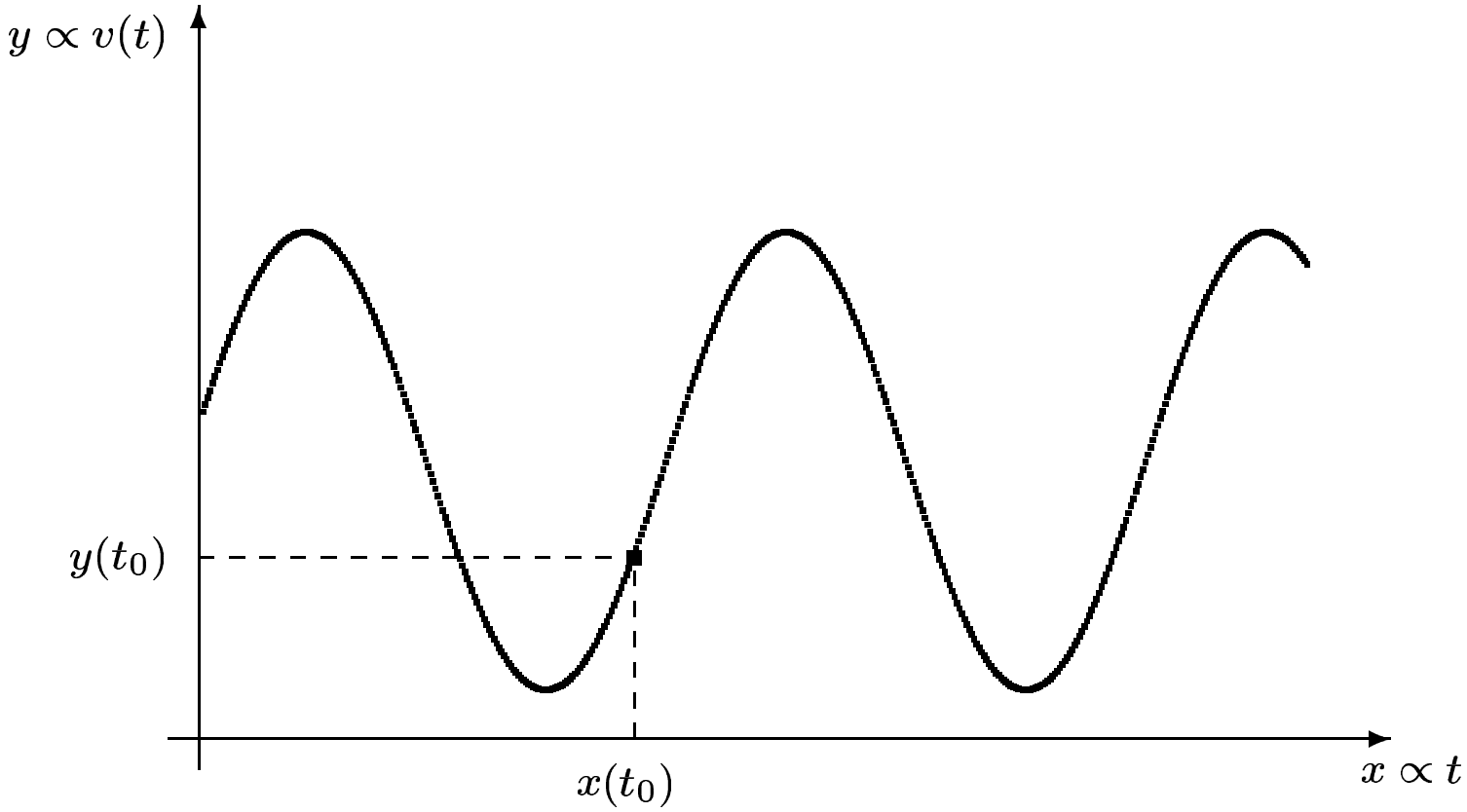
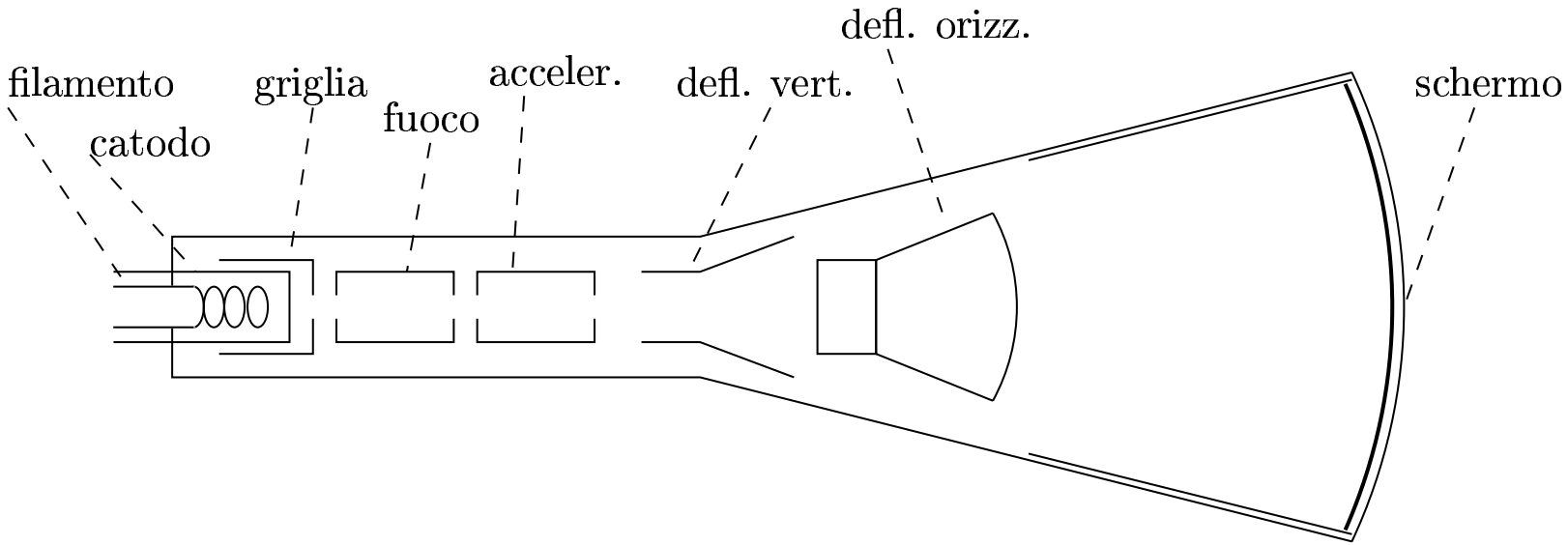
# Oscilloscopio

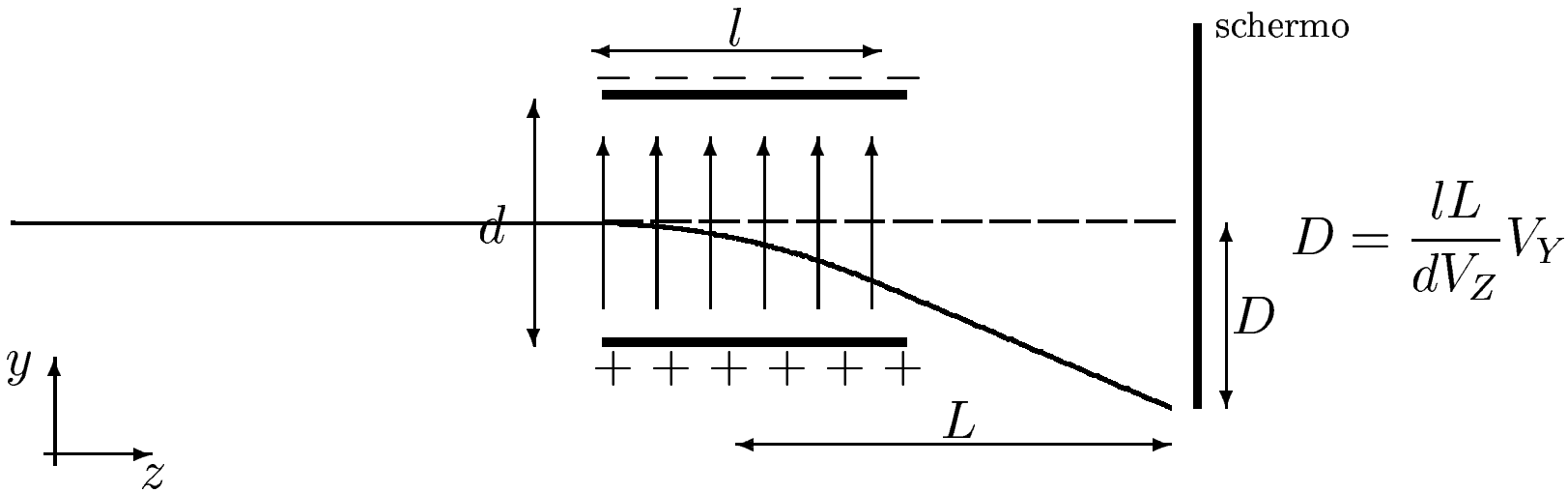
## Rappresentazione dell'andamento temporale di tensioni

$$\begin{cases} x(t) = At \\ y(t) = Bv(t) \end{cases} \quad \Rightarrow \quad y = Bv\left(\frac{x}{A}\right)$$



