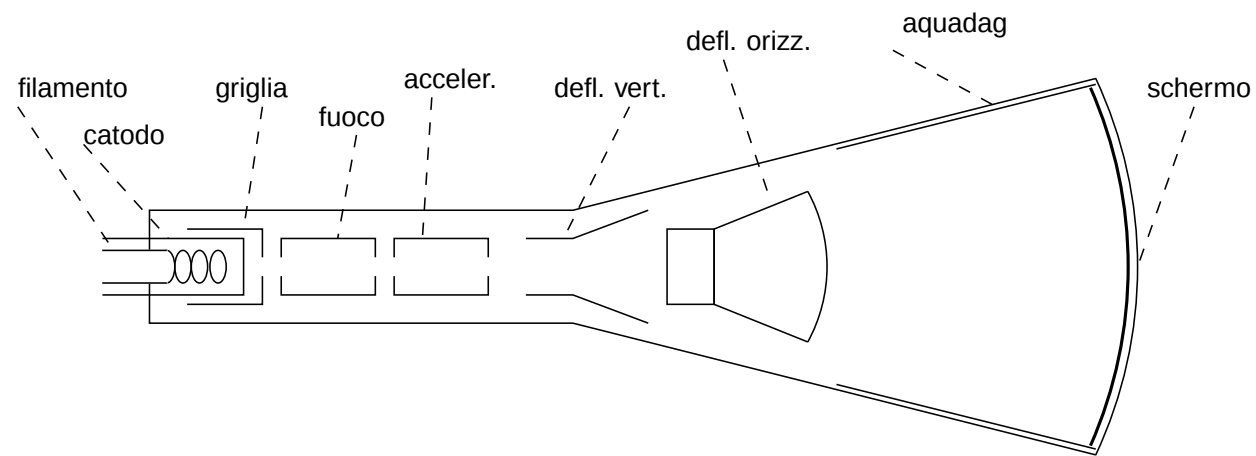


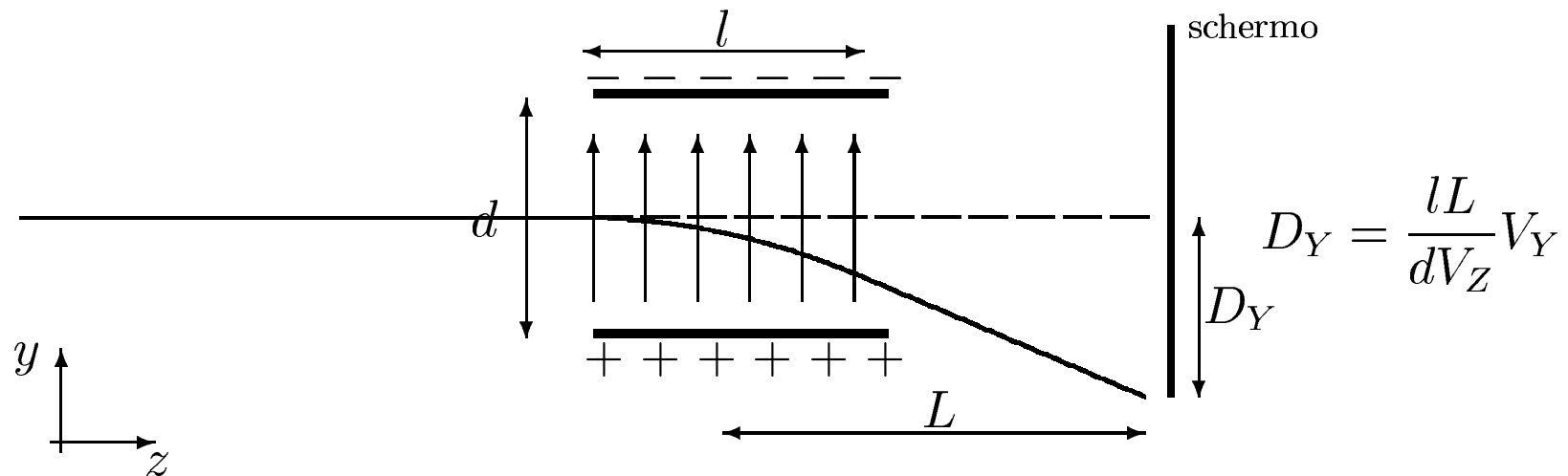
Oscilloscopio (Analogico)

- visualizzazione di una tensione in funzione di un'altra tensione;
- visualizzazione di una tensione in funzione del tempo:
 - il segnale $v(t)$ è inviato alle p.d.v.;
 - viene generato segnale “proporzionale al tempo”;
- “lavora” alla velocità del segnale;
- evento di trigger, riferimento temporale;
- segnali periodici (o ripetitivi).
- limitate capacità di elaborazione;

Tubo a raggi catodici



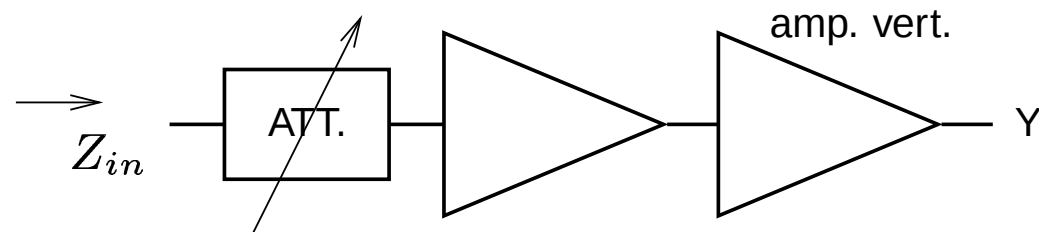
(anche altri tipi di display)



Deflessione

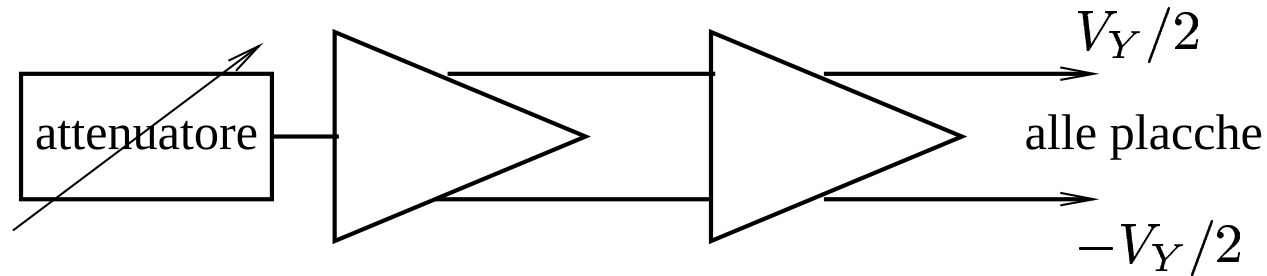
$$D_Y = \frac{lL}{dV_Z} V_Y = k V_Y \quad k \simeq \text{cm/V}$$

- necessità di amplificare il segnale da visualizzare



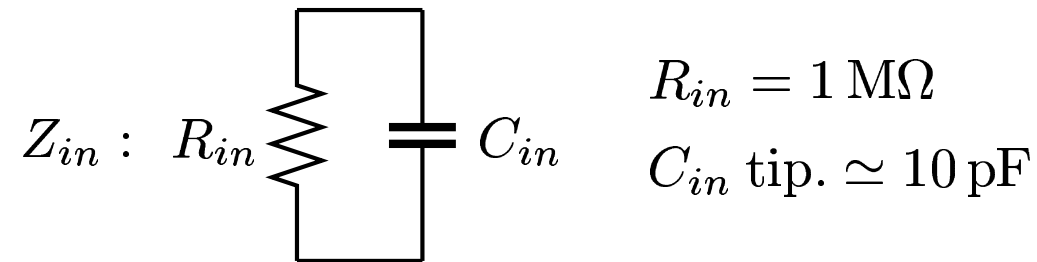
Amplificatori per Oscilloscopi

Amplificatori



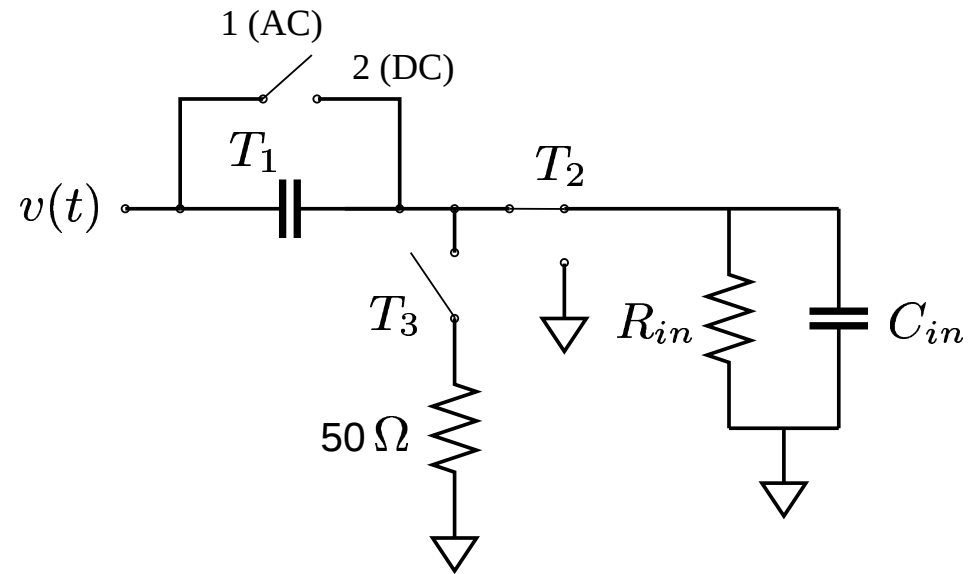
- a. differenziali bilanciati;
- possibilità di sommare tensioni continue (traslazione);
- necessità di pilotare carico capacitivo;
- oggi amplificatori integrati;
- → limite superiore di banda.

Stadio d'ingresso



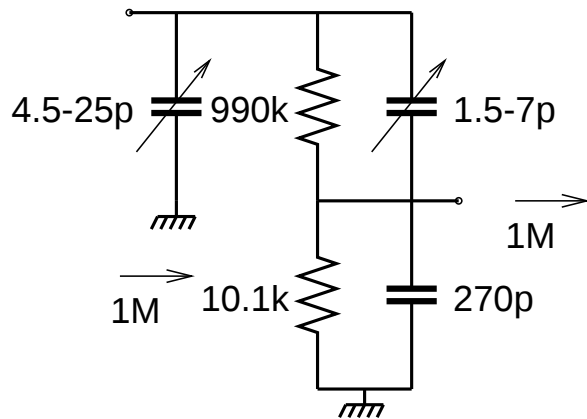
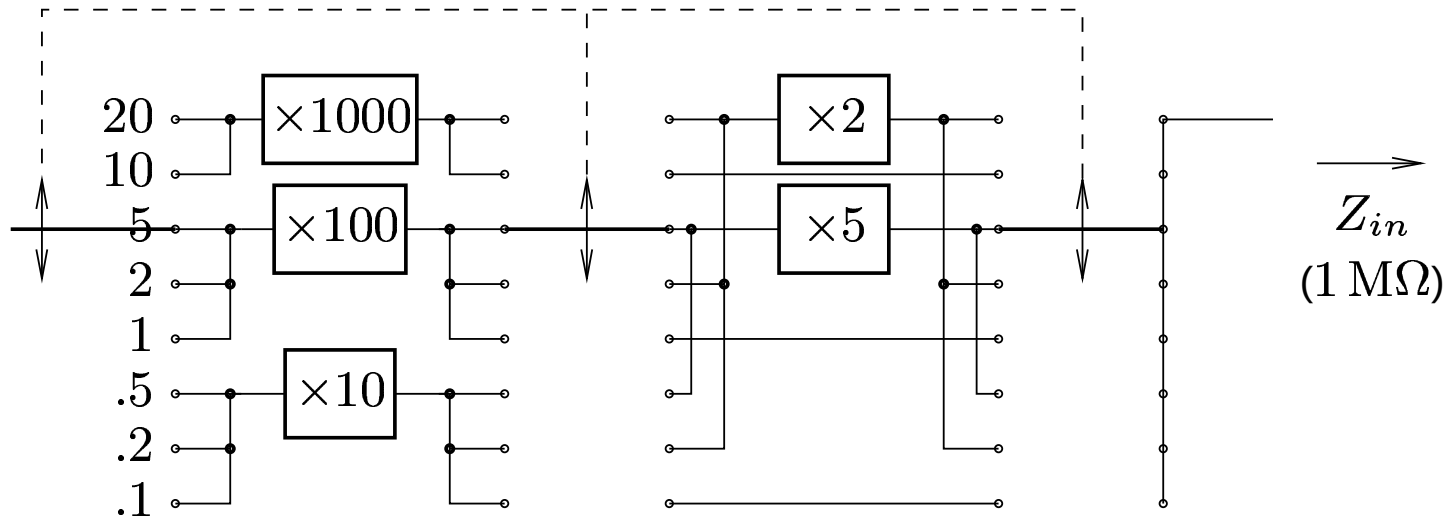
- resistenza: valore standard;
- capacità: valore tipico (ordine di grandezza);
- diminuisce ad alte frequenze;
- $\rightarrow$ si utilizza $R = 50\text{ }\Omega$;
- $\Rightarrow$ possibilità di lavorare in condizioni di adattamento;
- in ogni caso Z_{in} non è puramente resistiva.

