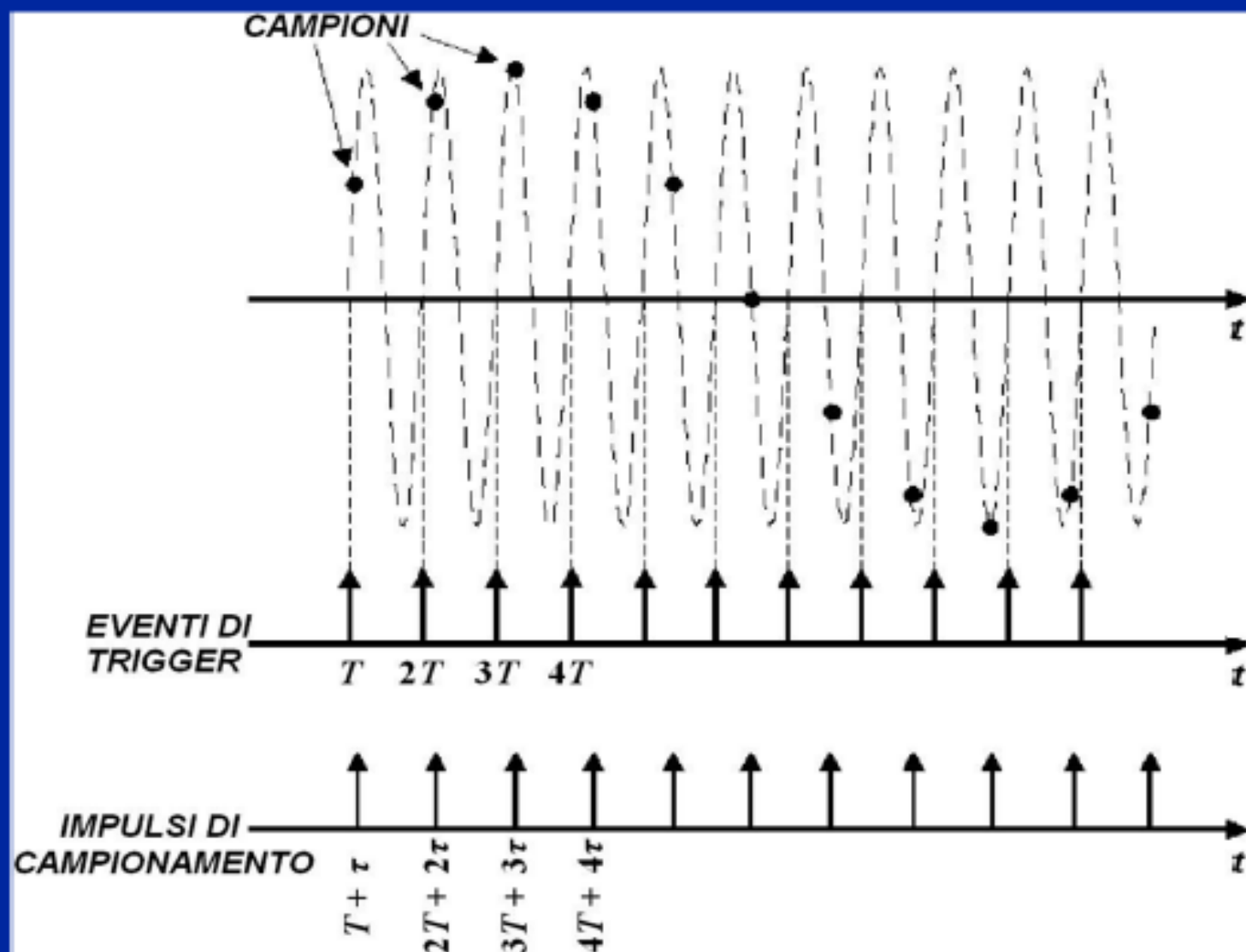
Camp. seq. in tempo equivalente (1/3)

Si prendono i diversi campioni all'interno di periodi differenti del segnale (con una distanza temporale successivamente incrementata, dallo stesso punto di riferimento – *trigger* - scelto nel periodo).

Dall'insieme di campioni acquisiti in "un tempo più lungo" del periodo T , si può ricostruire l'andamento della forma d'onda nel singolo periodo

Il tempo di acquisizione (tempo "reale") e quello di visualizzazione (tempo "equivalente") sono differenti

Camp. seq. in tempo equivalente (2/3)



Camp. seq. in tempo equivalente (3/3)

Per la ripetitività di periodo T del segnale $s(t)$, i campioni prelevati agli istanti di tempo τ e $\tau + kT$ (k intero) risultano uguali: quindi, anziché adottare la frequenza di campionamento $f_s = 1/\tau$ si può adottare la frequenza $1 + kT/\tau$ volte inferiore:

$$f_s = \frac{1}{\tau} \quad \hat{f}_s = \frac{1}{kT + \tau} \quad \frac{f_s}{\hat{f}_s} = 1 + kT / \tau$$

ottenendo una distanza (risoluzione temporale) τ tra due campioni adiacenti molto spinta pur campionando a "bassa frequenza".