# Tubo a raggi catodici



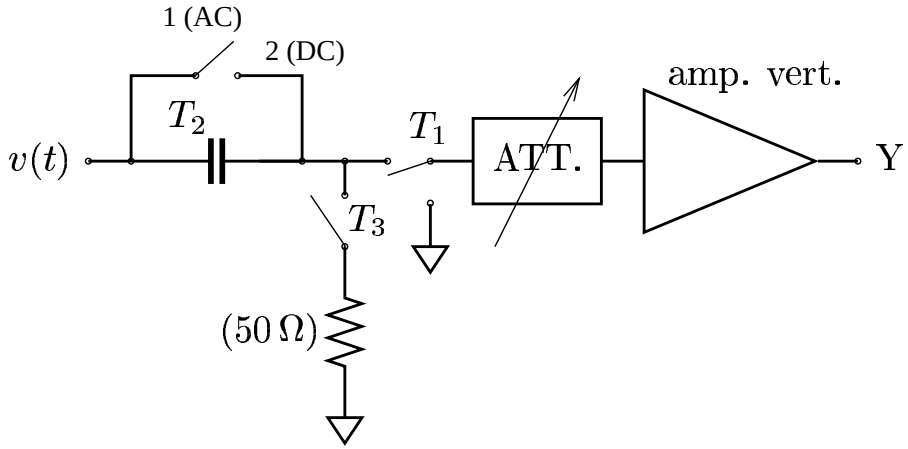
# Controlli fondamentali

- Sensibilità del t.r.c.: $S = \dfrac{D}{V_Y} \simeq 1\,\mathrm{mm/V} \quad \left(\dfrac{\Delta \mathrm{v}}{\Delta \mathrm{y}}\right)$

$\rightarrow$ date le dimensioni dello schermo, si ha normalmente la necessità di amplificare la tensione $v(t)$

- segnali diversi richiedono amplificazione in misura diversa

$\rightarrow$ regolazione della sensibilità (V/div)

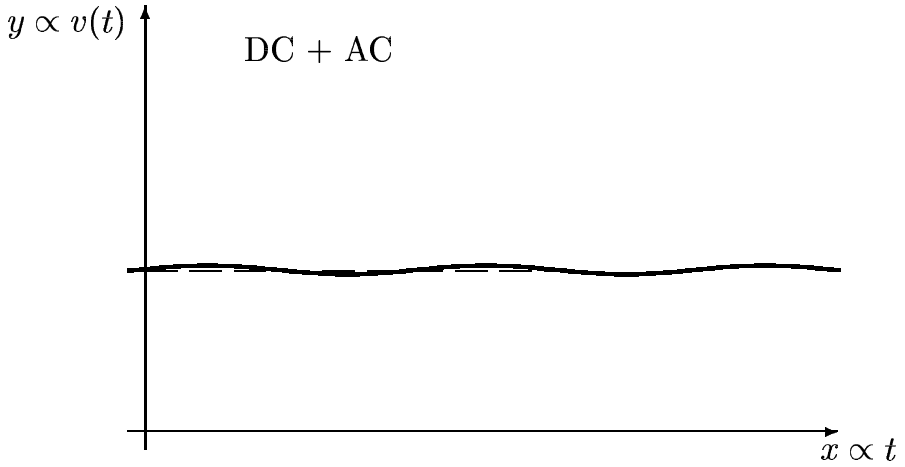


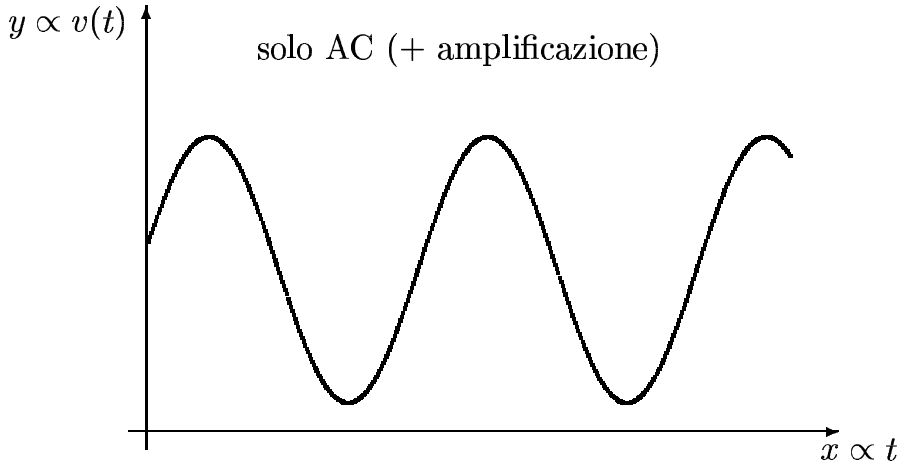

$T_1$ : disattivazione canale (posizione verticale: invio di segnale nullo)

- Resistenza d'ingresso $R_{in} = 1\,\mathrm{M}\Omega$ (o $50\,\Omega$)