Accoppiamento

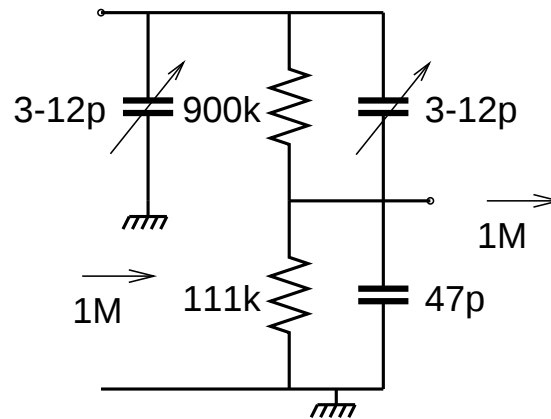


- T_1 : AC/DC;
- T_2 : gnd (livello di zero, allineamento traccia);
- T_3 : $50\ \Omega$.

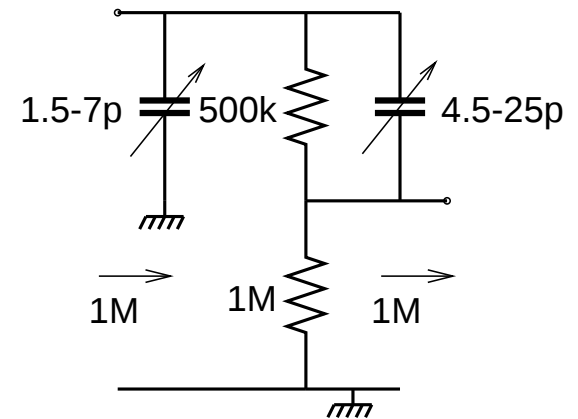
Attenuatori



$\times 100$

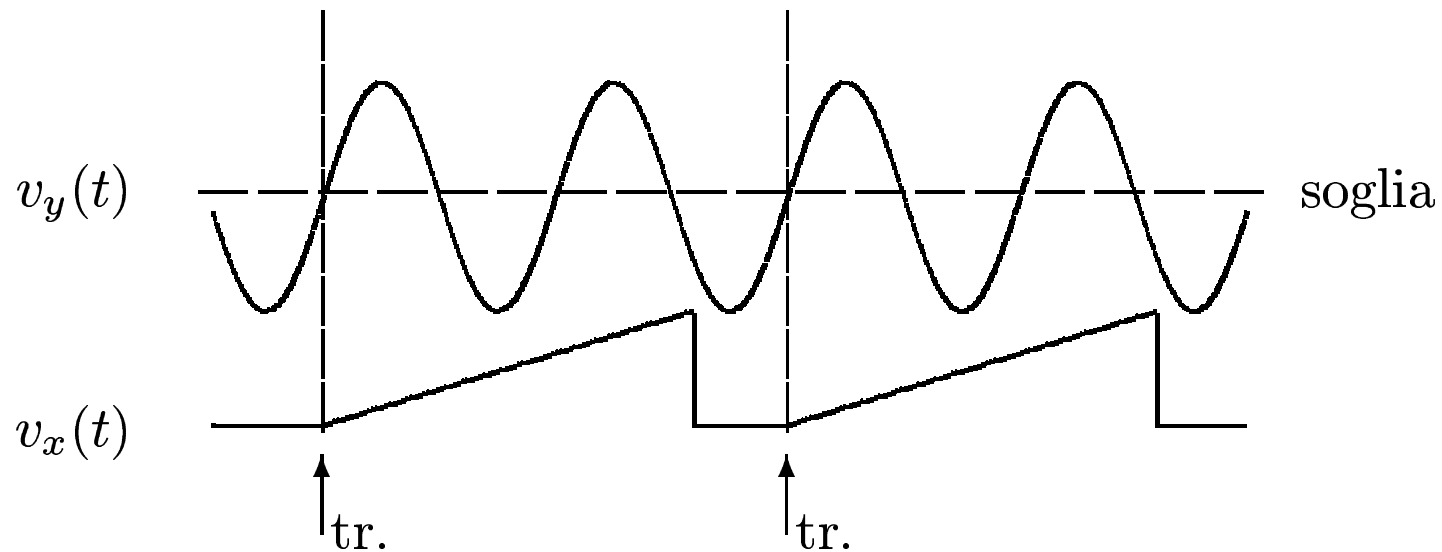


$\times 10$



$\times 2$

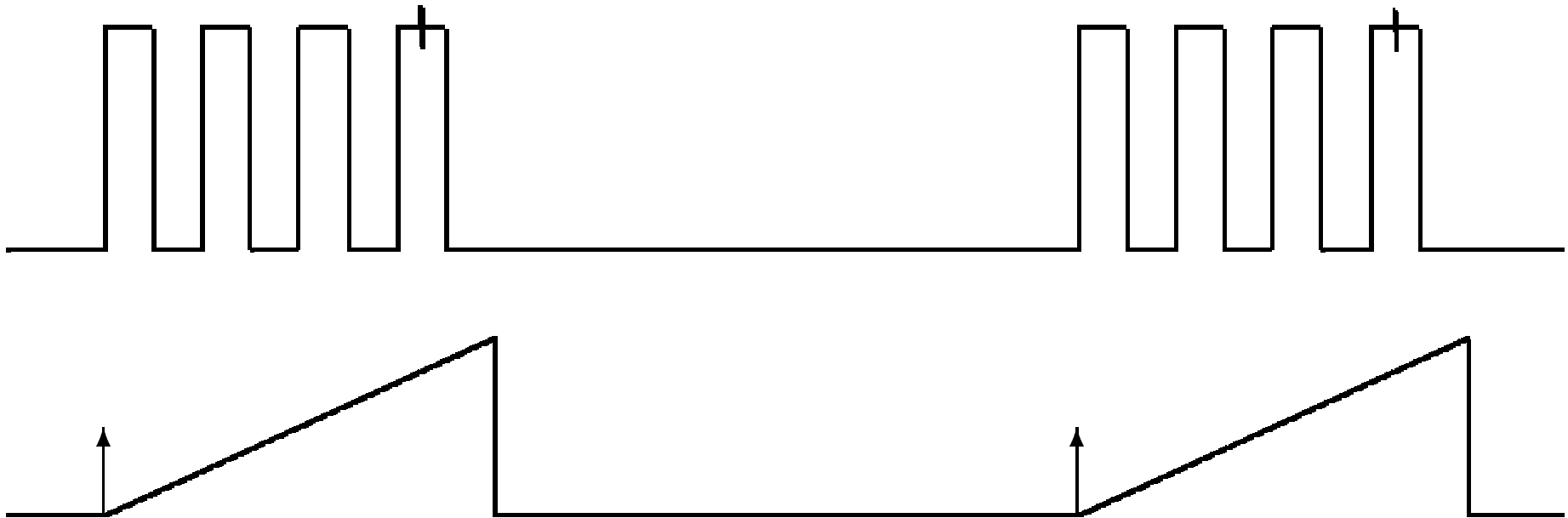
Base dei tempi



- sincronizzazione della scansione orizzontale con il segnale;
- segnale di trigger;
- soglia/pendenza (circuito specifico).

Base dei tempi ritardata

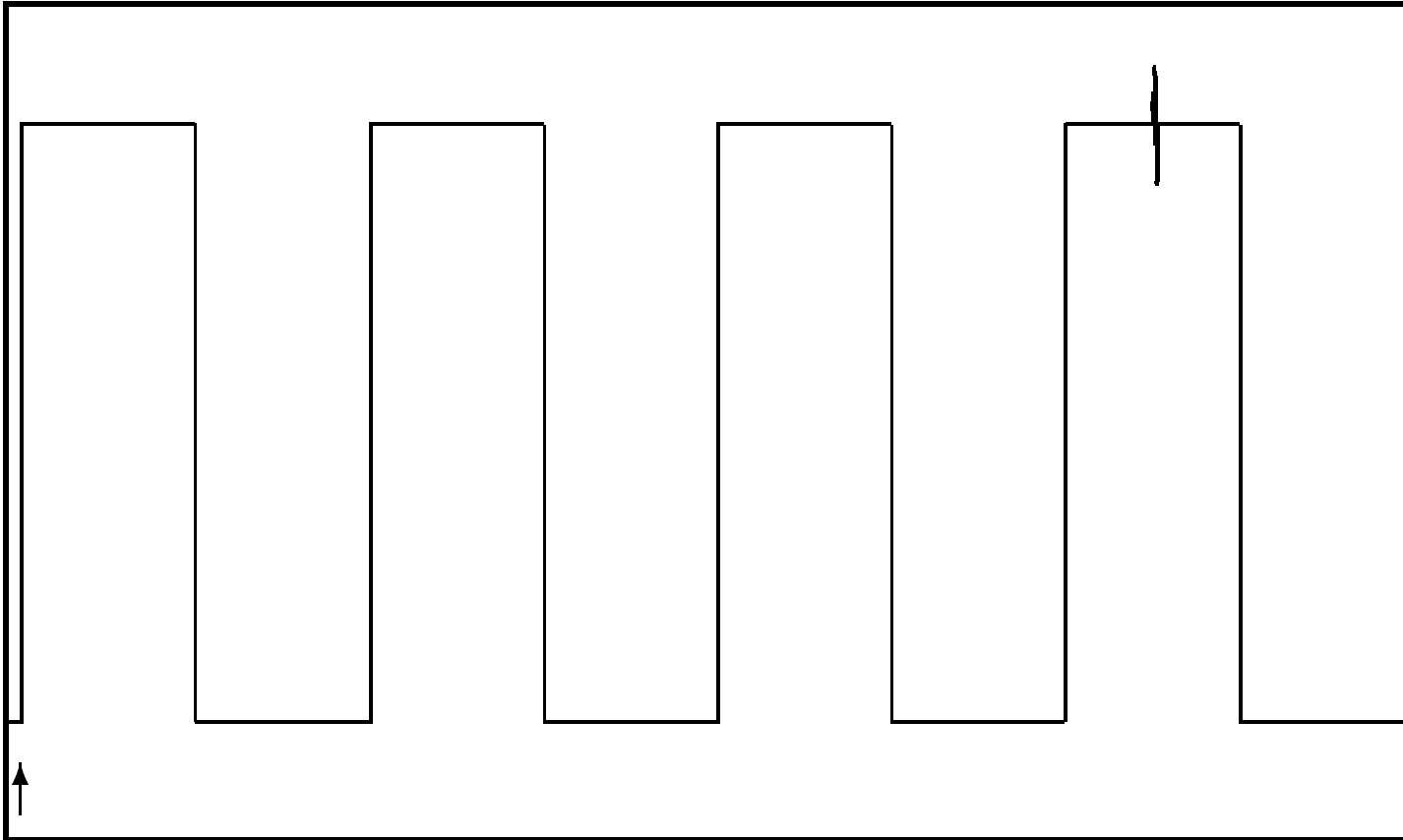
Necessità di attivare la scansione orizzontale con un certo ritardo (delay) rispetto all'evento di trigger.



base dei tempi “ordinaria” (non ritardata)