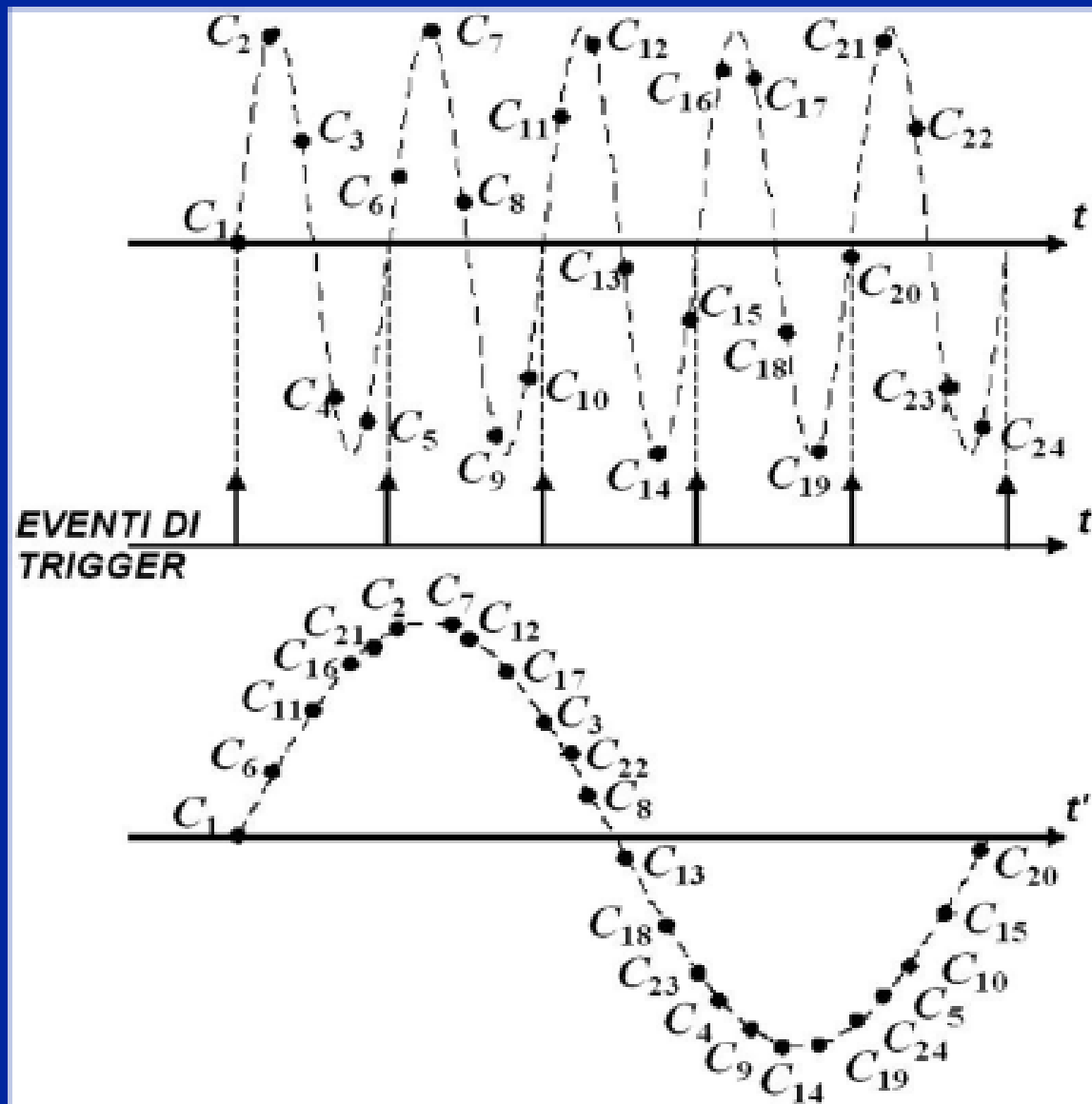
Allo stato dell'arte, si possono raggiungere **risoluzioni temporali di 1 ps** per i campioni e visualizzare **segnali con banda fino a 50 GHz**

Camp. casuale in t. equivalente (1/2)

I campioni vengono prelevati dal segnale in **modo casuale (asincrono)**, sia prima, sia dopo gli eventi di *trigger*. L'**intervallo di tempo** ("positivo o negativo") tra ciascun evento di *trigger* e il successivo campione deve essere **misurato** in modo da poter ordinare correttamente i campioni sul *display* così da ricostruire l'andamento del segnale.

A causa della scorrelazione temporale tra la frequenza di campionamento e la frequenza di *trigger*, i campioni acquisiti in cicli di *trigger* successivi possono essere da anteporre a quelli acquisiti in cicli di *trigger* precedenti.

Camp. casuale in t. equivalente (2/2)



Modalità di *trigger* avanzate (1/3)

Nell'oscilloscopio analogico la sincronizzazione avviene attraverso l'individuazione di un livello o di una pendenza.

Nell'oscilloscopio digitale esistono modalità di sincronizzazione assai più evolute e complesse.

Pre-trigger e memoria circolare: consente di visualizzare sullo schermo l'andamento del segnale anche "prima dell'evento di *trigger*".

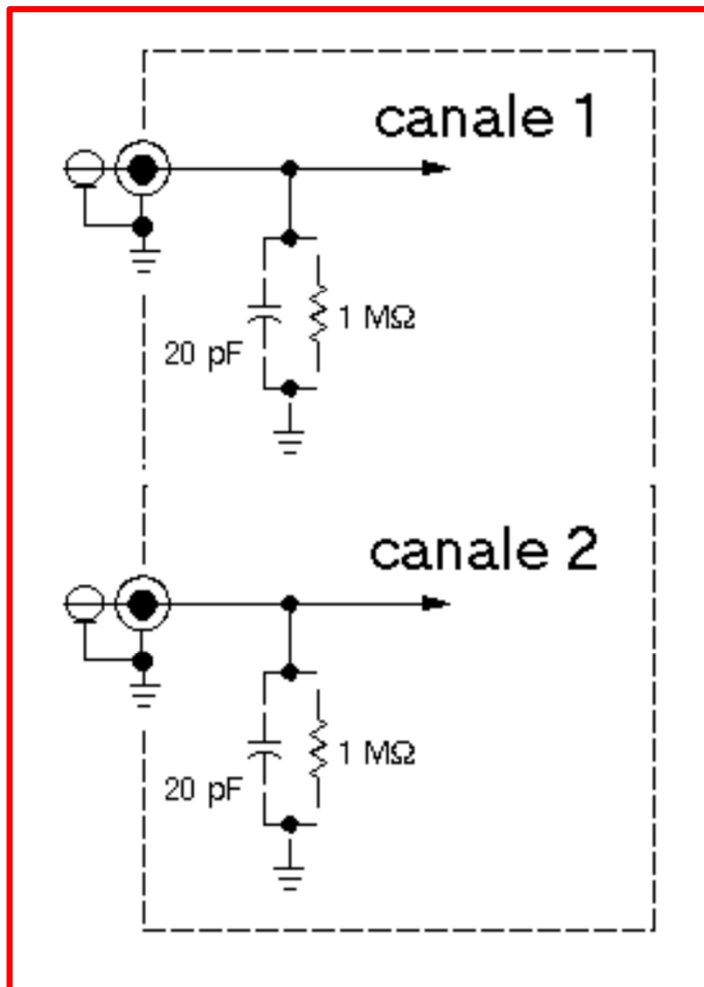
Si può rappresentare la **memoria dati** come un ***buffer* circolare** con capacità di ***M* celle**.

Le misure con l'oscilloscopio

N.B.: consultare anche https://www.rohde-schwarz.com/it/prodotti/misura-e-collaudoscilloscopi/educational-content/comprendione-base-oscilloscopio-funzionamento_254512.html#gallery-8

Collegamento dell'oscilloscopio ai circuiti in prova

Dal punto di vista elettrico gli ingressi di un oscilloscopio sono normalmente di tipo grounded single-ended, vale a dire che essi hanno il terminale di riferimento del segnale in comune e messo a terra (caso di figura).