# Controlli fondamentali (2)

- Accoppiamento AC/DC

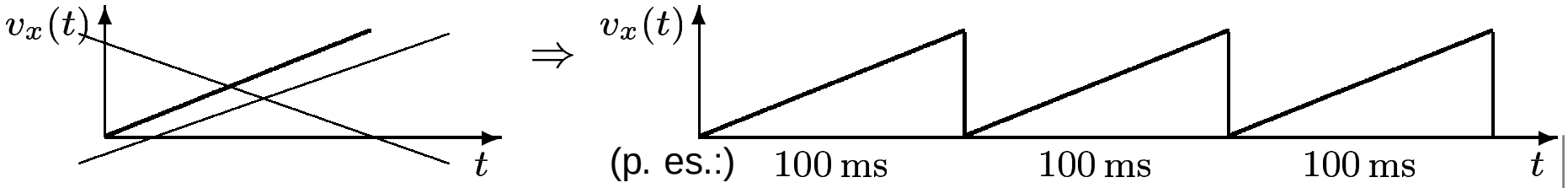


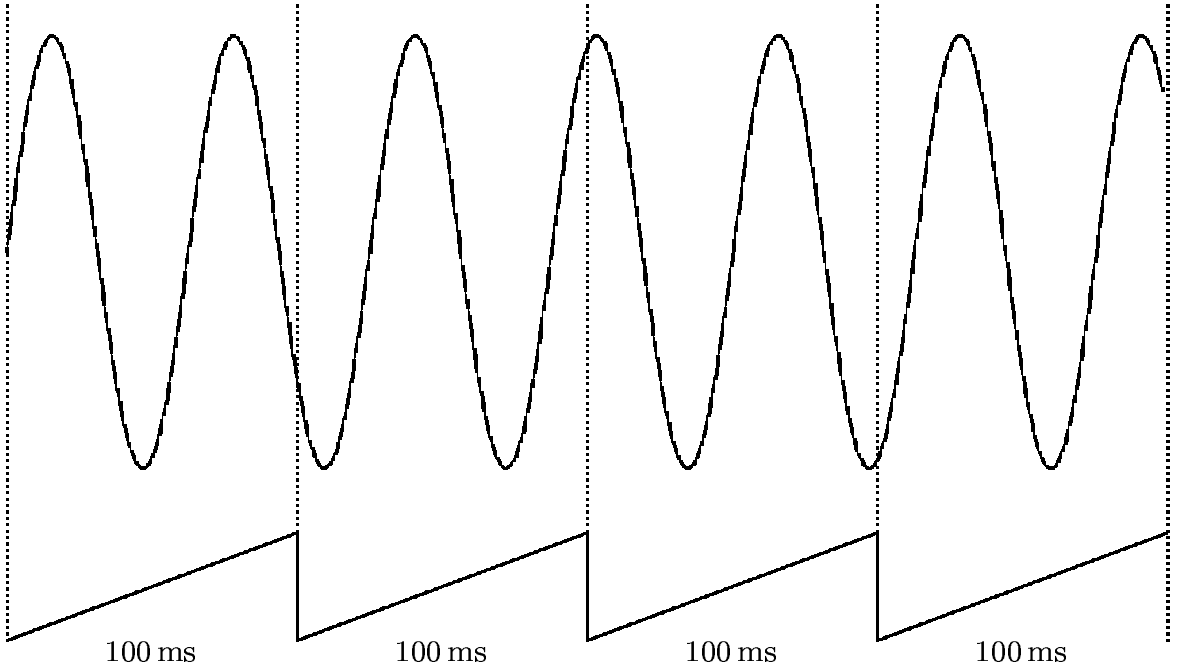

- possibilità di regolare la durata della scansione orizzontale

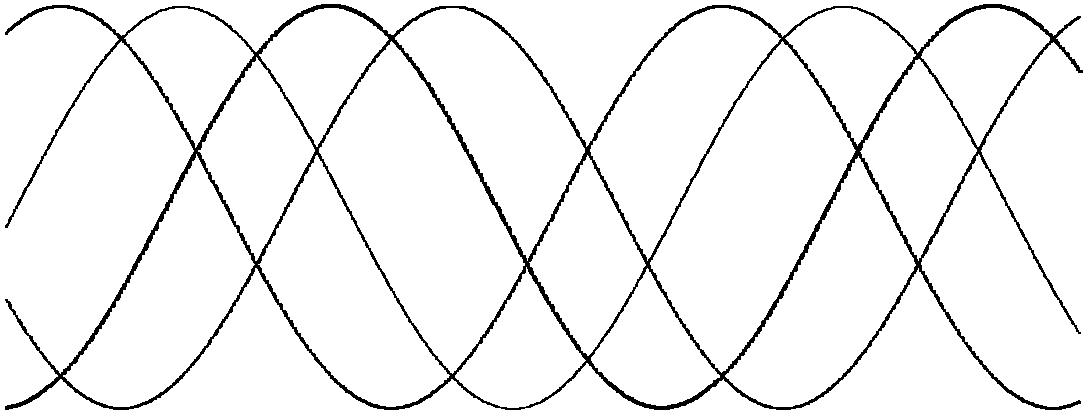
$\rightarrow$ base dei tempi: $x(t) = At$ $1/A$ : sec/div

- necessità di rinfresco dell'immagine
- la scansione orizzontale è pilotata in modo ripetitivo

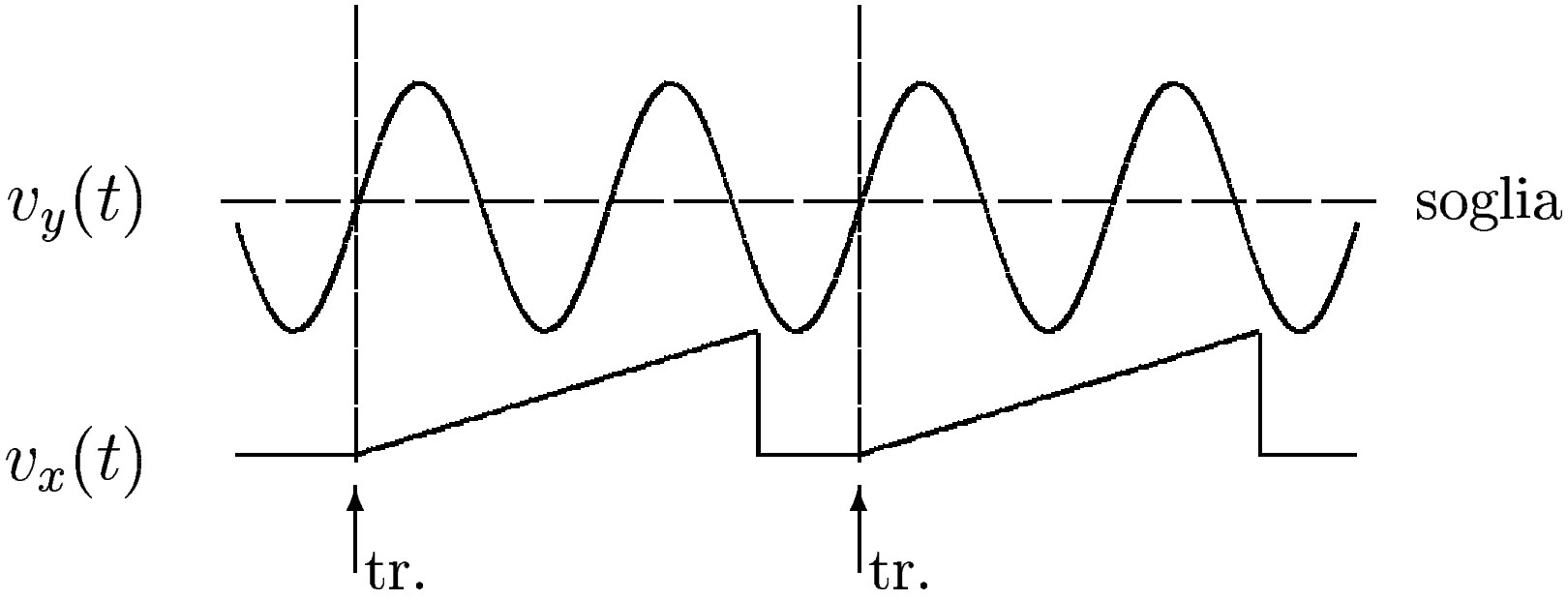


# Sincronizzazione della scansione orizzontale



# Sistema di trigger




- *trigger*: segnale di sincronismo;
- generato da apposito circuito (a soglia);
- la soglia (e il segno della pendenza) sono selezionabili dall'utente;
- il segnale di trigger può essere inviato dall'esterno.

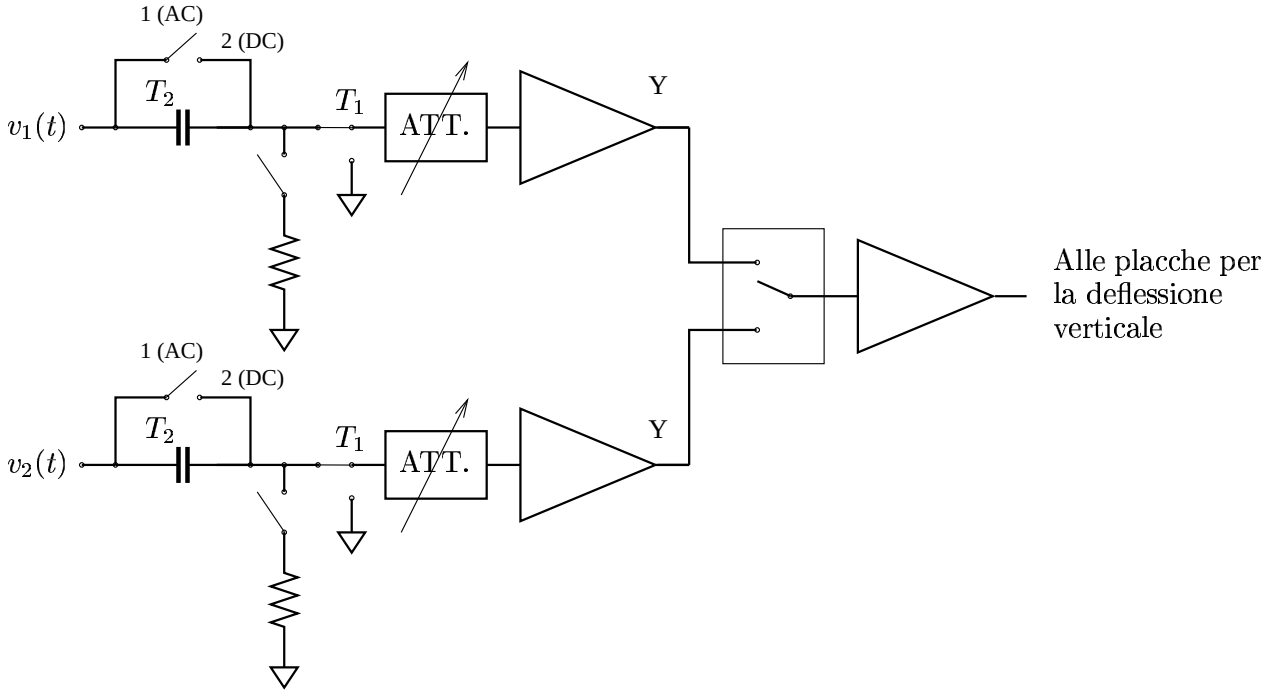
# Altri controlli

**Controllo dell'asse $z$:**

- possibilità di "spegnere" il pennello elettronico (durante il *flyback*);
- possibilità di intensificare la traccia.
- messa a fuoco