Base dei tempi ritardata

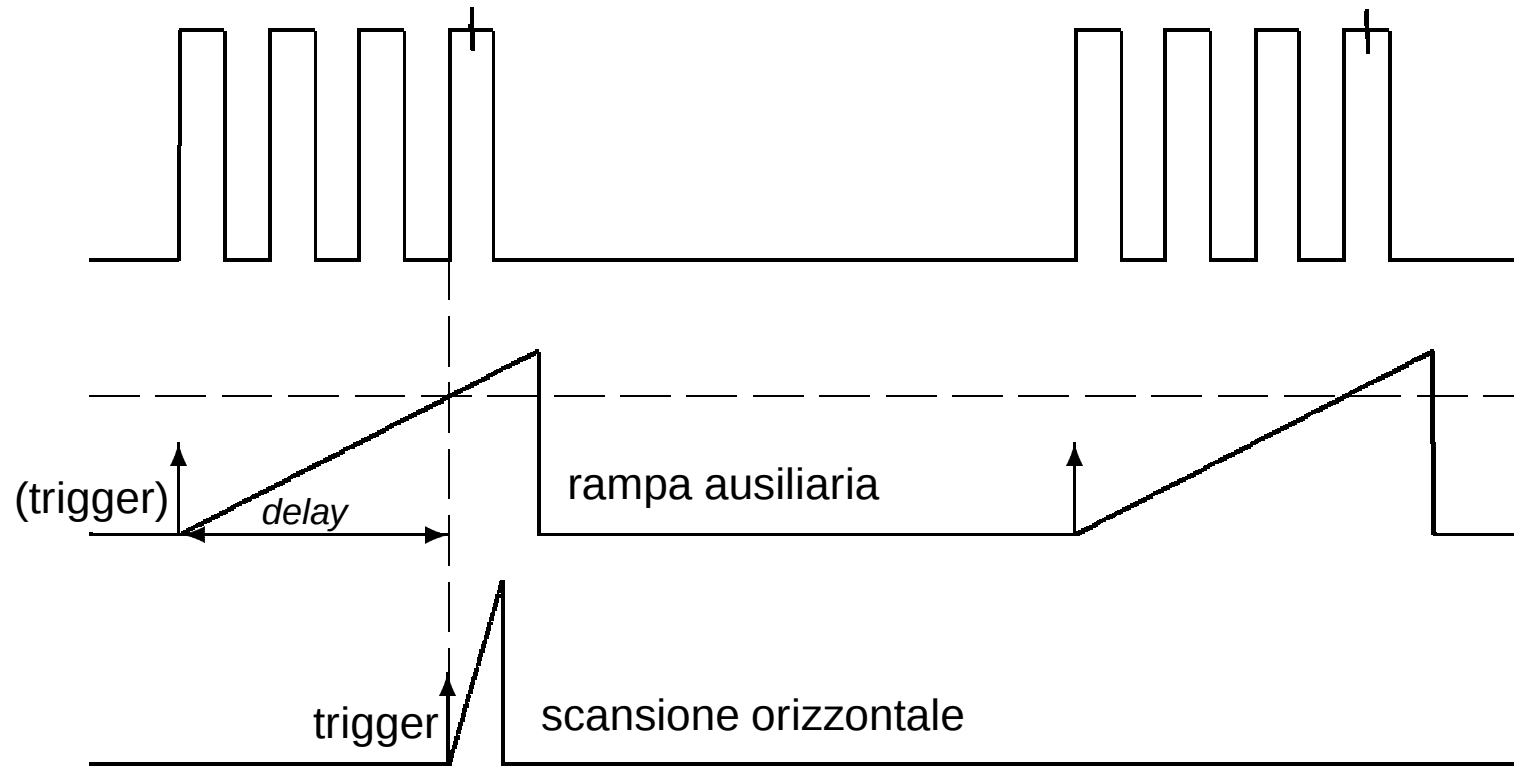
con una base dei tempi “ordinaria”:



il risultato non è utile.

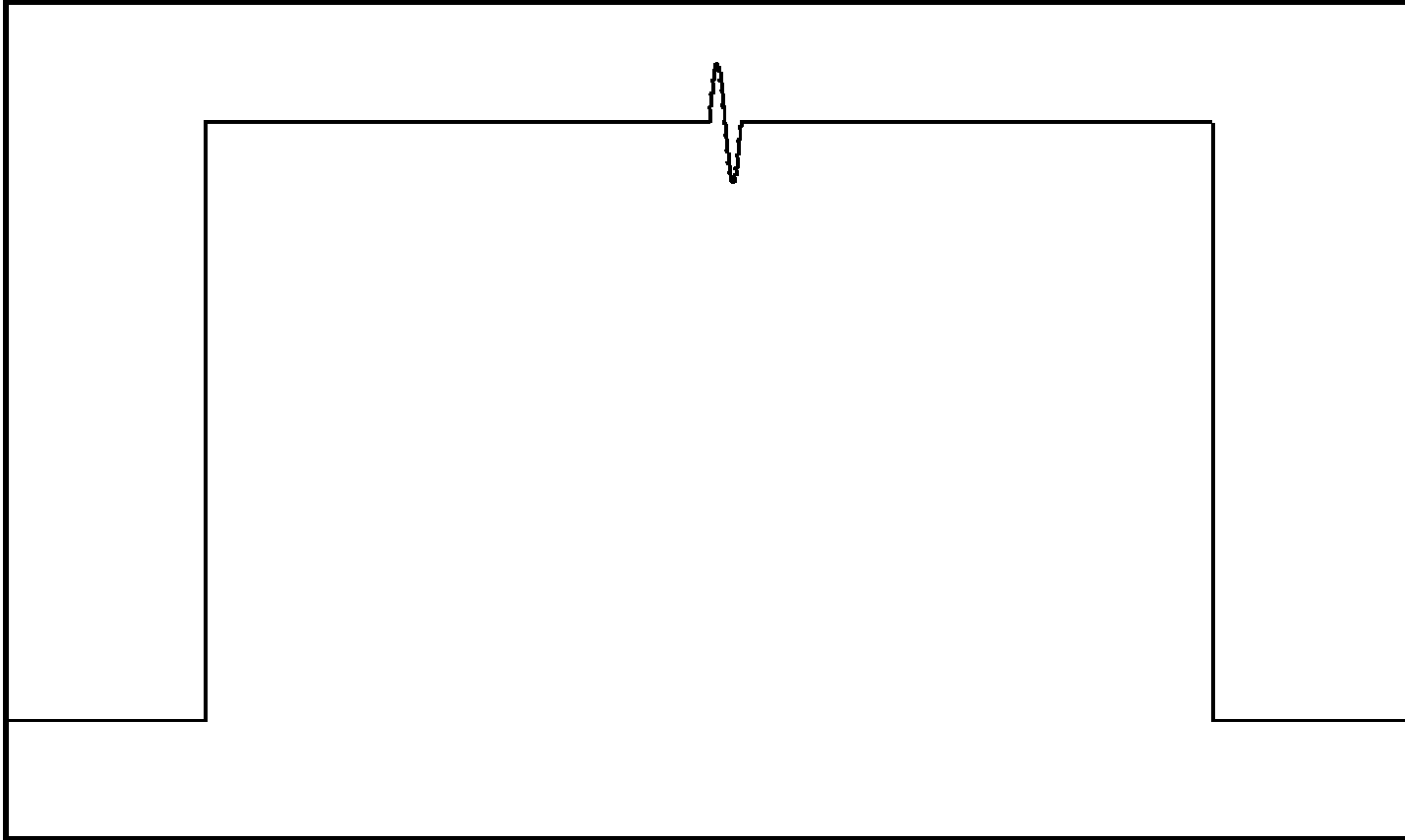
Base dei tempi ritardata

base dei tempi ritardata:



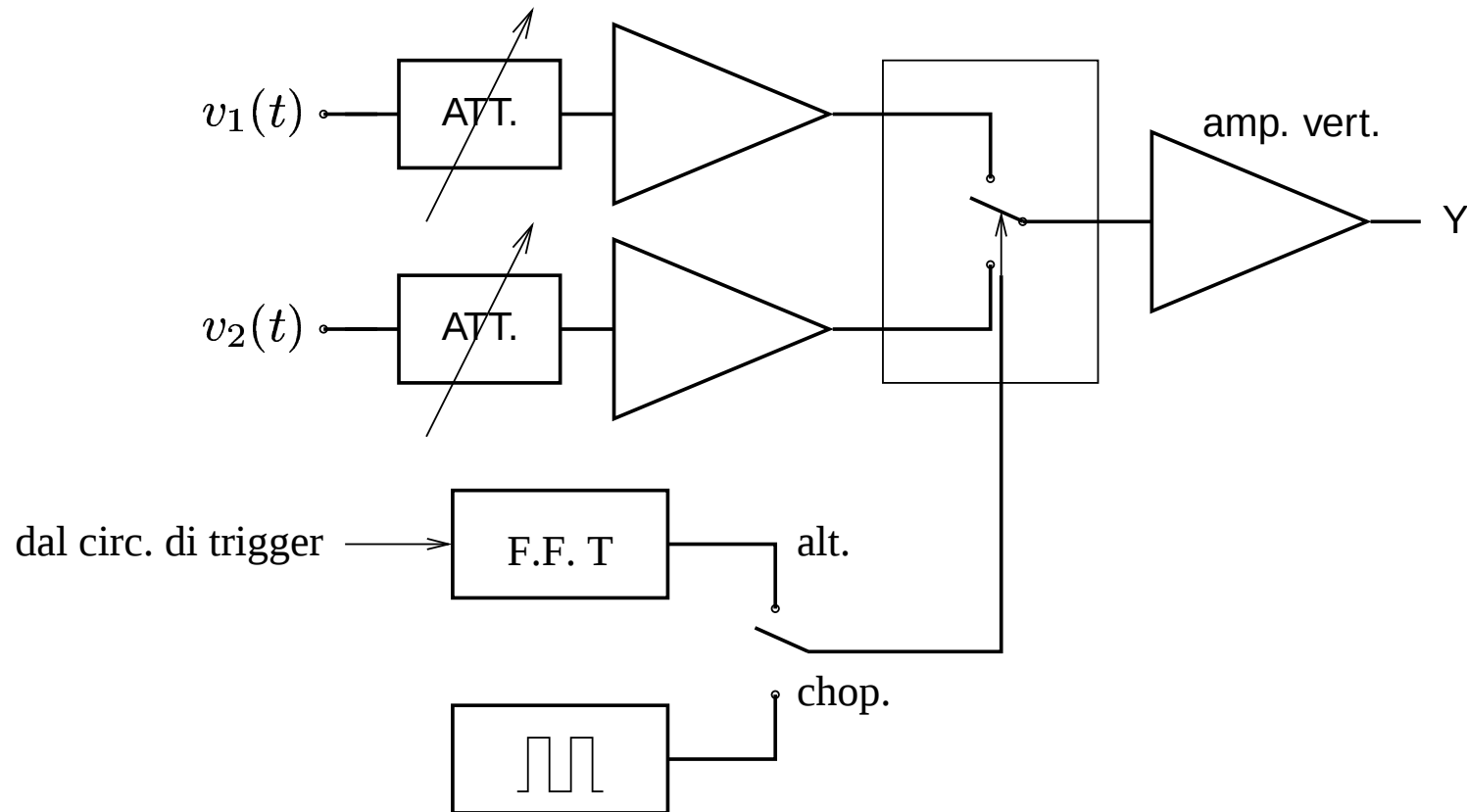
Base dei tempi ritardata

con una base dei tempi ritardata:



si riesce a “selezionare” l’impulso di interesse

Sistemi multitraccia



- Modalità alternata o *chopped*

Oscilloscopio analogico: limiti

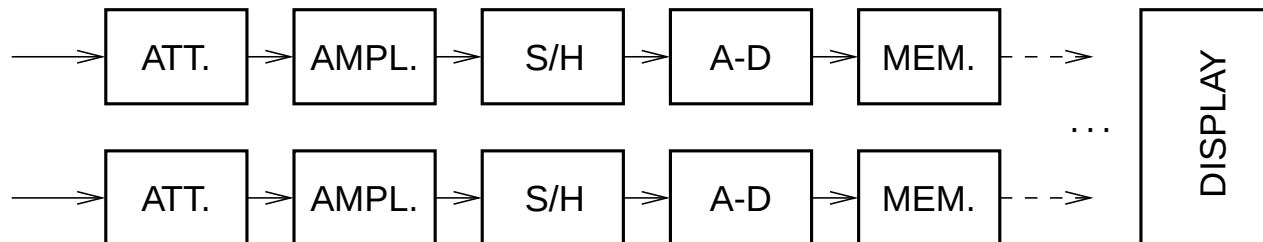
- possibilità di lavorare solo con segnali periodici;
(assenza di memoria)
- scarse possibilità di elaborazione del segnale;
(elaborazione analogica richiede specifici circuiti)
- ...