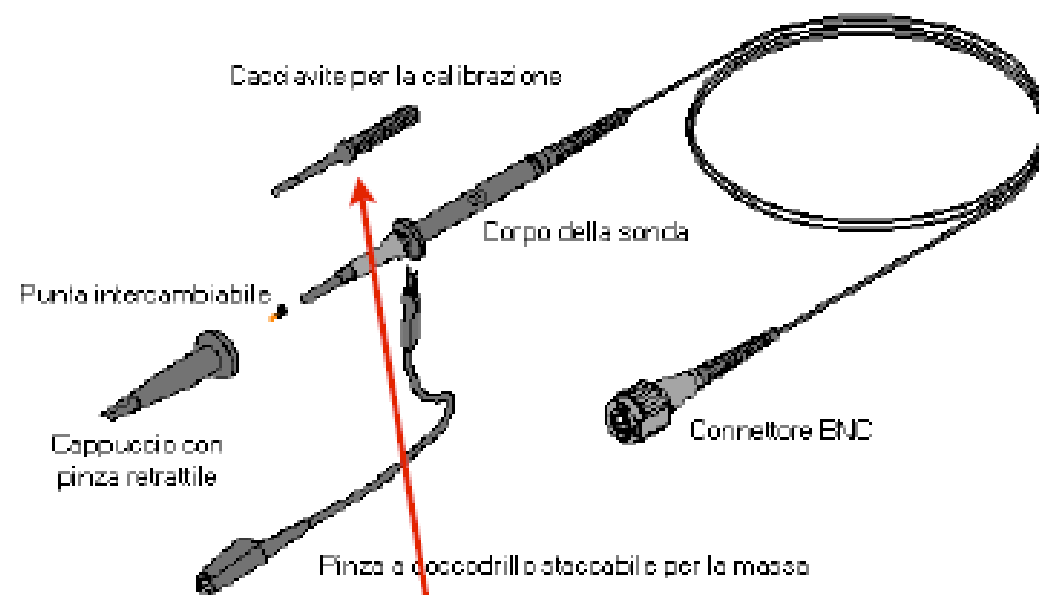


Le altre configurazioni possibili sono:

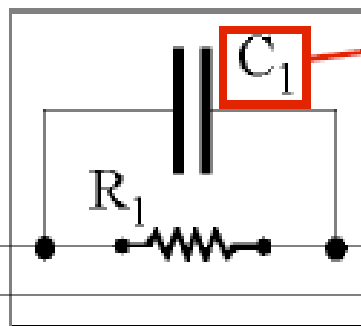
- floating single-ended: filo di ritorno comune ai due canali ma isolato da terra;
- differential: fili di ritorno dei due canali isolati tra loro e da terra;

in ordine crescente di vantaggio e di costo.

Si deve sempre tenere presente che nel connettere l'oscilloscopio a un circuito si collegano insieme e si mettono a terra determinati punti.

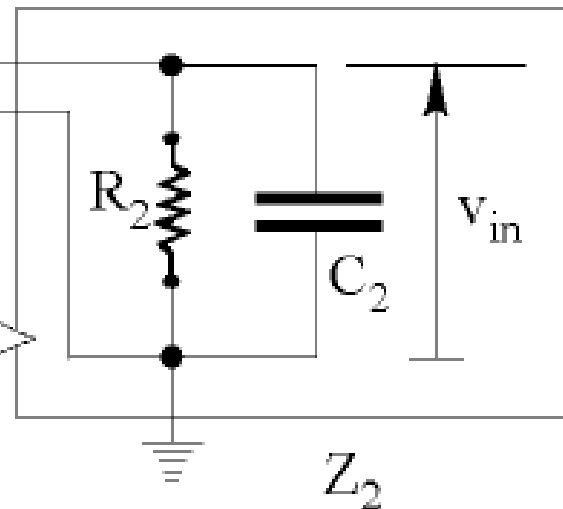


sonda 10X

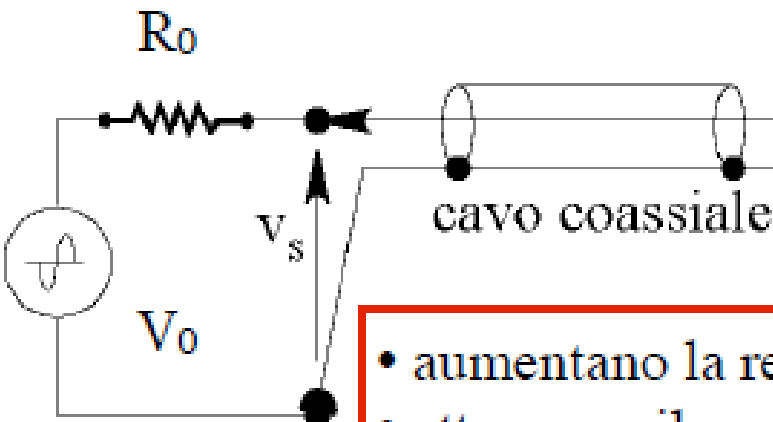


variabile

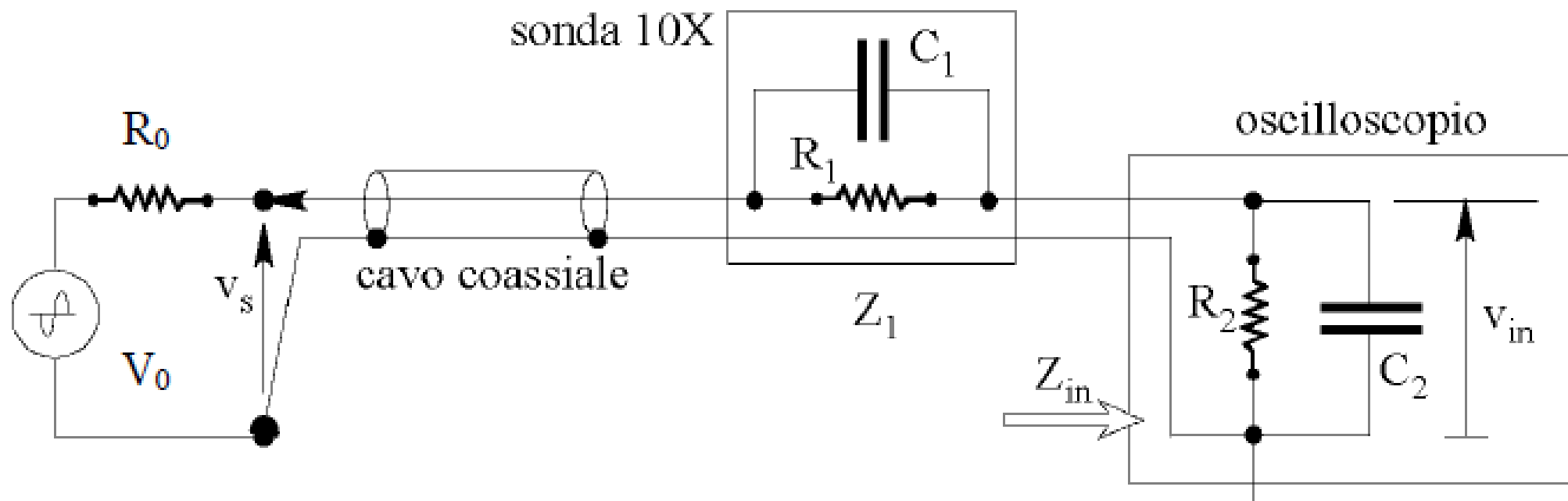
oscilloscopio



- aumentano la resistenza di ingresso
- attenuano il segnale
- hanno risposta in frequenza