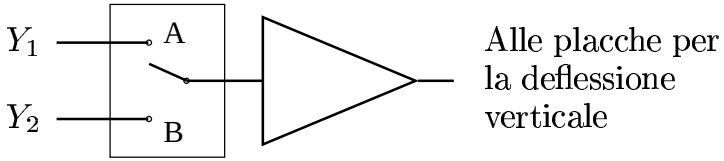
# Oscilloscopi a doppia traccia

- Replica dei circuiti di condizionamento del segnale:

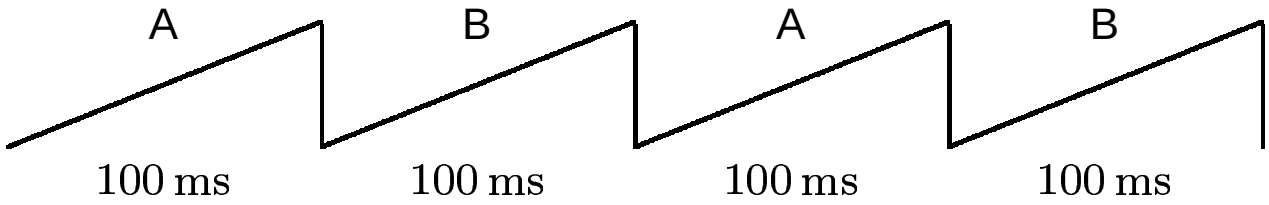



- e commutatore per il pilotaggio dell'"amplificatore verticale"
- oppure doppio pennello elettronico e due coppie di placche per la deflessione verticale (più costoso e poco frequente).

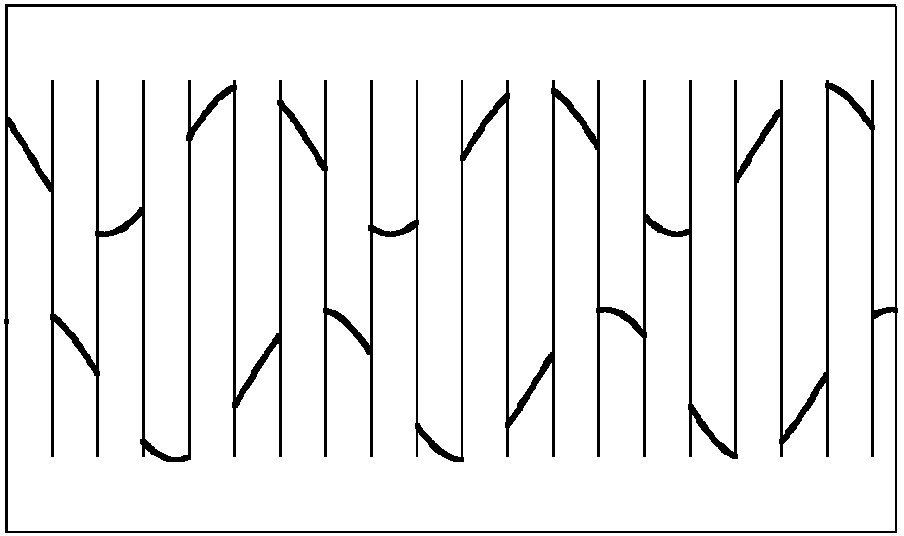
# Osc. doppia traccia - modalità di visualizzazione




- modalità *alternate*

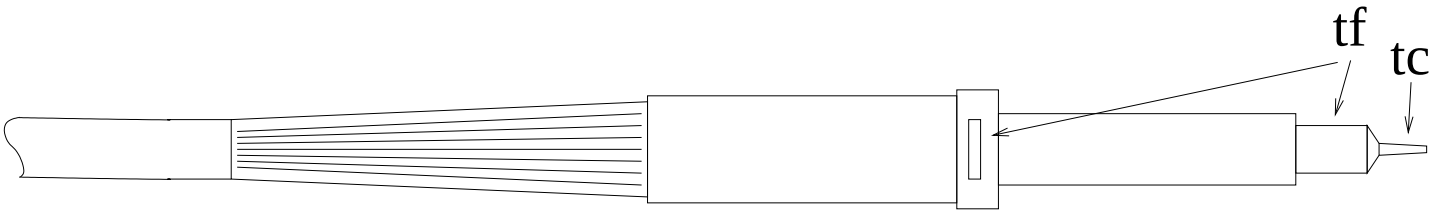



- modalità *chopped*



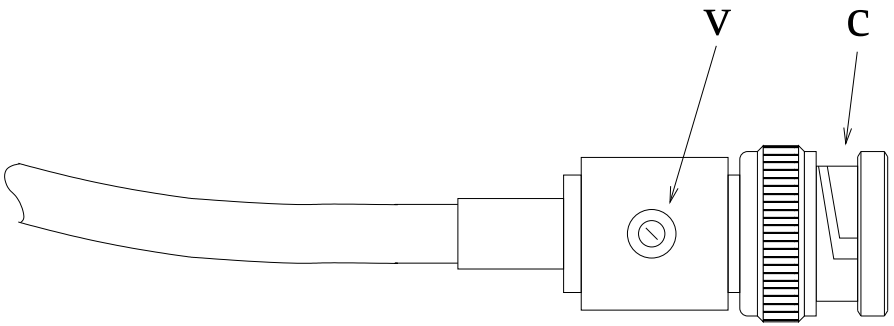
# Sonde per oscilloscopi

- puntale:




  - tc: terminale caldo (+)
  - tf: terminale freddo (riferimento)

- lato connettore:

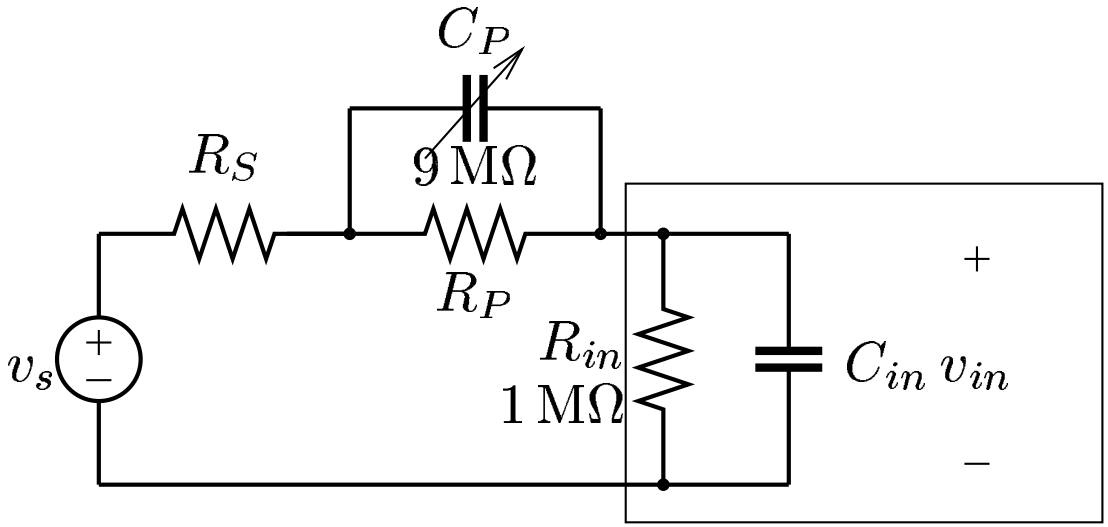



  - v: vite per la compensazione;
  - c: connettore BNC

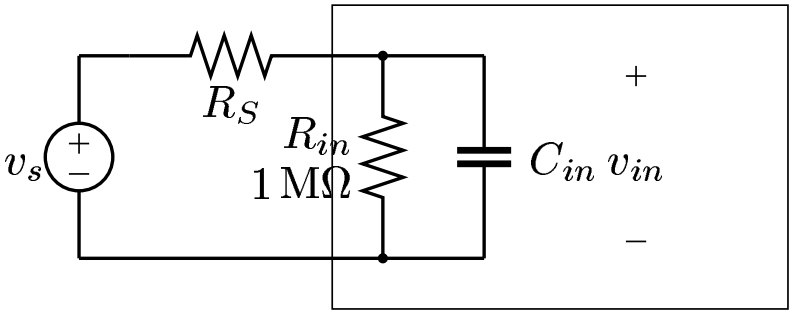
# Sonde compensate

- La sonda è un attenuatore compensato

  (ad attenuazione variabile); es.: 1:10:




$$A(0) = \frac{R_{in}}{R_S + R_P + R_{in}} \simeq \frac{R_{in}}{R_P + R_{in}} \quad \text{se} \quad R_S \ll R_P + R_{in}$$