Oscilloscopio numerico

(Schumann's folly)

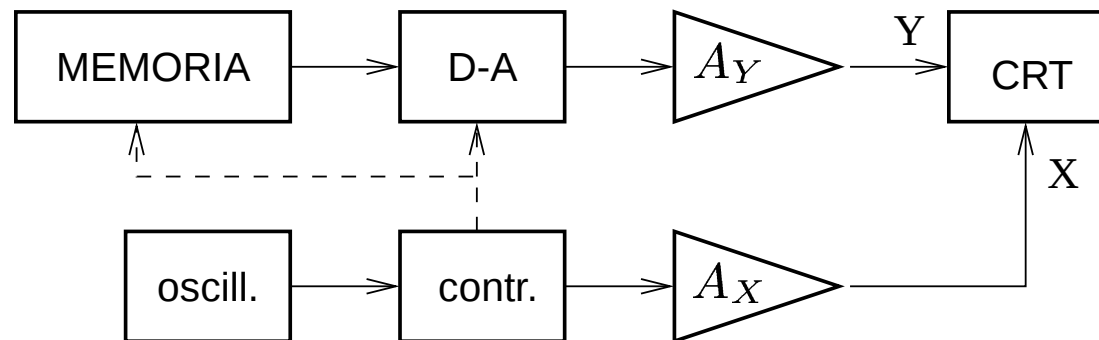
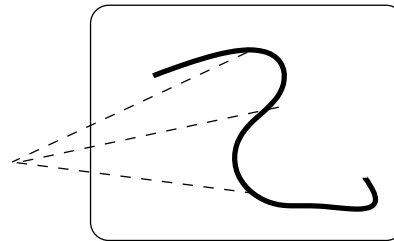
Schema di principio:

- attenuazione/amplificazione;
- campionamento (S/H) e conversione A/D;
- memorizzazione dei campioni
- ...
- visualizzazione



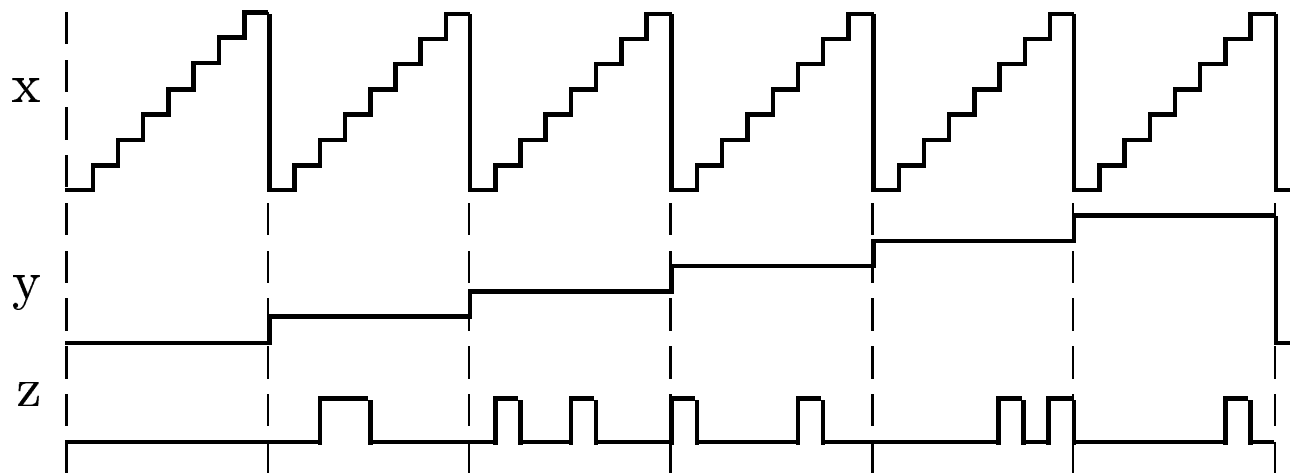
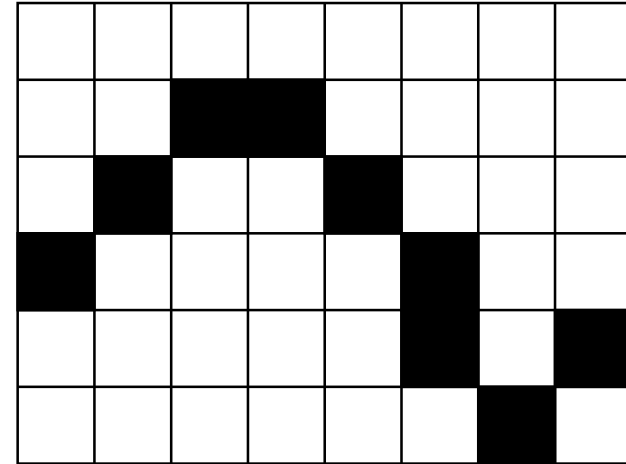
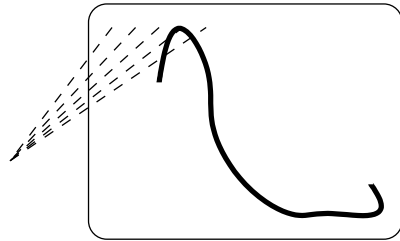
Modalità di scansione

Scansione vettoriale



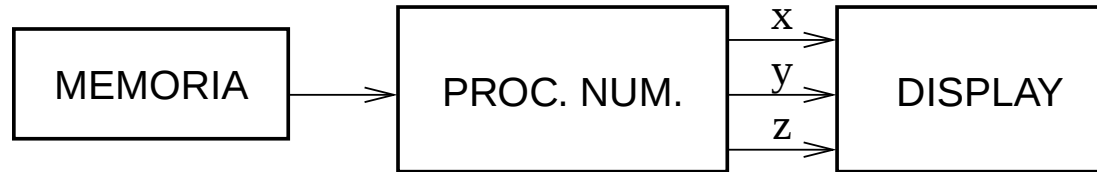
Modalità di scansione

Scansione raster



Scansione raster

La soluzione . . .



Il processore numerico svolge anche altre operazioni

Oscilloscopio Digitale

Principali differenze rispetto all'O.A.

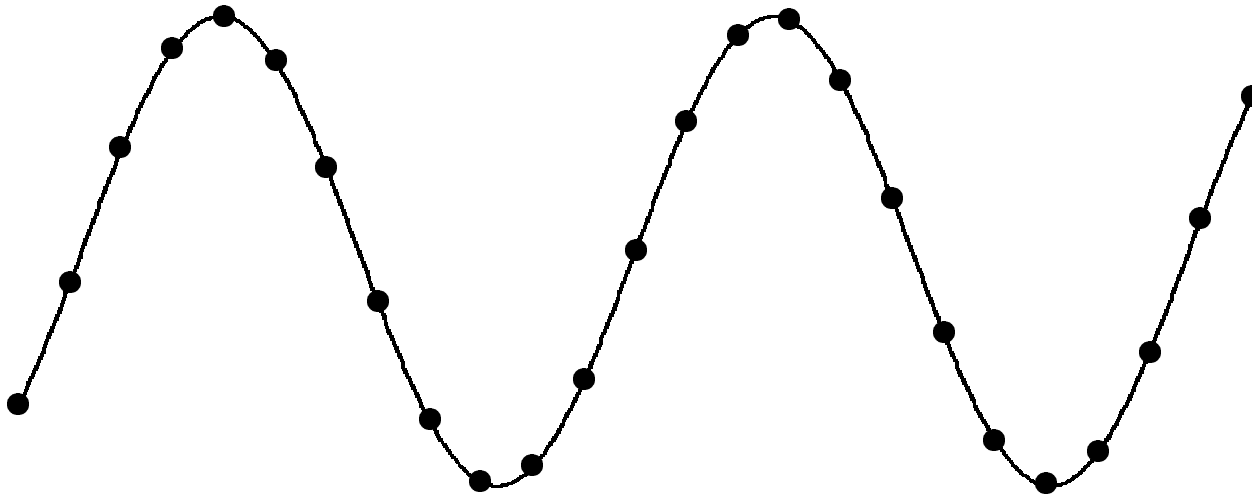
- campionamento del segnale;
- conversione in digitale;
- memorizzazione;
- necessità di ricostruire il segnale;

Possibilità offerte

- visualizzazione di segnali non periodici (memoria);
- “tempi negativi” ($t < t_{tr}$);
- operazioni sui segnali;
- eventi di trigger più complessi;

Campionamento

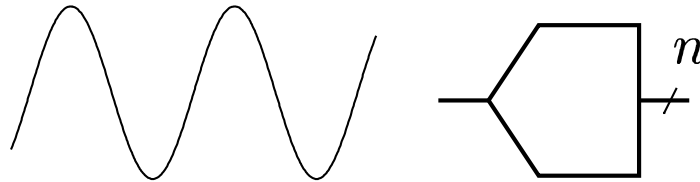
- * Processo di conversione di una porzione (record) di segnale in un numero di valori discreti con lo scopo di memorizzarli, elaborarli, visualizzarli, ecc.



- * il valore del campione corrisponde all'ampiezza del segnale nell'istante di campionamento.

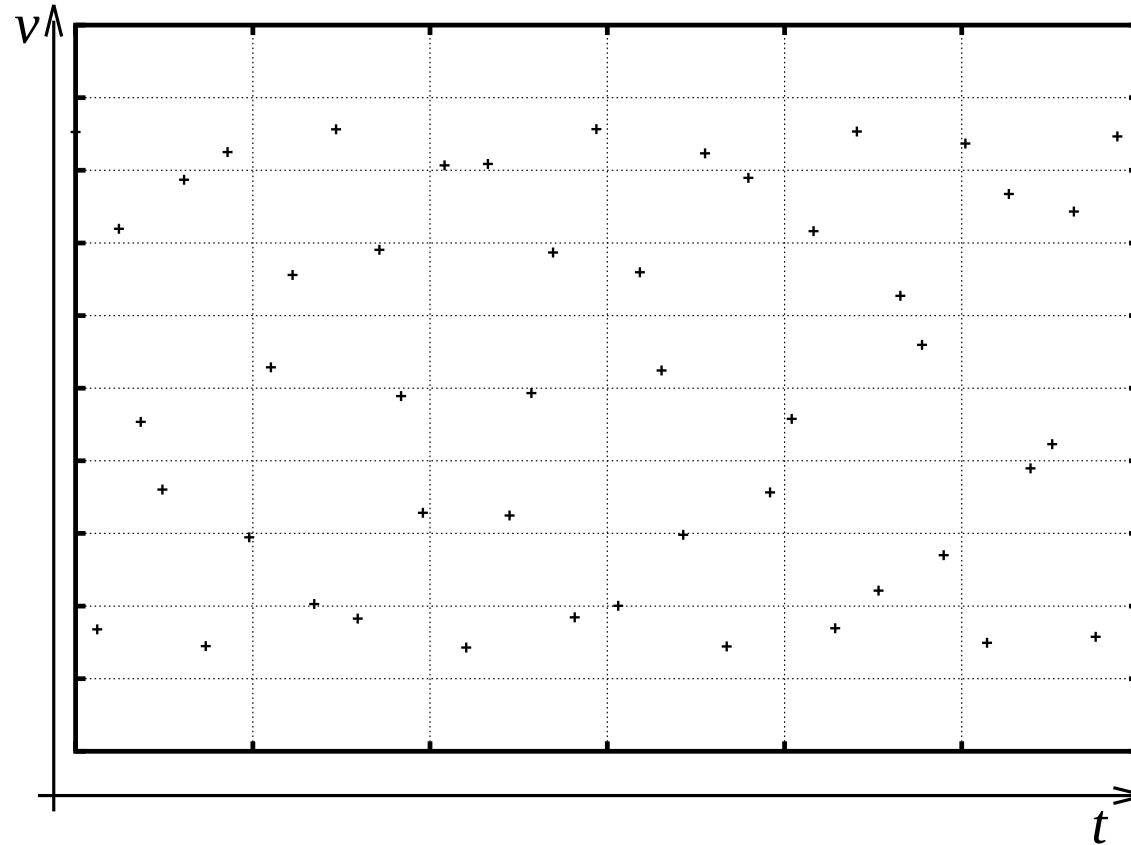
Campionamento

- frequenza di campionamento f_c
- "passo" temporale $\Delta t = T_c$ (teoricamente) costante
- quantizzazione del segnale (ADC);