Z_{in}

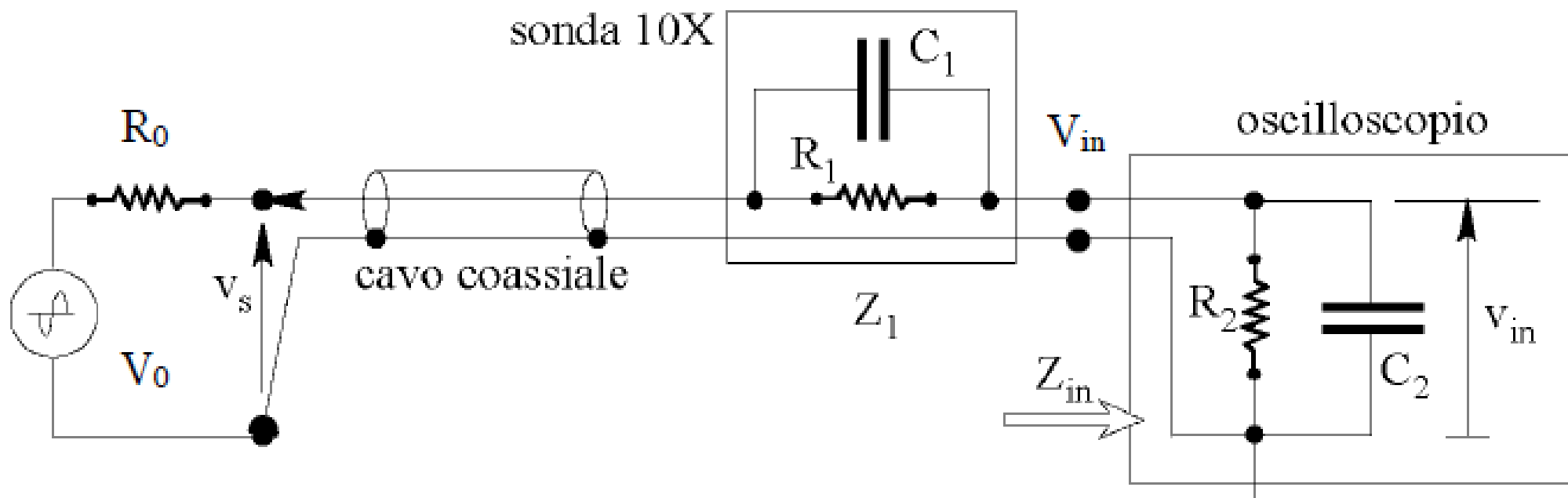


Sonda tipica 10 X (attenuazione 10):

$R_1 = 9 R_2$ quindi solitamente $R_2 = 9 \text{ M}\Omega$ (da cui attenuazione DC 10)

C_1 compensa la dipendenza dalla frequenza dell'attenuazione, se $R_1 C_1 = R_2 C_2$

NON dell'oscilloscopio!

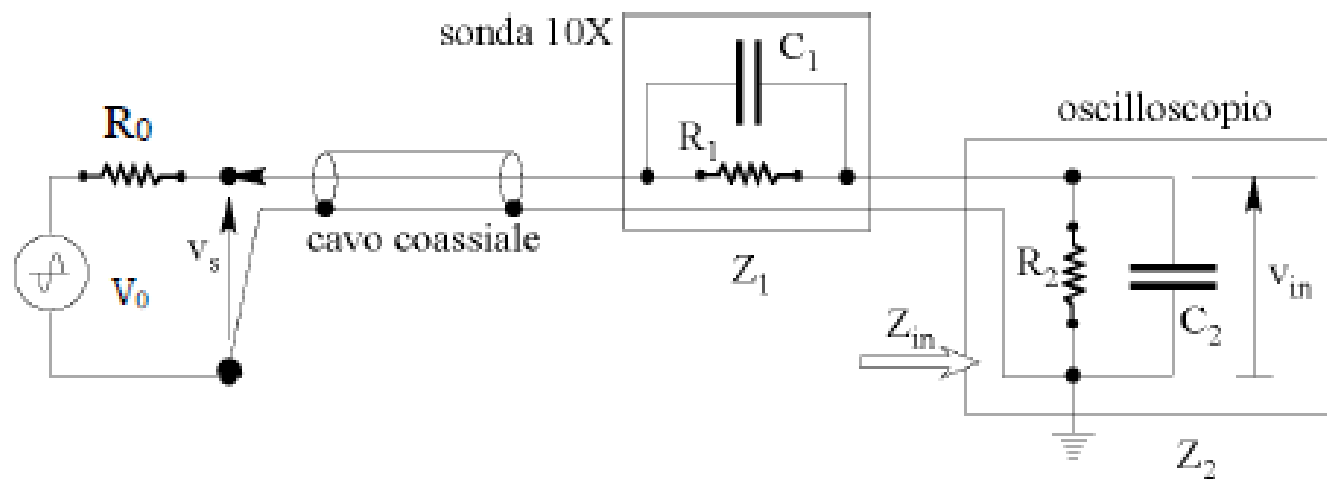


C_1 compensa la dipendenza dalla frequenza dell'attenuazione, se $R_1 C_1 = R_2 C_2$

Funzione di trasferimento della sonda (V_{in}/V_s):

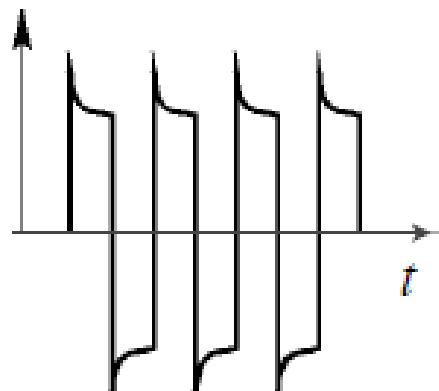
$$F_{s,o} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} = \frac{\frac{1}{R_1}(1 + i\omega\tau_1)}{\frac{1}{R_1}(1 + i\omega\tau_1) + \frac{1}{R_2}(1 + i\omega\tau_2)}$$

indipendente da ω solo per $\tau_1 = \tau_2 \rightarrow$ necessità di variare C_2 (ovvero τ_2)

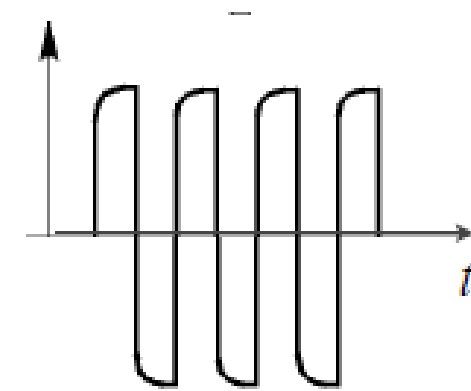


$\tau_1 > \tau_2 \rightarrow$ la componente capacitiva $1/i\omega C_1$ della sonda accentua la trasmissione delle alte frequenze, *anticipa* in fase (“sovracompensazione”).