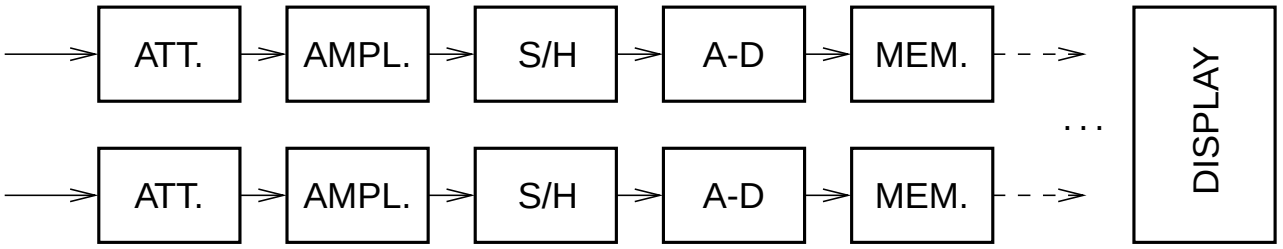

$$A(0) = 1 \quad \text{se} \quad R_S \ll R_{in}$$

# Oscilloscopio numerico

(Schumann's folly)

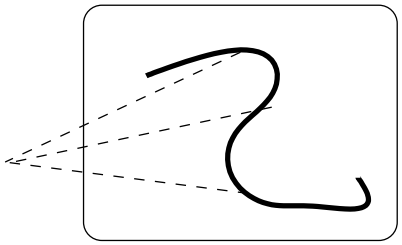
Schema di principio:

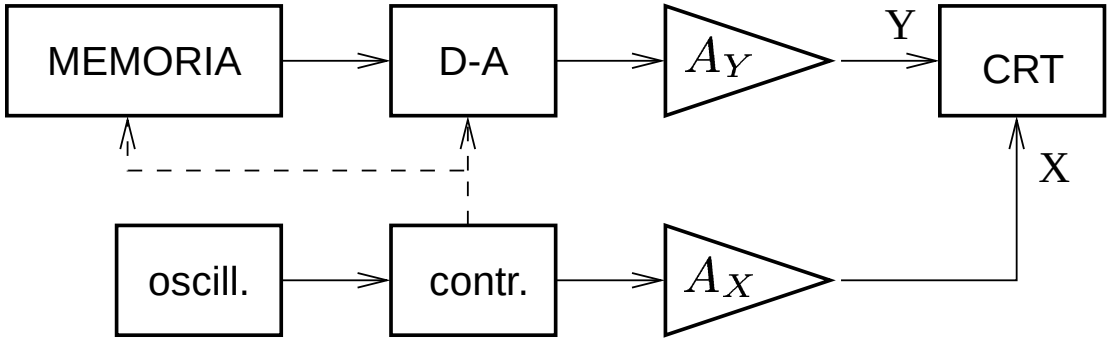
- attenuazione/amplificazione;
- campionamento (S/H) e conversione A/D;
- memorizzazione dei campioni
- ...
- visualizzazione



# Modalità di scansione

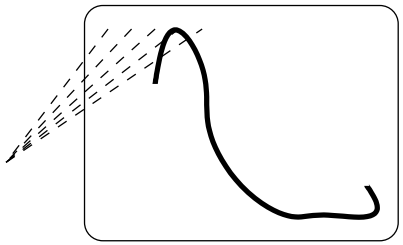
## Scansione vettoriale

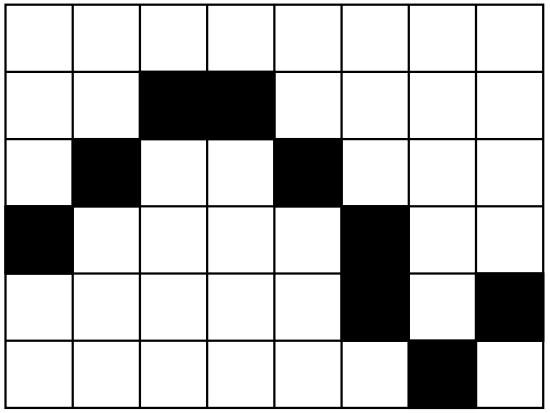


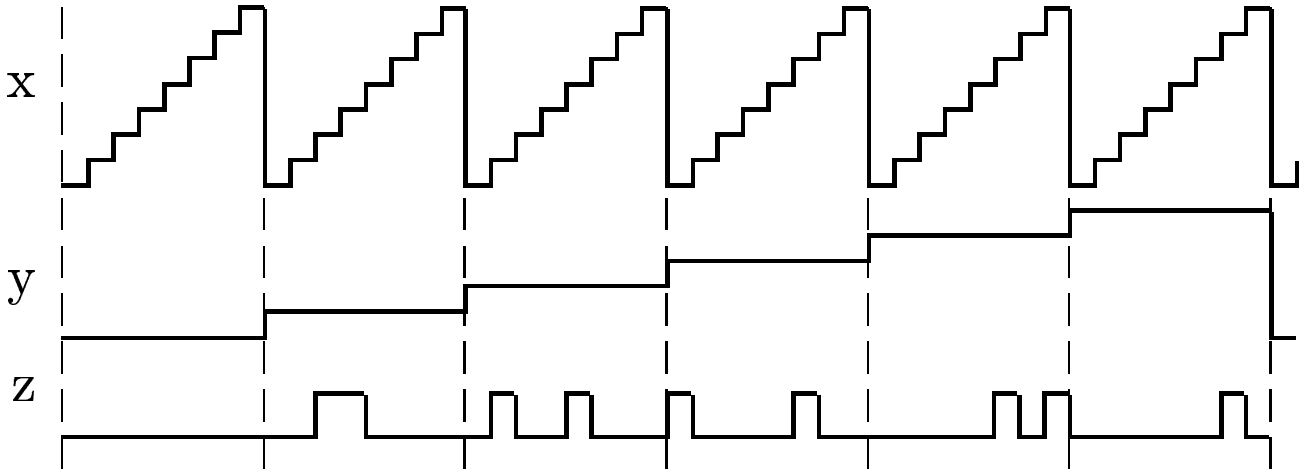


# Modalità di scansione

Scansione raster



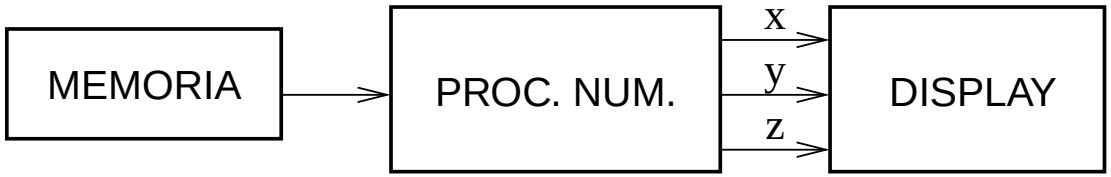





(in realtà scansione per semiquadri)

# Scansione raster

La soluzione . . .



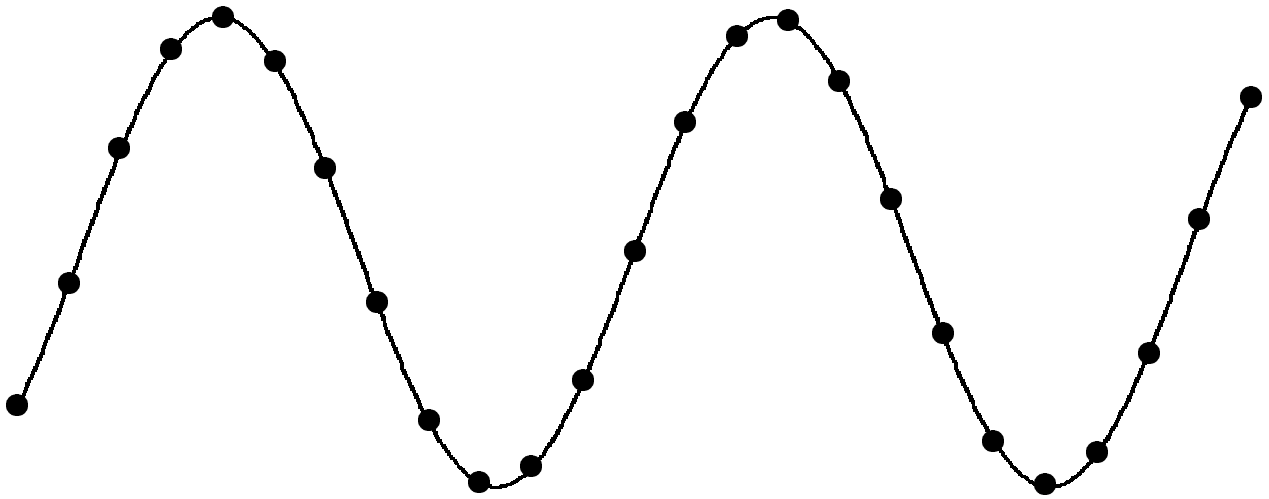

Altre operazioni sui segnali:

- svolte dal processore (in modo numerico, via software)

- $T$, $V_{pp}$ $\rightarrow$ autoscale
- $f, V_{\mathrm{DC}}, V_{\mathrm{eff}}, t_{\mathrm{sal}}, t_{\mathrm{disc}}$, ...
- duty-cycle, $\Delta t$,
- $A \pm B, d/dt, \int dt$, FFT ...
- medie su $n$ acquisizioni (v. osc. analogico)
- ...