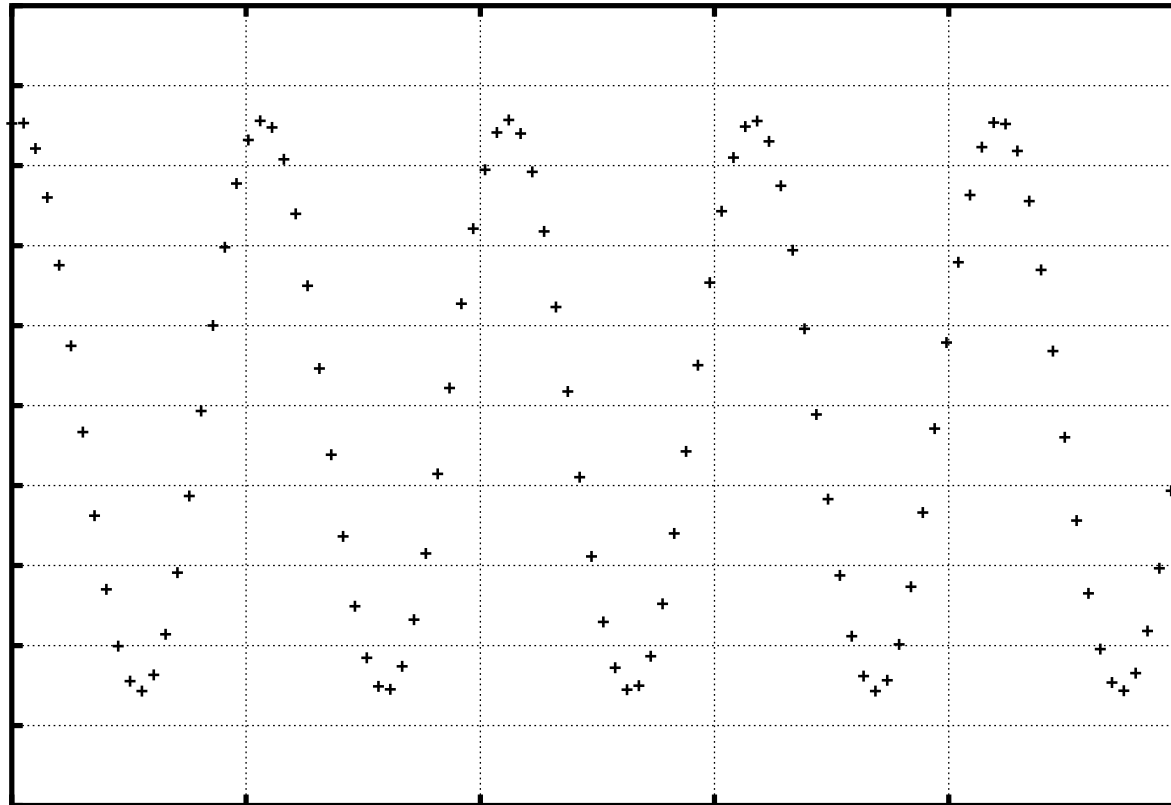
- n elevato $\rightarrow$ minore velocità;
- n elevato $\rightarrow$ maggior costo;
- in un oscilloscopio generalmente $n = 8$: $ris_y \simeq 0.4\%$;

Rappresentazione dei soli punti acquisiti



Difficoltà a riconoscere la forma d'onda:

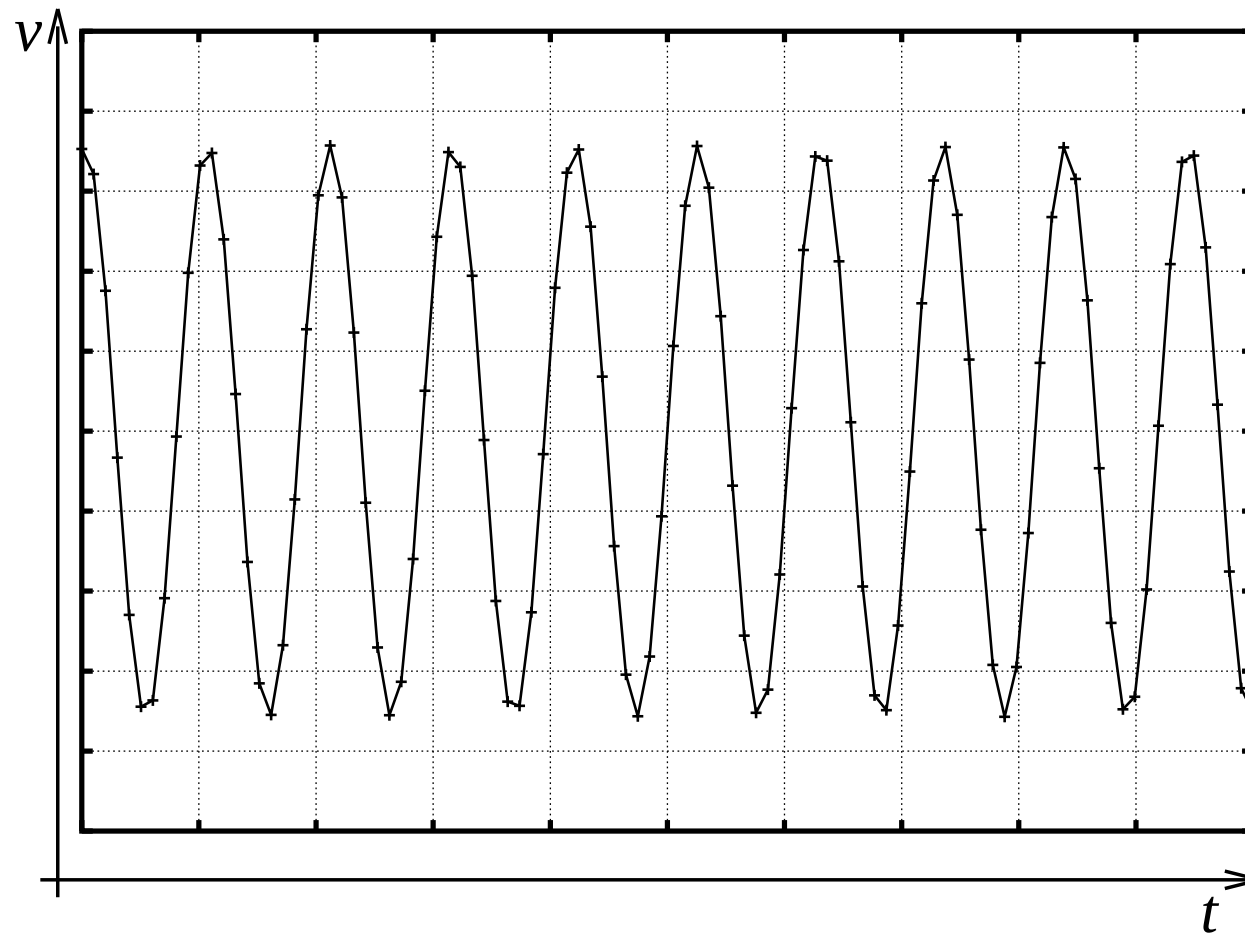
Alias percettivo



alias percettivo (a) - xrange [-10:0]

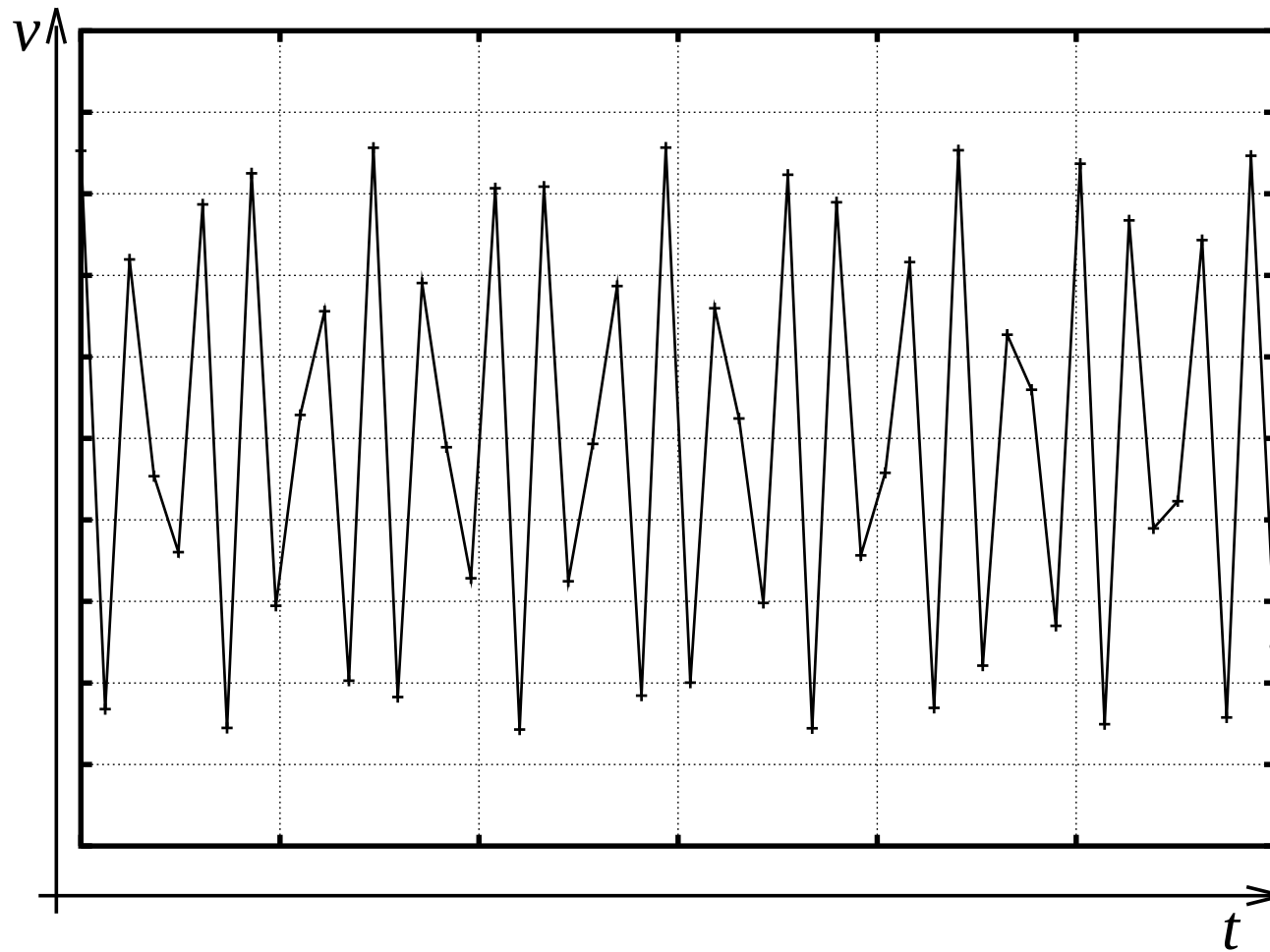
Gli stessi campioni possono dare luogo a rappresentazioni “diverse”,
dipendentemente (p. es.) dalla scala

Alias e interpolazione



alias percettivo (a) - interpolazione lineare

Alias e interpolazione



interpolazione lineare

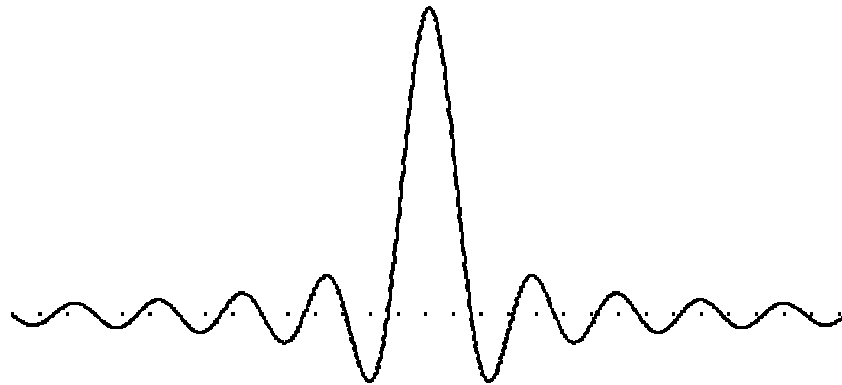
Interpolazione

formula di Nyquist:

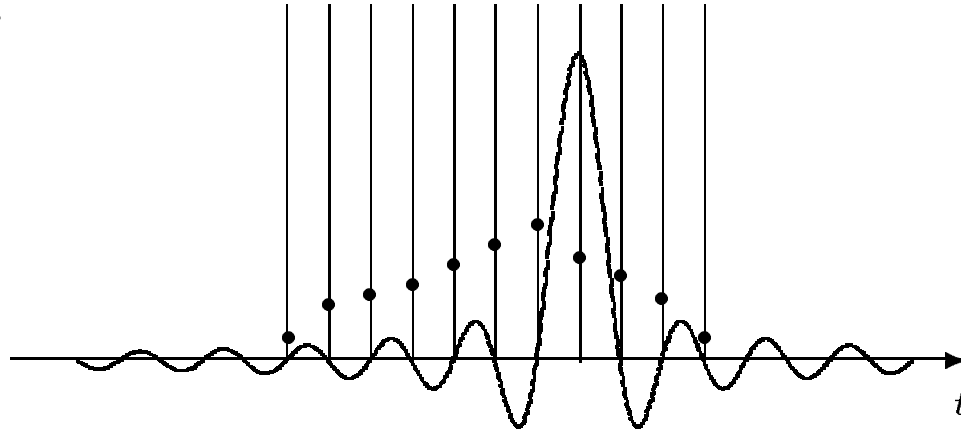
$$y(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} c_i \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{t}{T_C} - i \right) \right]}{\pi \left(\frac{t}{T_C} - i \right)} = \begin{cases} 1 & \text{per } t = iT_C \\ 0 & \text{per } t = jT_C \quad (j \neq i) \\ \dots & \text{altrove} \end{cases}$$

media pesata dei campioni

funzione peso:

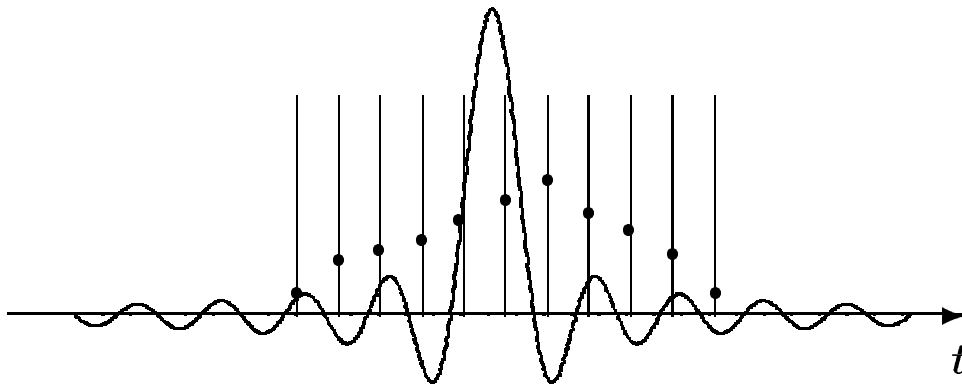


Interpolazione



ricostruzione in un istante
di campionamento:

- funz. peso
- campioni



ricostruzione
in un istante diverso

Interpolazione

- l'algoritmo di Nyquist è pesante
- altri algoritmi di interpolazione:

$$y(t) = \sum_{i=-N}^{i=+N} c_i \times f(t, T_C, i)$$

$f(t, T_C, i)$ è una diversa funzione “peso”.

Teorema del campionamento

$$f_c \geq 2f_{max} \Rightarrow s(t) \rightarrow \boxed{\text{camp.}} \rightarrow \boxed{\frac{\sin(x)}{x}} \rightarrow s(t)$$

- $s(t) = A \sin(\omega t)$: min 2 campioni/periodo
- onda quadra: min 2 campioni per ogni periodo della max componente spettrale che deve essere correttamente rappresentata (ricostruita).

$$s(t) \rightarrow \boxed{\text{camp.}} \rightarrow \boxed{\begin{array}{c} \text{altro} \\ \text{algoritmo} \end{array}} \rightarrow \simeq s(t)$$

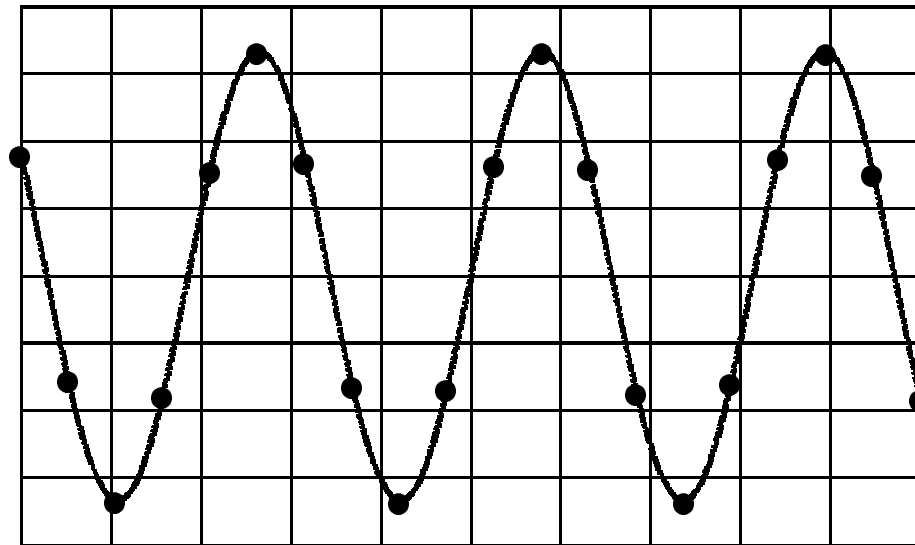
$$f_c \geq 2.5 \div 5f_{max}$$

Interpolazione

Sull'oscilloscopio:

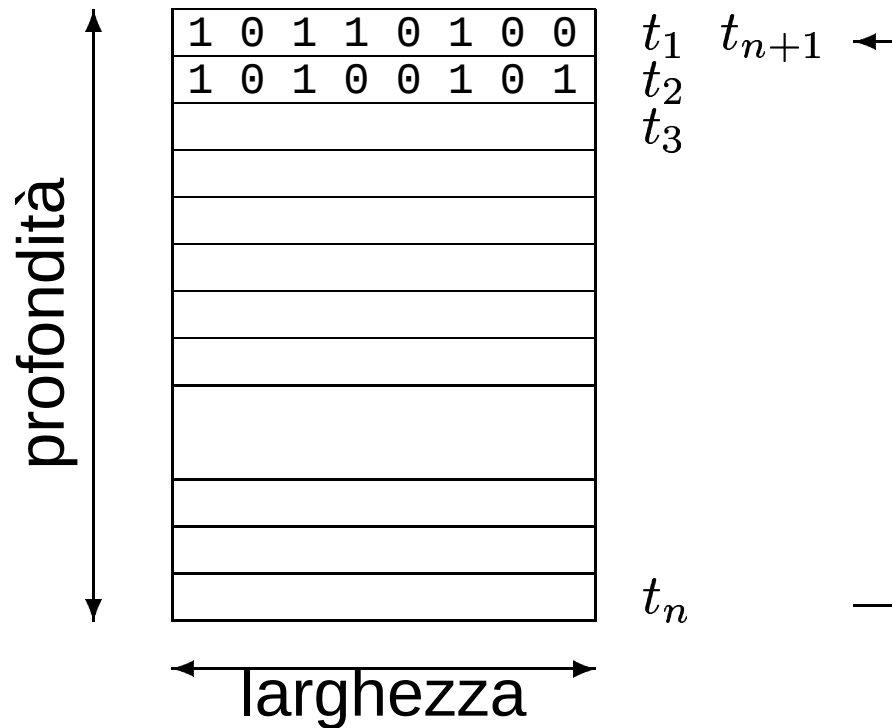
* (non sempre) possibilità di selezionare:

- interpolazione lineare
- eventuale altra interpolazione
- nessuna interpolazione

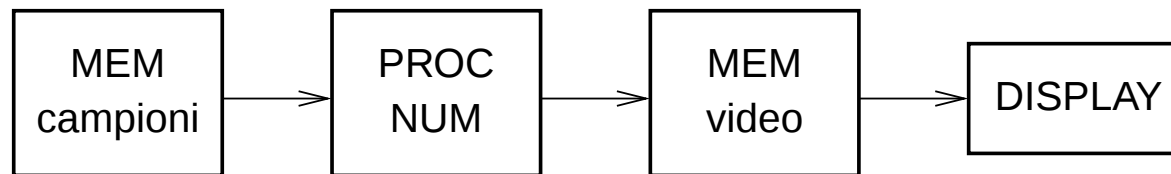


- Intensified Samples:

Memoria dati



- maggiore profondità $\rightarrow T$ grande;
- memoria ricircolante;
- memoria veloce;
- parametro di merito di un oscilloscopio;



Campionamento

Modalità:

- * tempo reale

 - segnali anche non periodici

- * tempo equivalente

 - segnali periodici

 - casuale

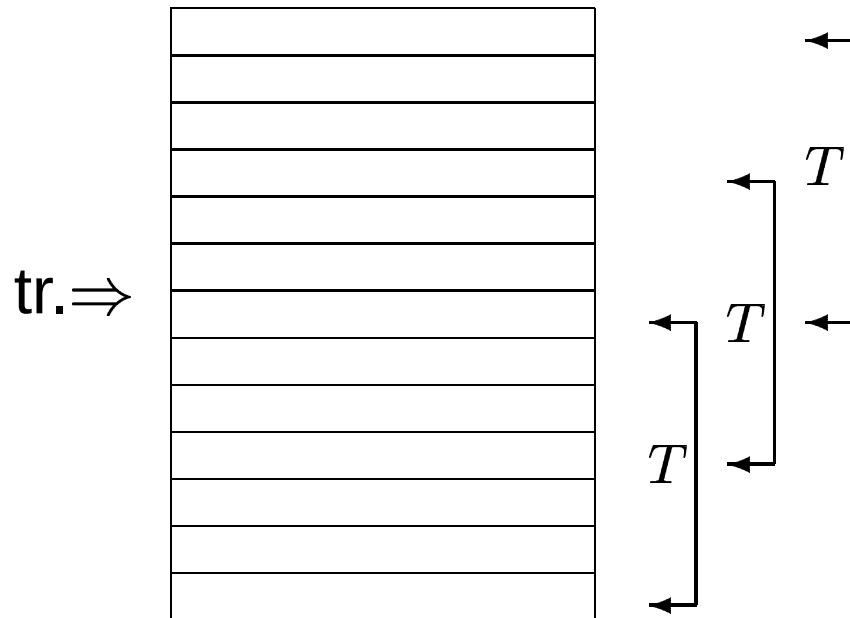
 - sequenziale

Campionamento in tempo reale

- avviene alla massima frequenza di campionamento possibile
- segnale acquisito continuamente;
- anche segnali non ripetitivi, transitorii, ...
- l'evento di trigger determina l'invio al display;

Trigger e visualizzazione

campioni acquisiti continuamente:
(T = intervallo “visualizzato”)