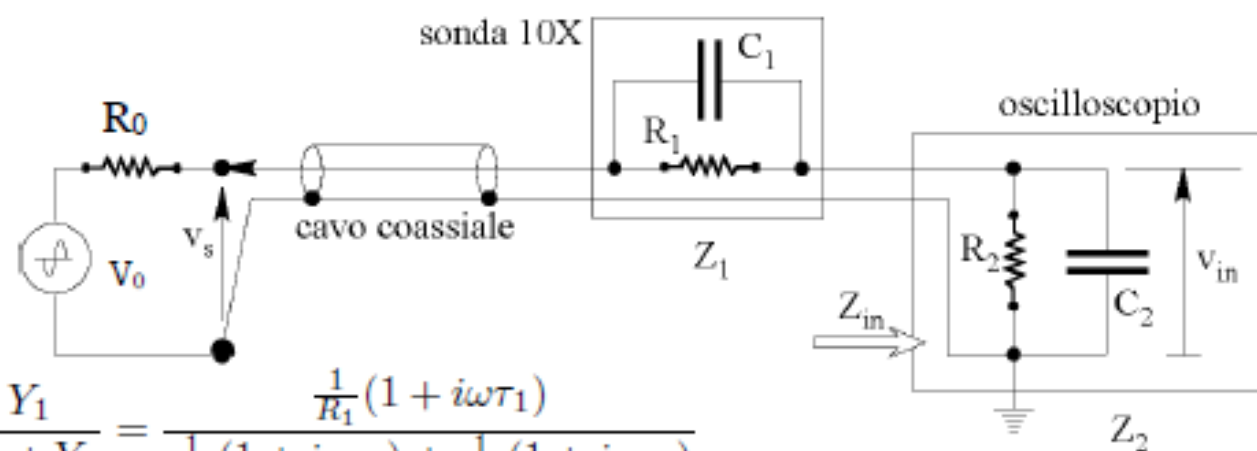
$\tau_1 < \tau_2 \rightarrow 1/i\omega C_1$ è “grande”, e la sonda attenua la trasmissione delle alte frequenze, *ritarda* in fase (“sottocompensazione”).



risposta a un'onda quadra
(alte frequenze: componente
“ripida” dell'onda quadra)



Oscilloscopio + sonda



$$F_{s,o} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2} = \frac{\frac{1}{R_1}(1 + i\omega\tau_1)}{\frac{1}{R_1}(1 + i\omega\tau_1) + \frac{1}{R_2}(1 + i\omega\tau_2)}$$

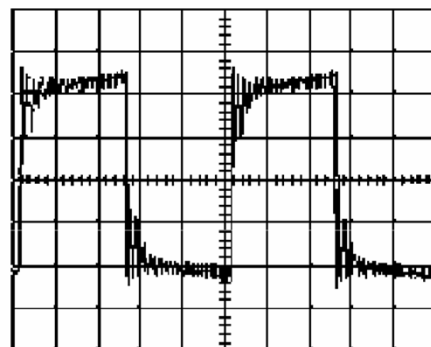
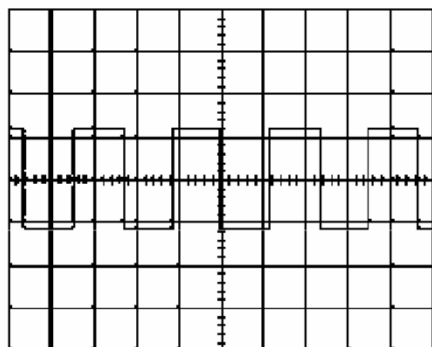
sonda perfettamente compensata: $Z_{tot} = Z_1 + Z_2 = \frac{R_1}{1 + i\omega\tau_1} + \frac{R_2}{1 + i\omega\tau_2} = \frac{R_1 + R_2}{1 + i\omega\tau}$
 ($\tau_1 = \tau_2$)

e rispetto alla tensione del segnale V_0 :

$$F_{tot} = \frac{V_s}{V_0} = \frac{Z_{tot}}{Z_{tot} + R_0} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{1 + i\omega\tau}}{R_0 + \frac{R_1 + R_2}{1 + i\omega\tau}} = \frac{R_1 + R_2}{R_0 + R_1 + R_2 + R_0 i\omega\tau} \overset{\boxed{R_0 \ll R_1 + R_2}}{\simeq} \frac{1}{1 + i\omega\tau \frac{R_0}{R_1 + R_2}} \equiv \frac{1}{1 + i\omega\tau''}$$

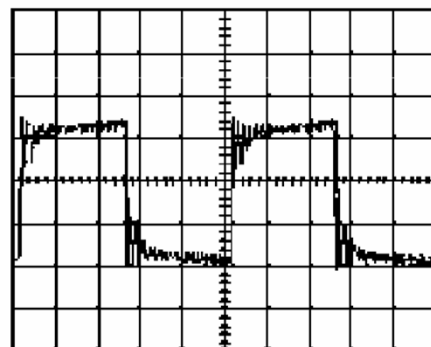
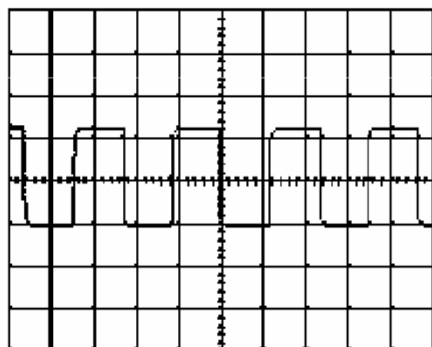
con $\tau'' = \tau \frac{R_0}{R_1 + R_2} \ll \tau \rightarrow$ aumento della banda passante (fattore circa 10)!
 (confronta con τ' senza sonda)

Sonda correttamente compensata



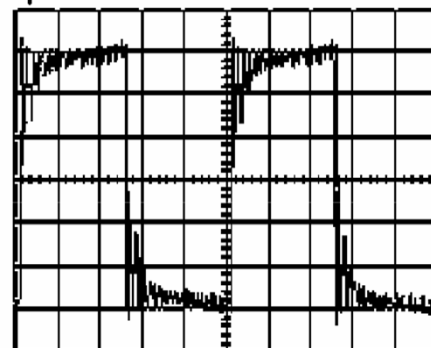
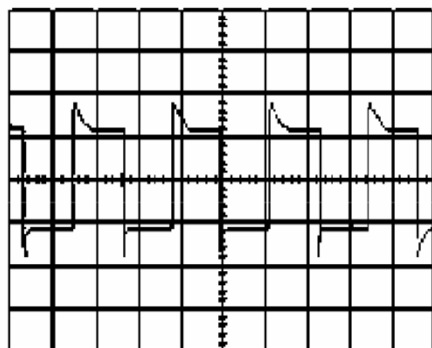
Visualizzazione
corretta