# Campionamento

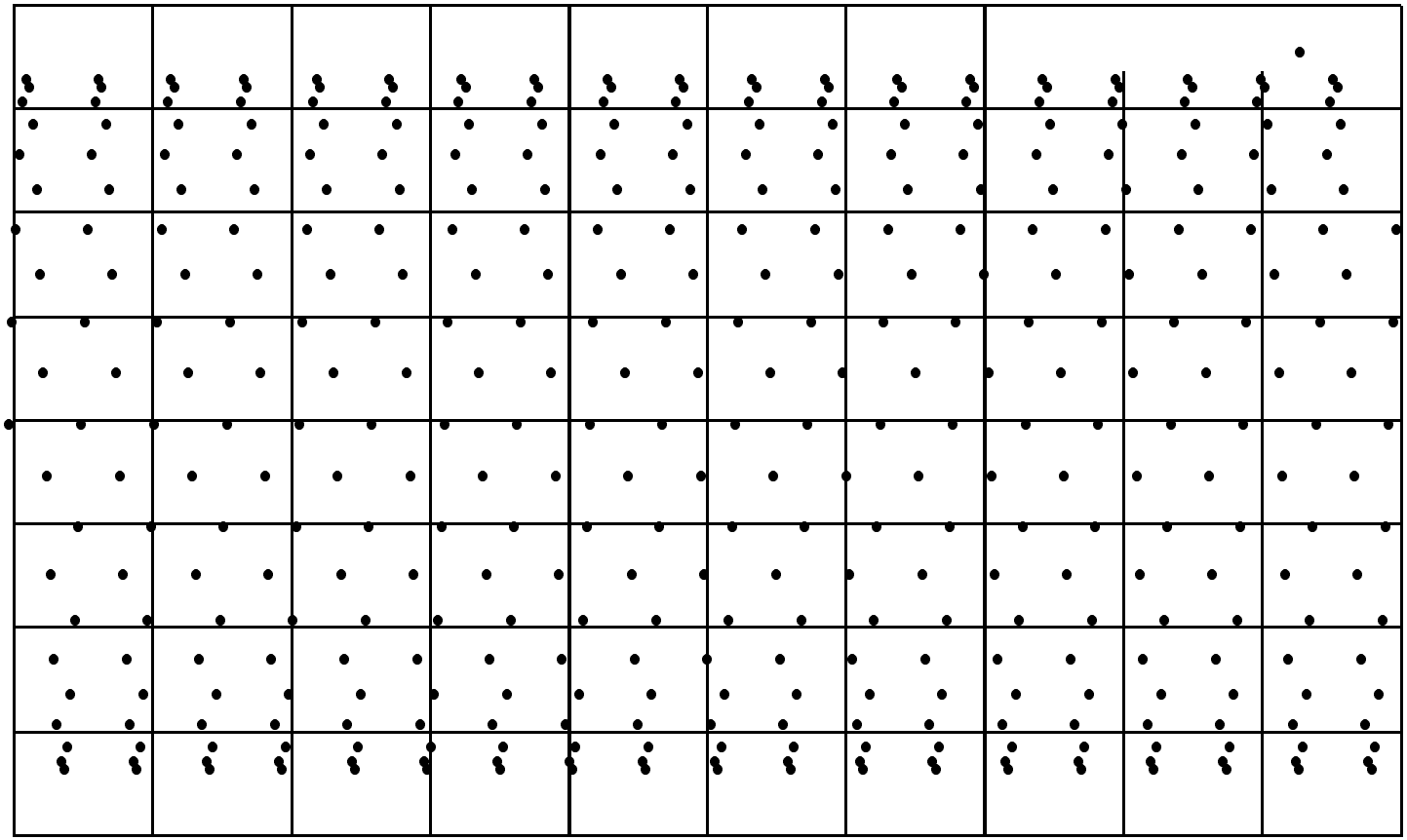
* Processo di conversione di una porzione (record) di segnale in un numero di valori discreti con lo scopo di memorizzarli, elaborarli, visualizzarli, ecc.



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

# Campionamento e alias percettivo

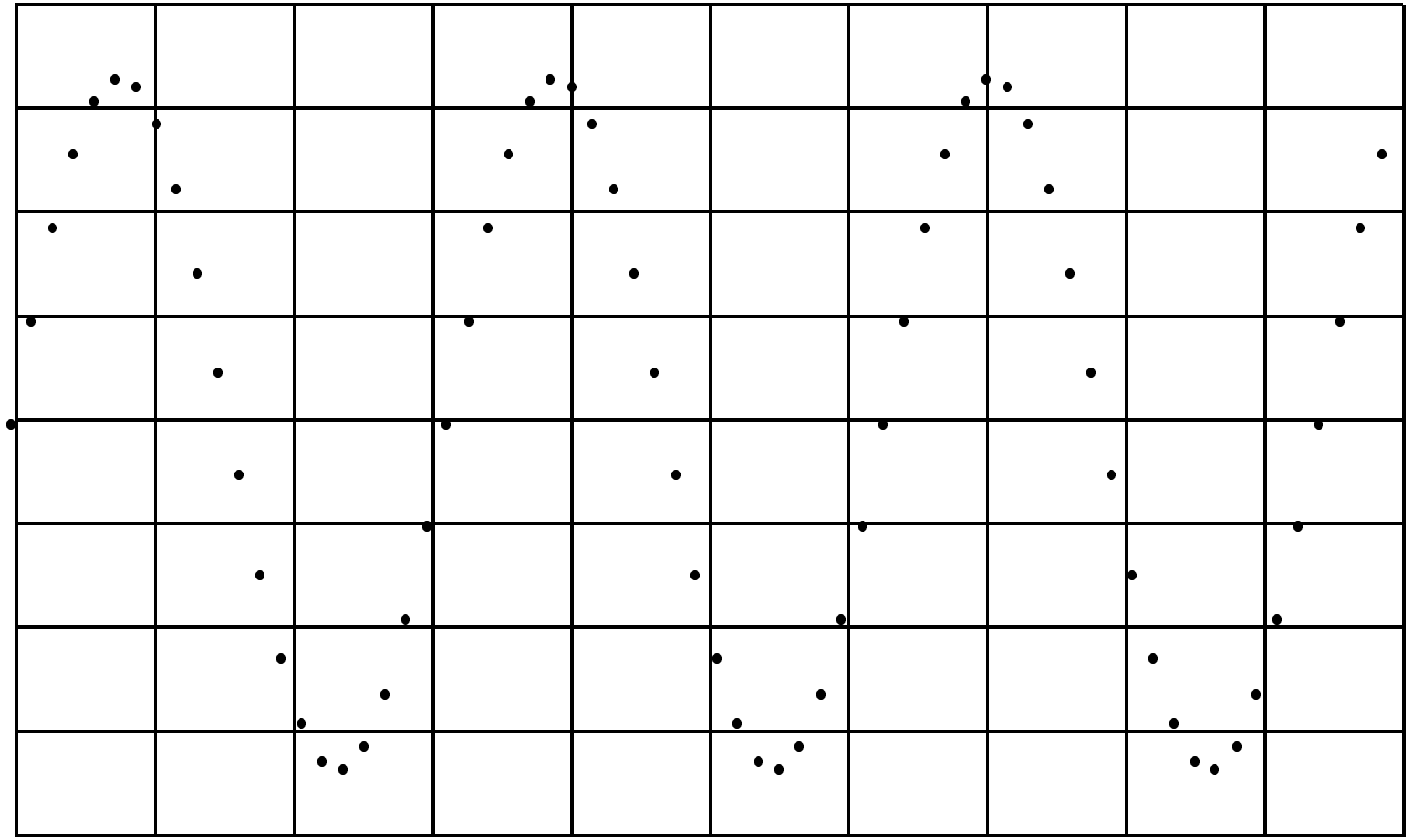
Rappresentazione dei soli punti acquisiti