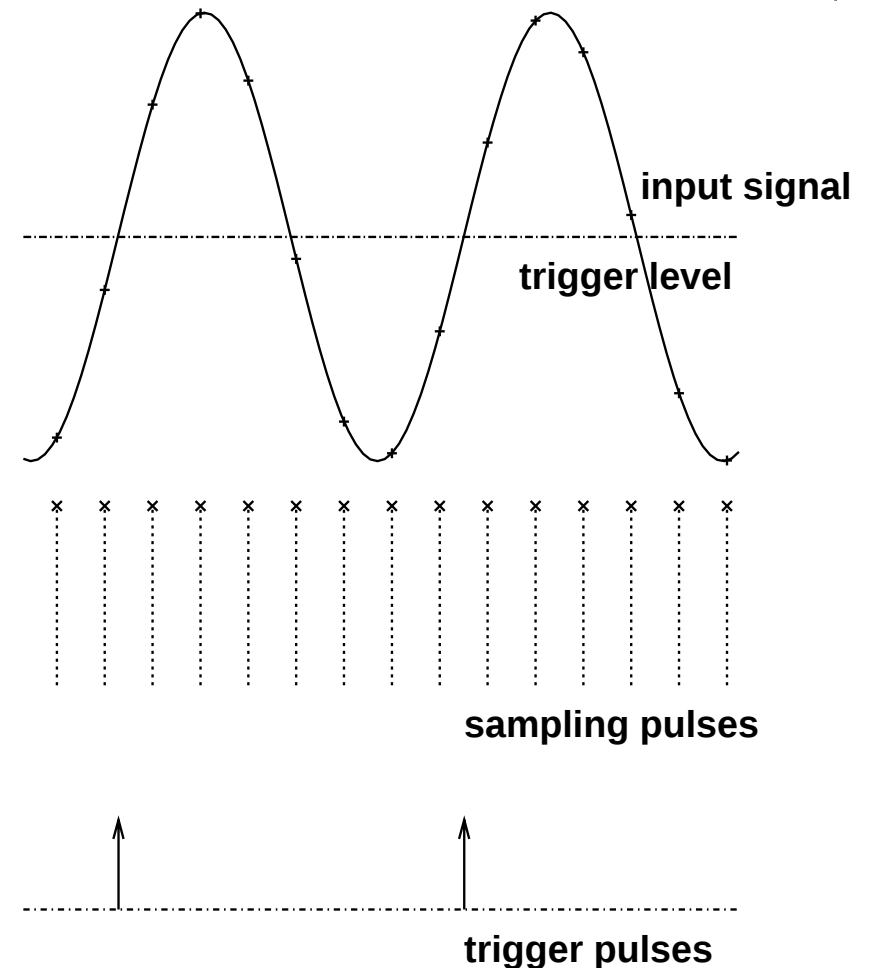
- visualizzazione per tempi negativi (delay)
- differenze con o.a.
- possibilità di visualizzare il segnale prima di una (sua) anomalia
- istante di trigger indicato sul display ($T, \downarrow, \dots$)

Trigger, campionamento e visualizzazione

- L'istante di trigger generalmente non coincide con un istante di campionamento
- La frequenza di campionamento non è generalmente multipla di quella del segnale



- necessità di misurare il tempo tra il trigger e l'istante di campionamento.

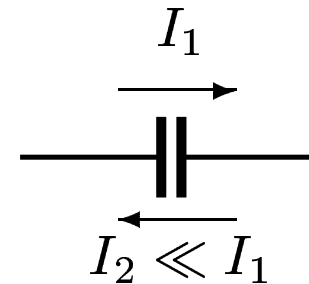
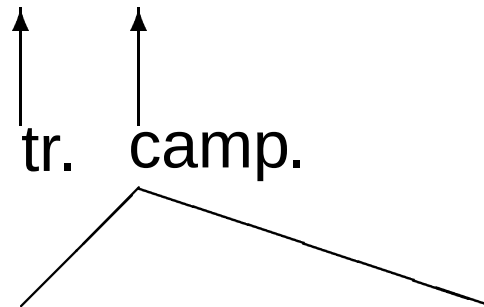


Trigger, campionamento e visualizzazione

- La misura permette di posizionare correttamente i valori del segnale lungo l'asse dei tempi.
- La misura è resa possibile da un segnale di clock a frequenza molto elevata (contatore)

f elevata $\Rightarrow$ migliore risoluzione temporale.

- Possibilità di jitter o ispessimento della traccia per distanze temporali dello stesso ordine del periodo di clock $\rightarrow$ **interpolatore di trigger**



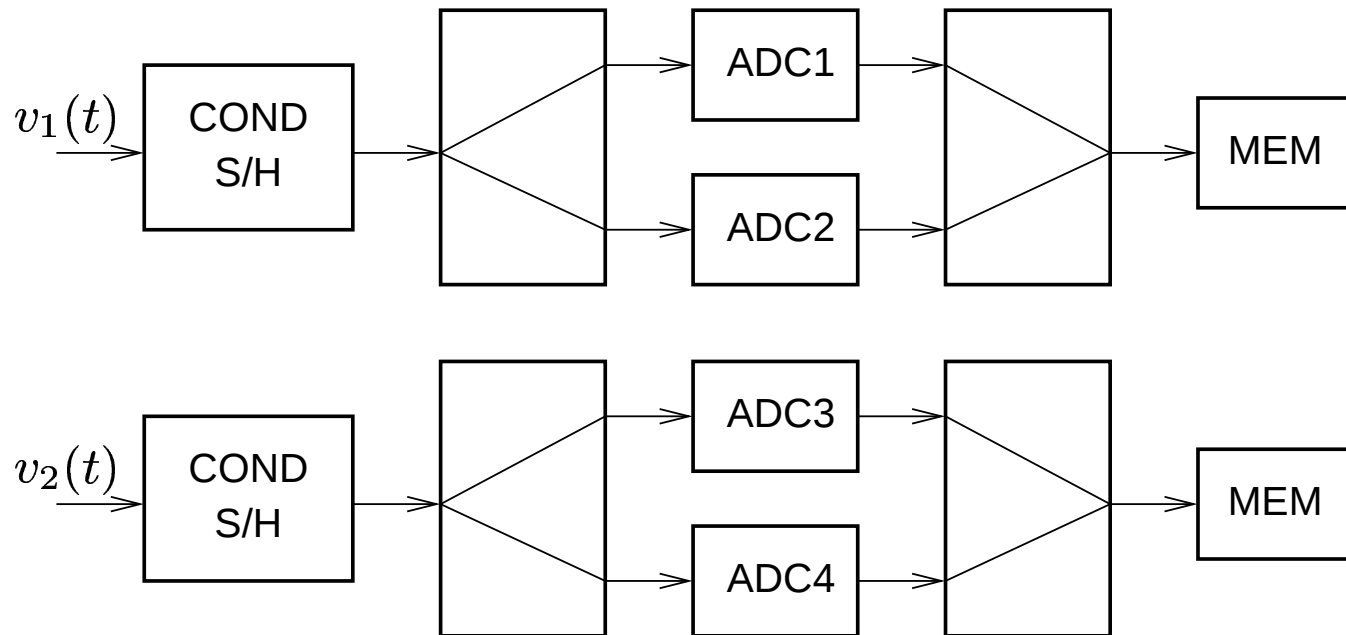
Circuiti di campionamento

- frequenze di campionamento dell'ordine del gigahertz
($f = 2 \text{ GHz} \rightarrow 2 \times 10^9 \text{ Sa/s}, T_C = 500 \text{ ps}$)
- n digitalizzatori per (massimo) n canali

$n = 4$		
canali attivi	digitalizzatori /canale	max vel. acquisizione
4	1	500 MSa/s
2	2	1 GSa/s
1	4	2 GSa/s

Circuiti di campionamento

Esempio: 4 canali disponibili, 2 canali attivi



Campionamento in tempo reale

(riepilogo)

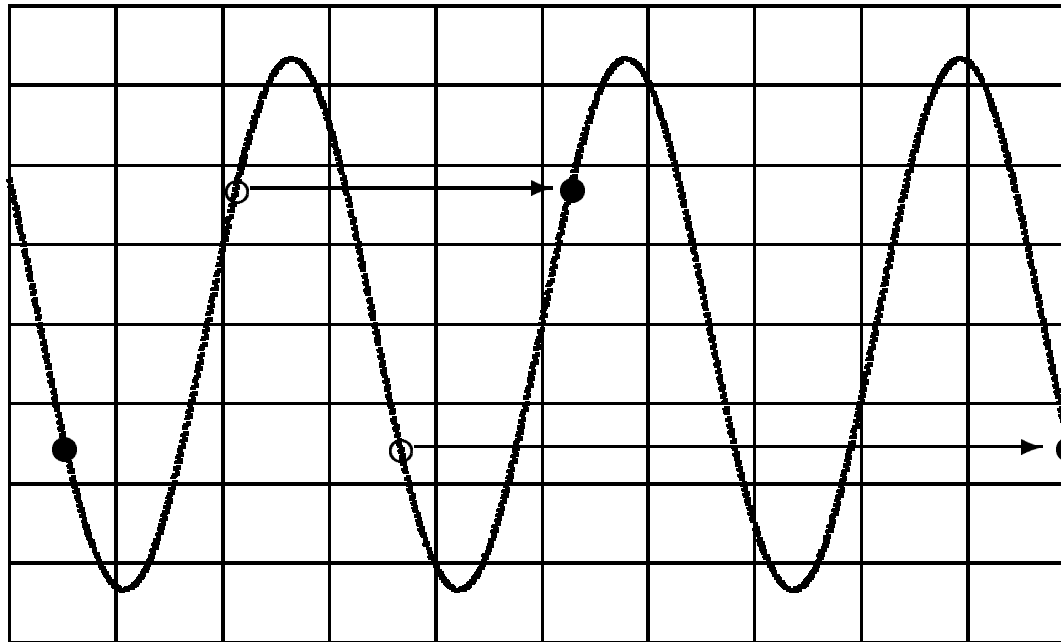
- avviene alla massima frequenza di campionamento possibile
- generalmente il segnale viene acquisito continuamente;
- l'evento di trigger determina l'invio al display;
- anche segnali non ripetitivi, transitorii, ...
- necessità di “rispettare” teor. del campionamento
- aumento della banda → aumento di f_c (\$!)

Campionamento in tempo equivalente

Per segnali ripetitivi

- Campionamento (ripetitivo) casuale
- Campionamento (ripetitivo) sequenziale

In entrambi i casi i campioni del segnale vengono prelevati in **periodi diversi**



Conversione a campionamento

$$T'_C = qT + \frac{T}{n} = \left(q + \frac{1}{n}\right) T = \left(q + \frac{1}{n}\right) \frac{1}{f}$$

$$f'_C = \frac{1}{T'_C} = f \frac{n}{1 + qn} \quad (\text{Es. : } q = 1, n = 2)$$

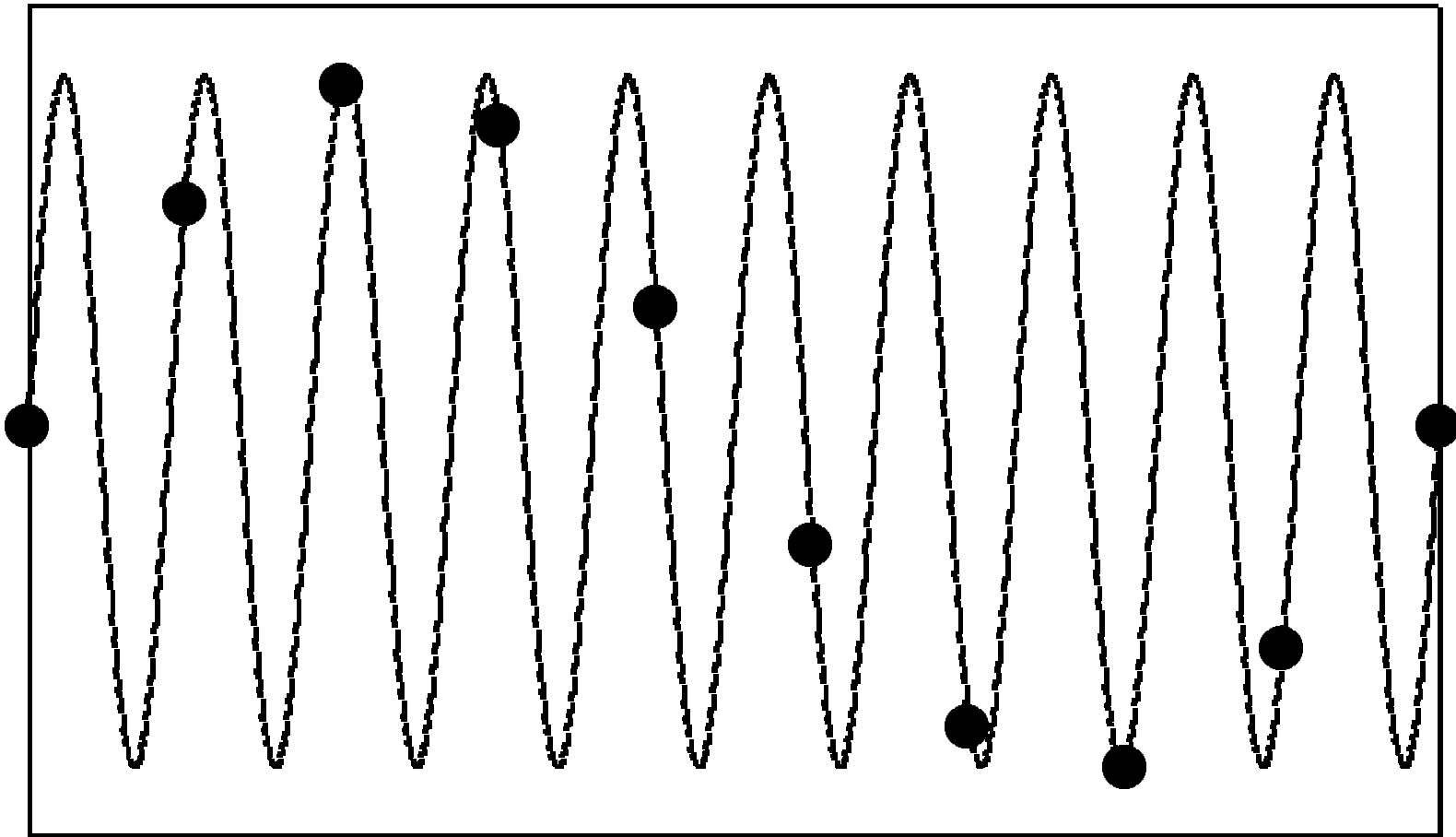
n campioni/periodo

periodo apparente: $T' = nT'_C = T(1 + qn)$.