Sonda sottocompensata



Errore di ampiezza
negativo

Sonda sovracompensata



Errore di ampiezza
positivo

Segnale di compensazione
interno dell'oscilloscopio

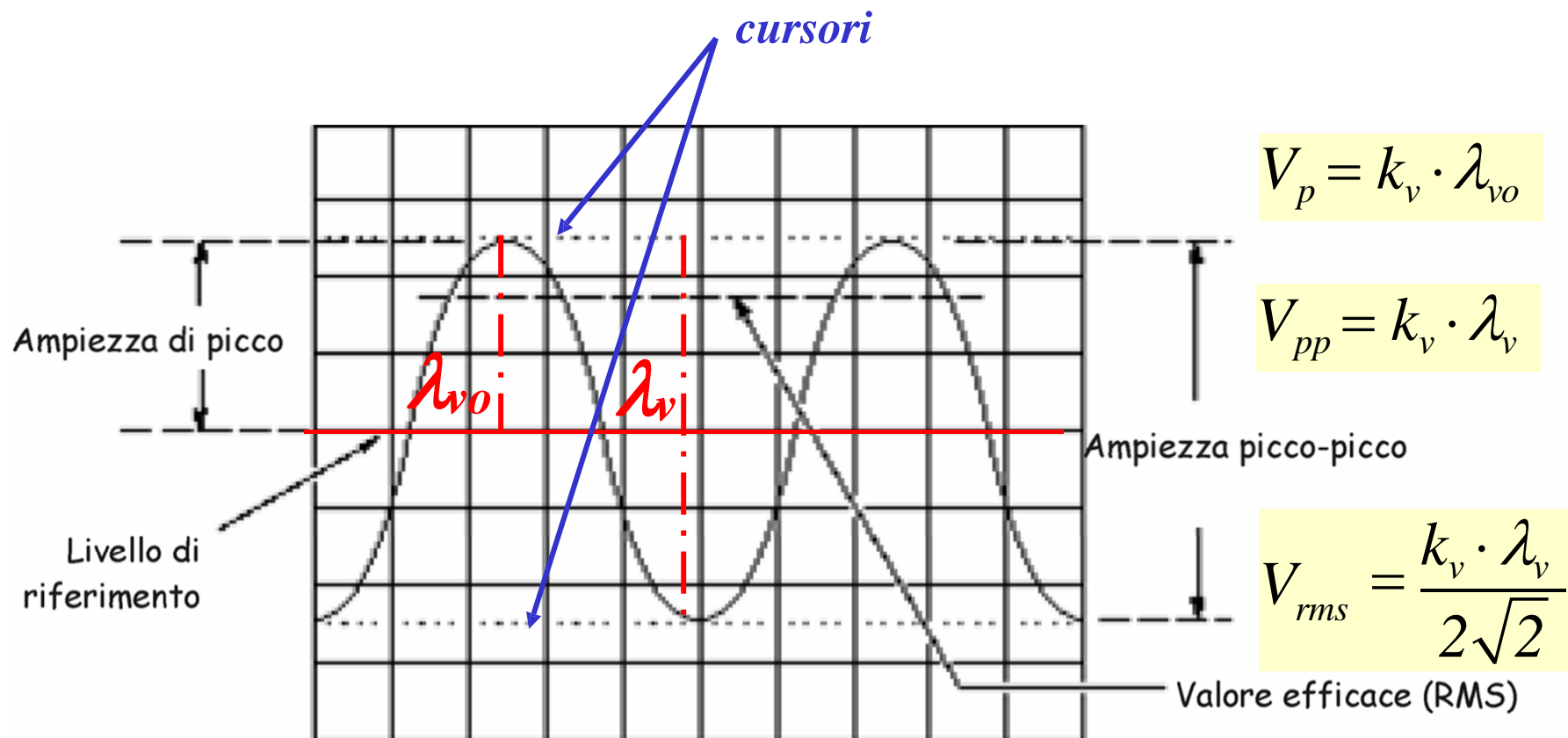
Segnale di ampiezza 4.5 Vpp
e frequenza $f = 1 \text{ MHz}$

compensazione della sonda:

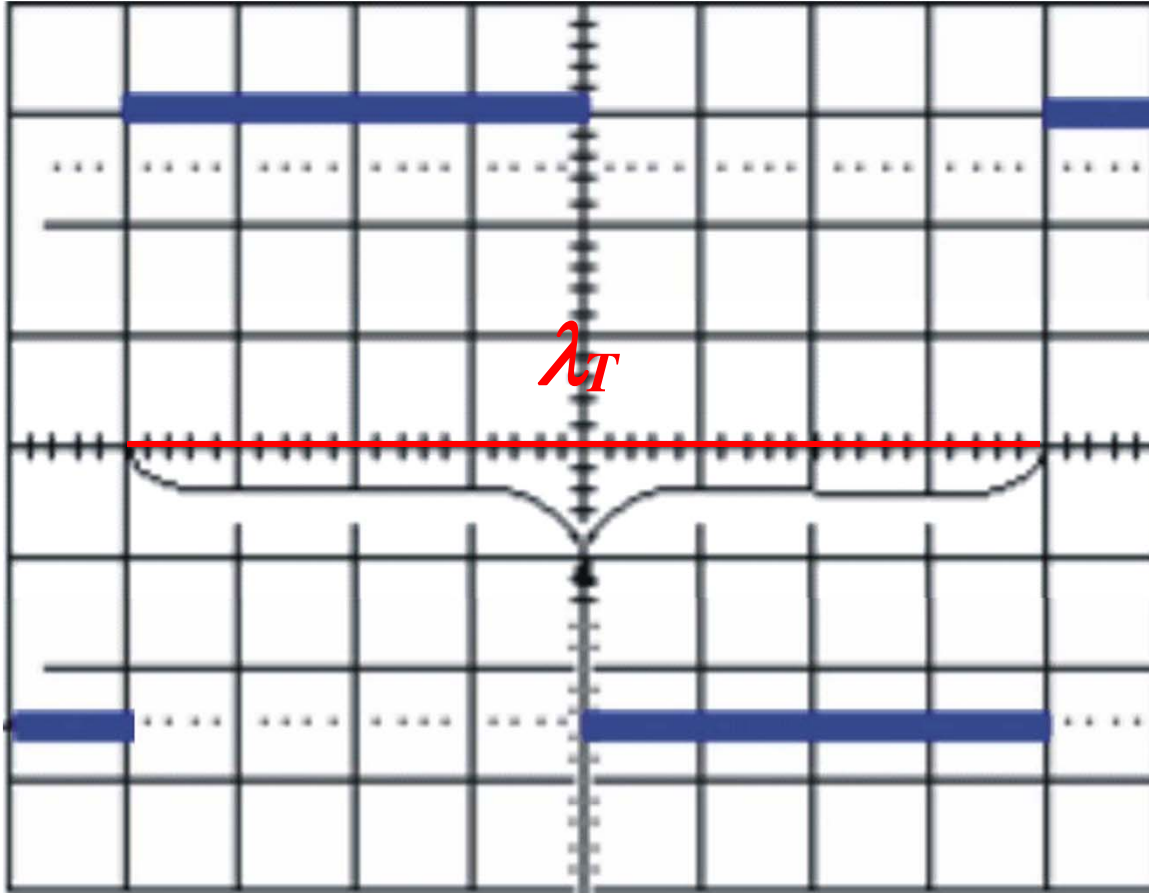
1. si connette la sonda ad un generatore di segnale di riferimento integrato nell'oscilloscopio (es. onda quadra di frequenza circa 1 kHz e ampiezza circa 5 V);
2. si regola il compensatore col cacciavite di plastica fornito, fino alla visualizzazione ottimale del segnale (onda quadra piatta).