⇓

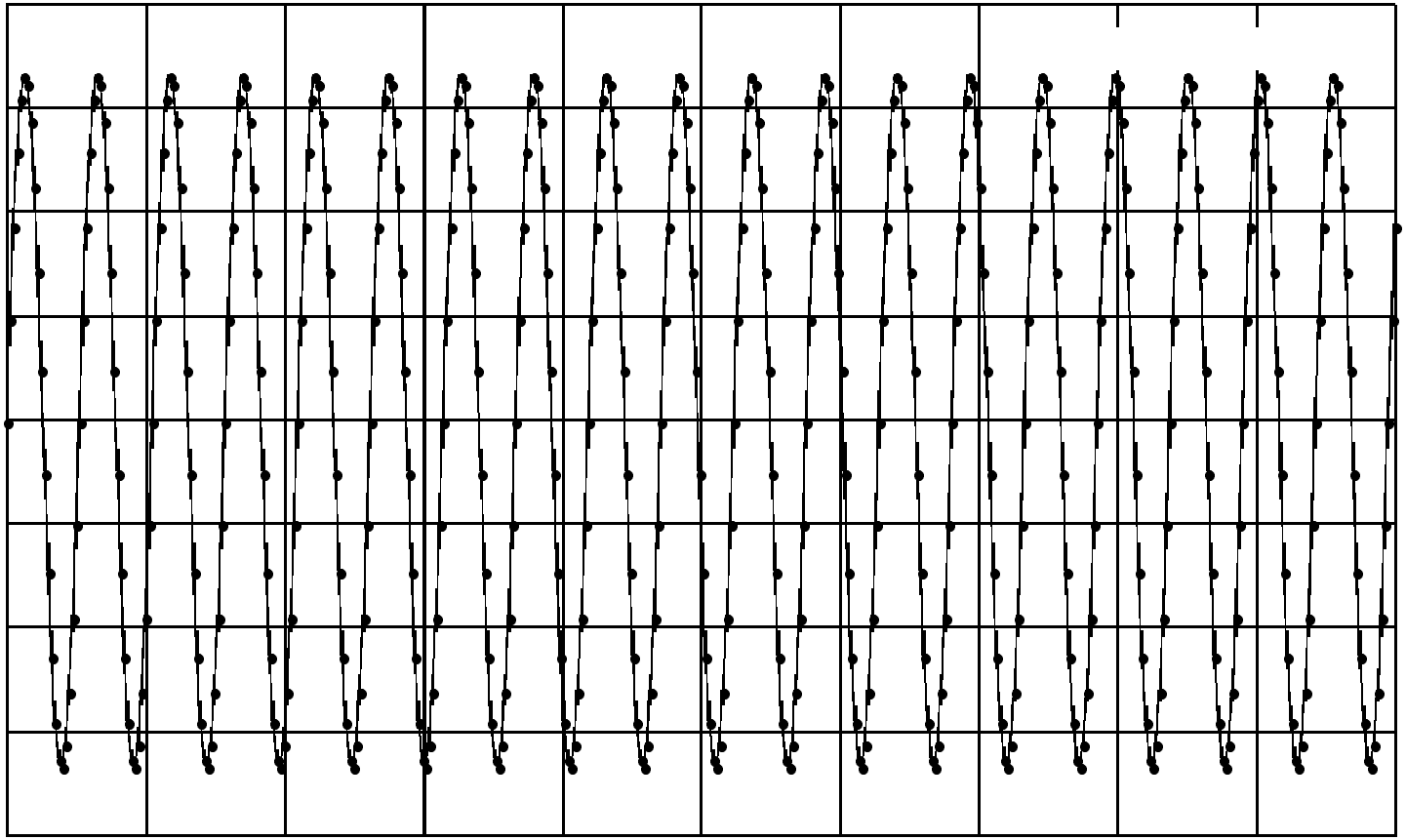
Difficoltà a riconoscere la forma d’onda:

# Alias percettivo



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

# Interpolazione (lineare)

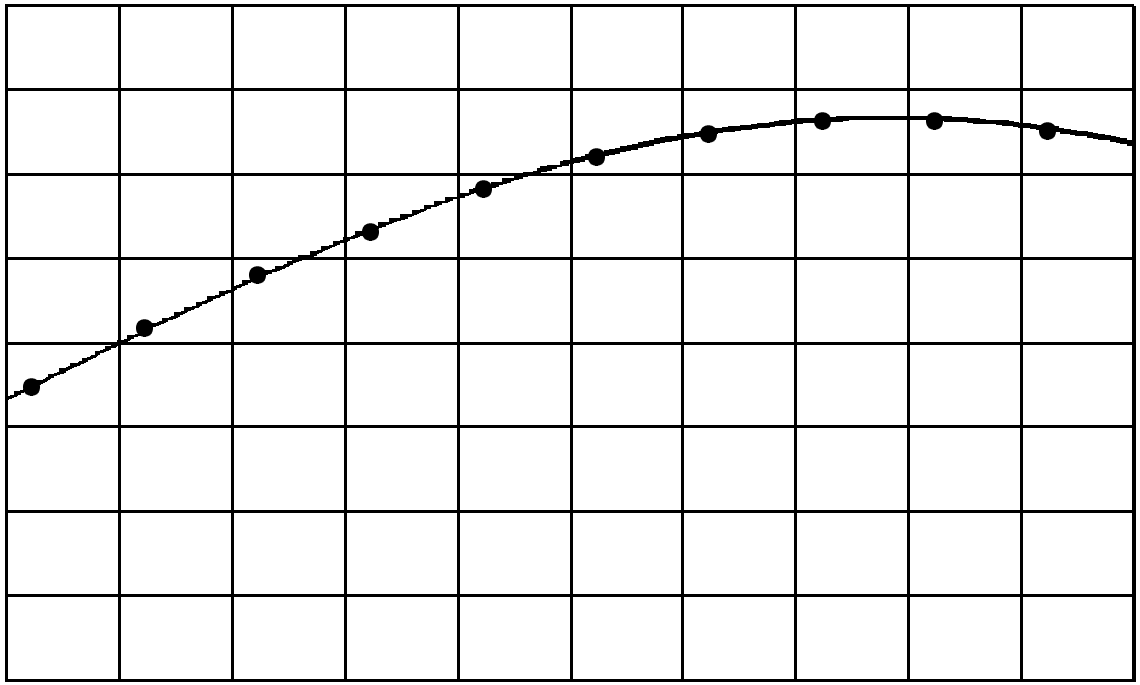


Congiunge i punti (temporalmente) consecutivi (con un segmento)

# Interpolazione

Interpolazione = “aggiunta di punti” nella traccia

(oltre a quelli derivanti dal campionamento).



Come ricostruire la curva quanto più fedelmente possibile?