frequenza apparente:

$$f' = \frac{1}{T'} = \frac{f}{1 + qn} = f \left(1 - \frac{qn}{1 + qn}\right) = f - qf'_C.$$

Conversione a campionamento

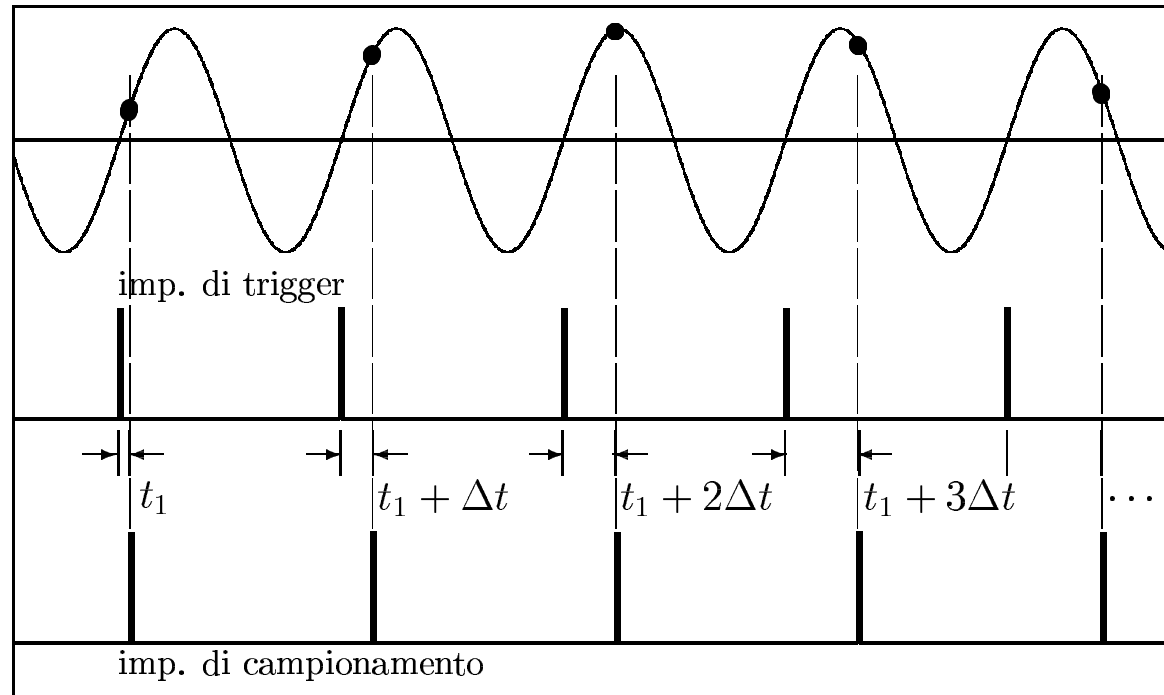


Campionamento casuale:

- *clock* interno opera in modo asincrono rispetto al *trigger*
- campioni acquisiti continuamente e visualizzati secondo la distanza temporale tra campione e *trigger*
- frequenza di campionamento non costante
- modulata in modo aleatorio → trama fitta
- → interpolazione generalmente inutile
- ! lungo tempo di acquisizione per segnali lenti
- ! misura del ritardo rispetto all'evento di trigger

Campionamento sequenziale

- campione acquisito con un ritardo noto rispetto all'evento di trigger
- il ritardo aumenta a ogni nuova acquisizione



- accuratezza nella generazione del ritardo (fino a 10 fs!)

Operazioni sui segnali

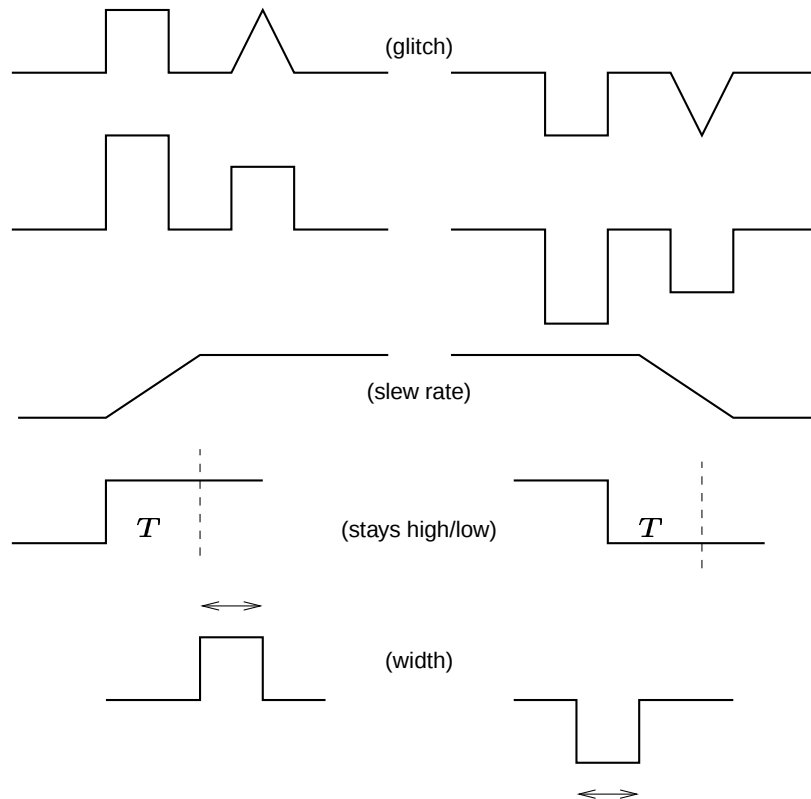
- svolte in modo numerico (via software)
 - $T, V_{pp}, V_{DC} \rightarrow$ autoscale
 - $f, V_{eff}, t_{sal}, t_{disc}, \dots$
 - duty-cycle, Δt ,
 - $A \pm B, d/dt, \int dt, \text{FFT} \dots$
 - medie su n acquisizioni (v. osc. analogico)
 - ...
 - calibrazione

Modalità di trigger

- Edge

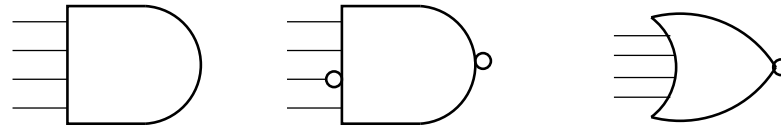


- Pulse

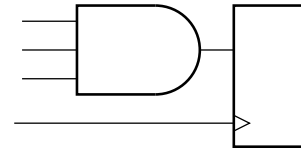


Modalità di trigger

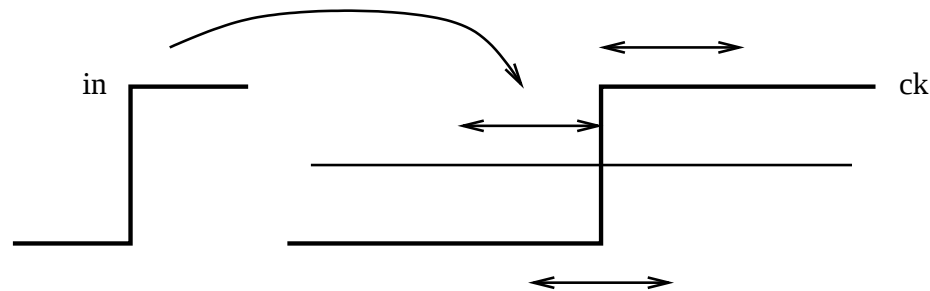
- Logic
 - pattern



- state



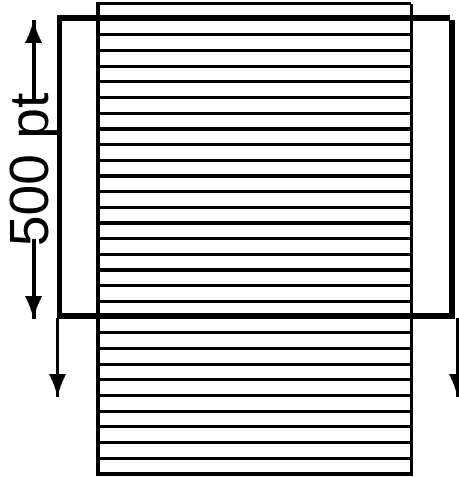
- setup-hold



- Video: impulso di sincronismo orizzontale o verticale di segnale video (PAL, SECAM, NTSC ...)

Altre modalità di funzionamento

- ROLL (per segnali lenti rispetto alla velocità di rinfresco del display)



Varie

- Sonde attive
- Oscilloscopio su PC (sch. di acquisizione)
- Sistema operativo su oscilloscopio
- Oscilloscopi portatili (palmari)

Caratteristiche

Scelta

- banda ! (t. reale e t. equivalente)
- n. canali
- freq. di campionamento ($2f_H, 3 \div 5f_H, 10f_H$ (no interpol.))
- profondità di memoria
- modalità di trigger
- sonda ($H(f)$)
- interfaccia (display, GPIB, ecc.)
- possibilità di lavorare con segnali digitali

Agilent U1602A/U1604A Handheld Digital Oscilloscope

Scope SPECIFICATIONS^[1]

Bandwidth (-3 dB)	20 MHz (U1602A)
	40 MHz (U1604A)

Scope CHARACTERISTICS^[2]

Acquisition: Scope channels^[2]

Maximum sample rate	200 MSa/s interleaved, 100 MSa/s each channel
Equivalent sample rate	2.5 GSa/s
Vertical resolution	8 bits
Maximum memory depth	125 kilobytes/channel
Average	2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 (selectable)

Vertical System: Scope channels^[2]

Analog channels	2, simultaneous acquisition
Single shot bandwidth	20 MHz (U1602A) 40 MHz (U1604A)
Vertical sensitivity	5 mV/div to 100 V/div (1:1 scope probe) 50 mV/div to 1 kV/div (10:1 scope probe) 500 mV/div to 10 kV/div (100:1 scope probe)
Input Impedance	1 M Ω < 20 pF
Coupling	AC, DC, GND
Probes	U1560-60001: 500 MHZ 1:1 passive probe U1561-60001: 500 MHZ 10:1 passive probe
Probe attn. factor	1x, 10x, 100x
Noise peak-to-peak	3% of full scale or 5 mV, whichever is greater
Single cursor accuracy	4% full scale
Dual cursor accuracy	4% full scale

Horizontal System

Range	50 ns to 50 s/div (U1602A) 10 ns to 50 s/div (U1604A)
Delay range (pre-trigger)	15 divisions
Delay range (post-trigger)	1000 divisions
Modes	Main, XY, Roll

Trigger System

Source	Channel 1 and Channel 2
Selections	Edge, pulse width, pattern, video

^[1] All specifications are warranted; specifications are valid after a 30-minute warm-up period and within $\pm 10^{\circ}$ C from firmware calibration temperature

^[2] All characteristics are typical performance value and are not warranted; specifications are valid after a 30-minute warm-up period and within $\pm 10^{\circ}$ C from firmware calibration temperature