1) Misura di tensione di picco, tensione picco-picco, corrente, resistenza

Nelle misure di tensioni di picco porre attenzione a identificare correttamente la linea a zero volt!



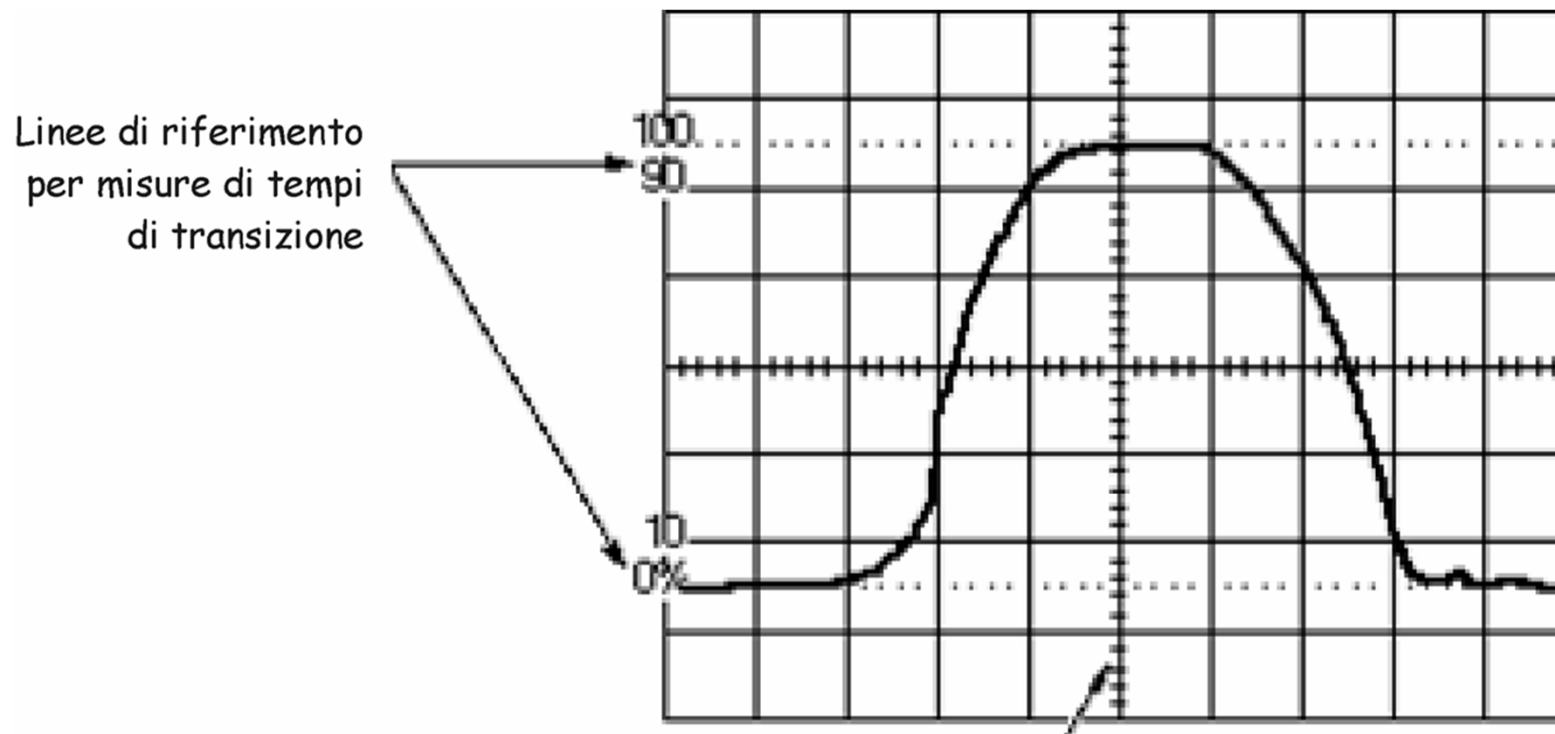
2) Misura di periodo (frequenza)



$$T = \frac{k_t \cdot \lambda_T}{(n. \text{ periodi})}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{(n. \text{ periodi})}{k_t \cdot \lambda_T}$$

4) Misura dei parametri temporali di un impulso



I parametri tipici sono tempo di salita o discesa (tra 10% e 90% del valore di picco) e la durata dell'impulso (tra i punti al 50% dell'ampiezza).

Spesso l'oscilloscopio permette la regolazione fine del guadagno verticale, in modo da far coincidere la base e il tetto dell'impulso con dei marcatori prestampati sulla griglia.

MODALITA' DI FUNZIONAMENTO XY (base dei tempi disattivata) e FIGURE DI LISSAJOUS:

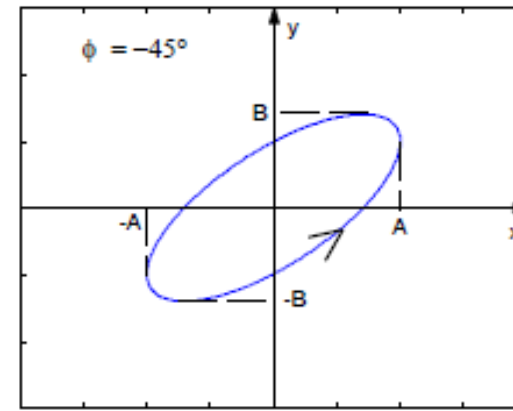
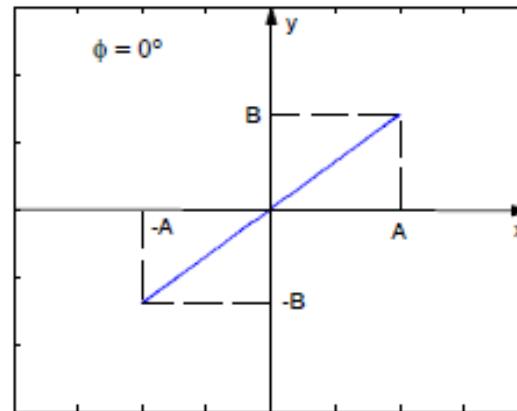
Un modo semplice ed efficace per analizzare lo sfasamento tra due segnali sinusoidali isofrequenziali è quello di considerare le figure di Lissajous

La più semplice figura di Lissajous è la curva di equazione:

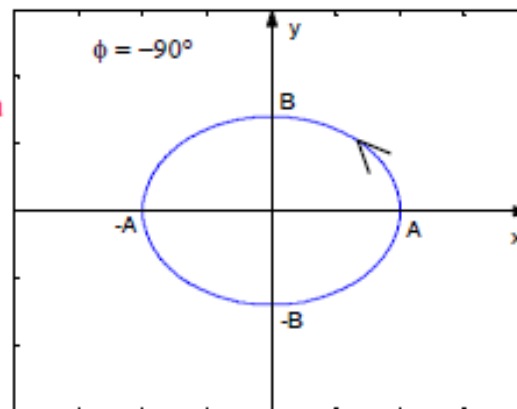
$$\begin{cases} x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ y(t) = B \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \end{cases}$$

dove la pulsazione ω è la stessa per entrambe le sinusoidi. La curva si ottiene rappresentando sull'asse x la funzione $A \cdot \sin(\omega t)$ e sull'asse y la funzione $B \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.

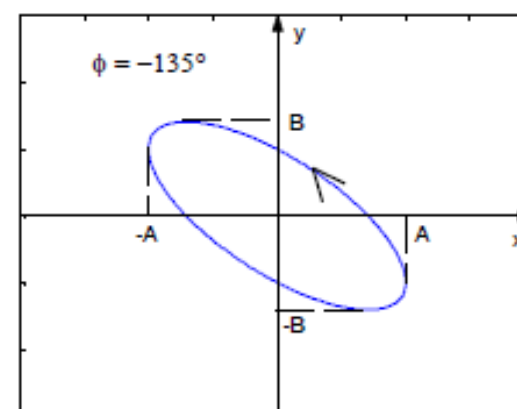
Figure di Lissajous per diversi valori dello sfasamento ϕ tra le due sinusoidi:



(percorrenza
antioraria)

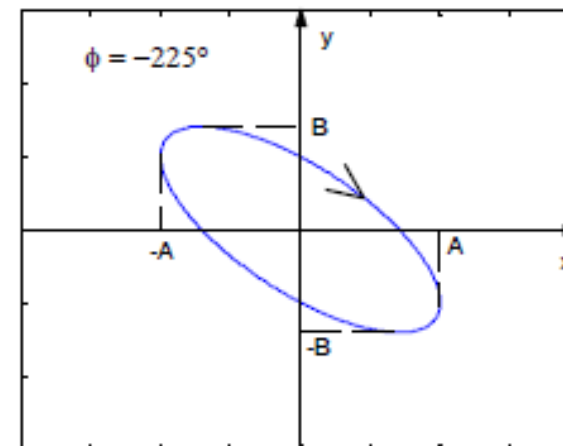
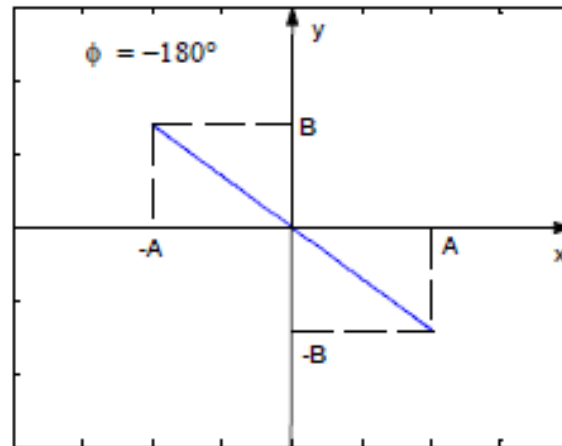


(percorrenza
antioraria)

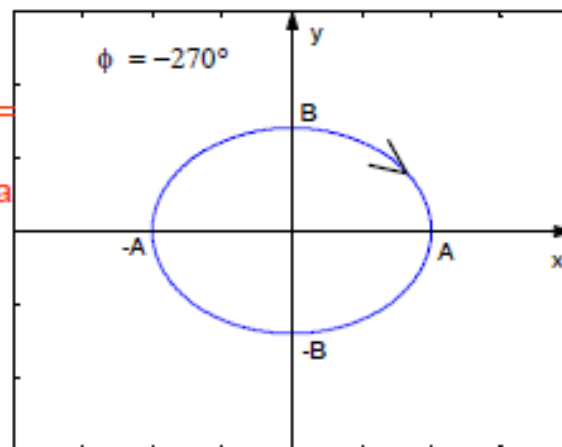


(percorrenza
antioraria)

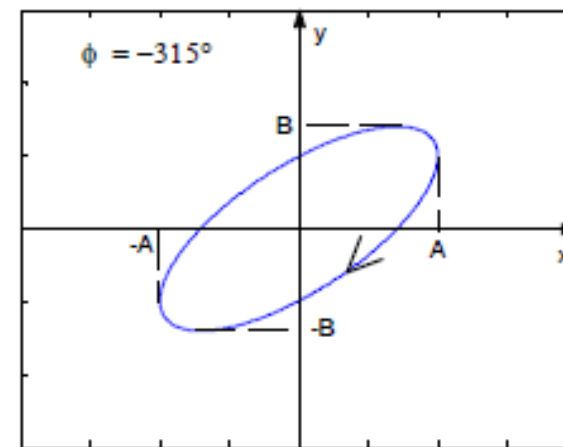
Figure di Lissajous per diversi valori dello sfasamento ϕ tra le due sinusoidi:



$\phi = 135^\circ = 360^\circ - 225^\circ$
(percorrenza oraria)



$\phi = 90^\circ = 360^\circ - 270^\circ$
(percorrenza oraria)



$\phi = 45^\circ = 360^\circ - 315^\circ$
(percorrenza oraria)

Determinazione dello sfasamento tra due sinusoidi usando la figura di Lissajous

l'altezza Y_a dell'ellisse è pari a $2 \cdot B$, mentre l'altezza Y_b del segmento sull'asse y avente per estremi le intercette è $2 \cdot B \cdot \sin \phi$

$$\sin \phi = \frac{Y_b}{Y_a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \phi = \arcsin\left(\frac{Y_b}{Y_a}\right)$$