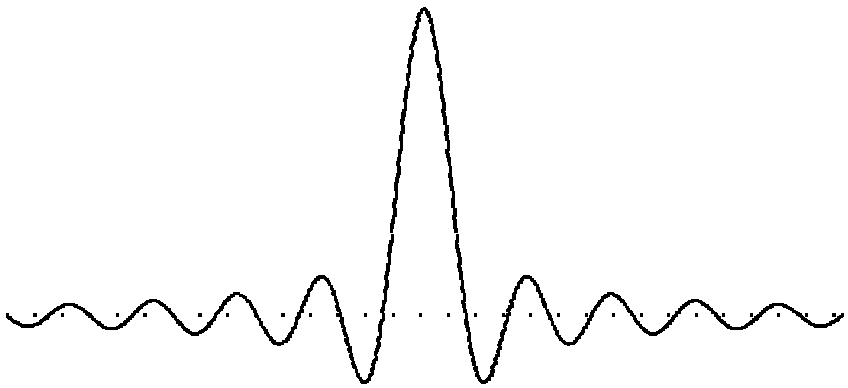
# Interpolazione

**Formula di Nyquist:**

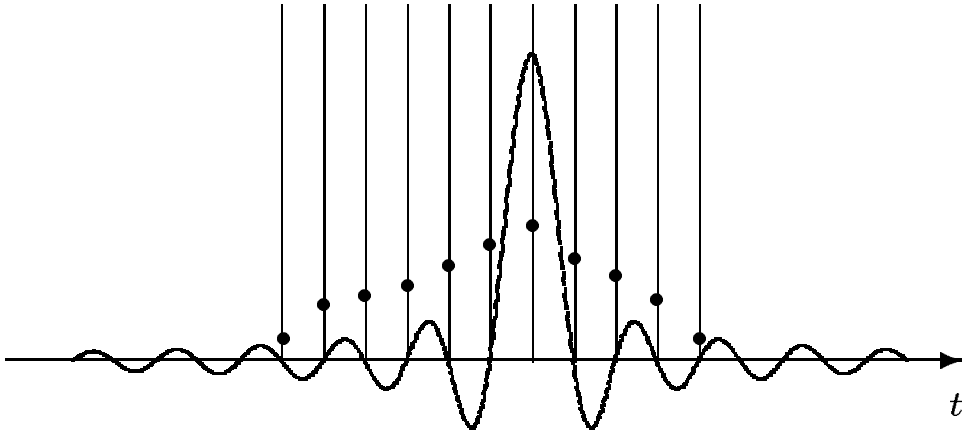
$$y(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} c_i \frac{\sin\left[\pi\left(\frac{t}{T_C} - i\right)\right]}{\pi\left(\frac{t}{T_C} - i\right)} = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} c_i p(i,t)$$

media pesata dei campioni, con funzione peso:

$$p(i,t) = \begin{cases} 1 & \text{per} \quad t = iT_C \\ 0 & \text{per} \quad t = jT_C \quad (j \neq i) \\ \ldots & \quad \text{altrove} \end{cases}$$

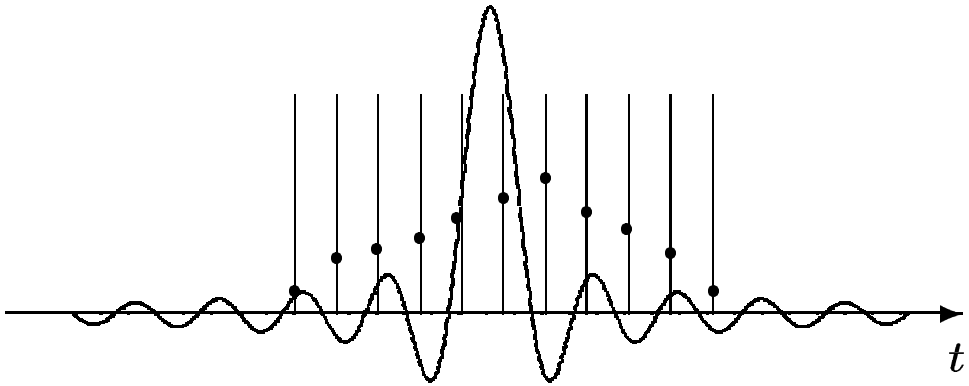


# Interpolazione




ricostruzione in un istante
di campionamento:

— funz. peso
• campioni




ricostruzione
in un istante diverso

# Interpolazione

- l'algoritmo di Nyquist è pesante
- (e impossibile da implementare rigorosamente)

$$y(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} c_i \frac{\sin\left[\pi\left(\frac{t}{T_C} - i\right)\right]}{\pi\left(\frac{t}{T_C} - i\right)} = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} c_i p(i,t)$$

- 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".

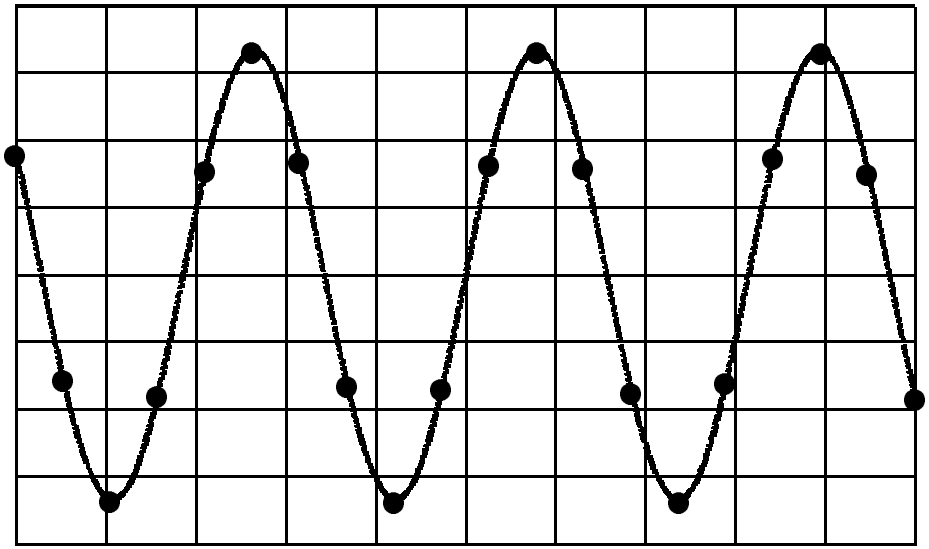
# Teorema del campionamento

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

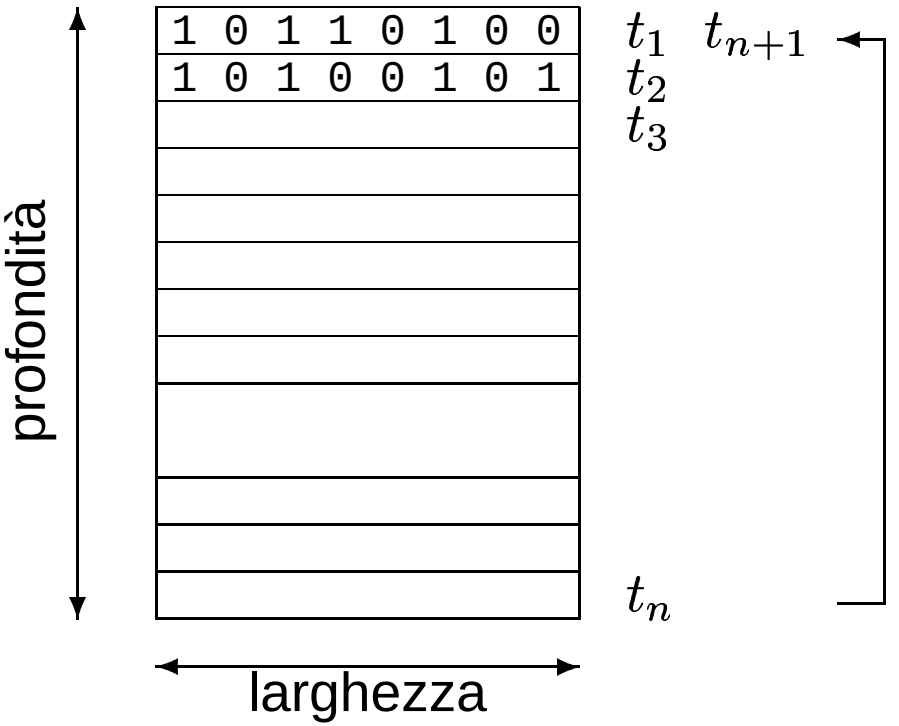
- $s(t) = A\sin(\omega t)$: min 2 campioni/periodo
- onda quadra: min 2 campioni per ogni periodo della max componente spettrale che deve essere correttamente rappresentata (ricostruita).

$$s(t) \rightarrow \boxed{\text{camp.}} \rightarrow \boxed{\begin{array}{c}\text{altro}\\ \text{algoritmo}\end{array}} \rightarrow \simeq s(t) \qquad f_c \geq 2.5 \div 5 f_{max}$$

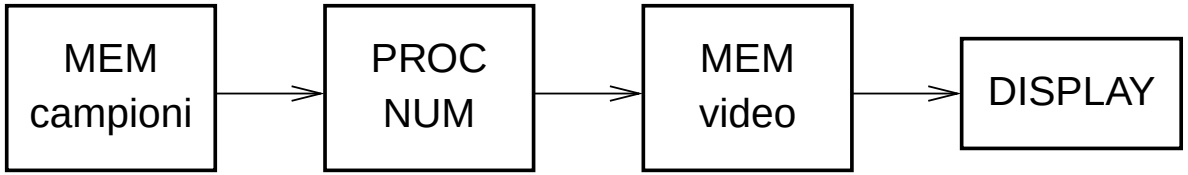
- qualità della ricostruzione dipendente dalla forma del segnale
- Intensified Samples:



# Memoria dati

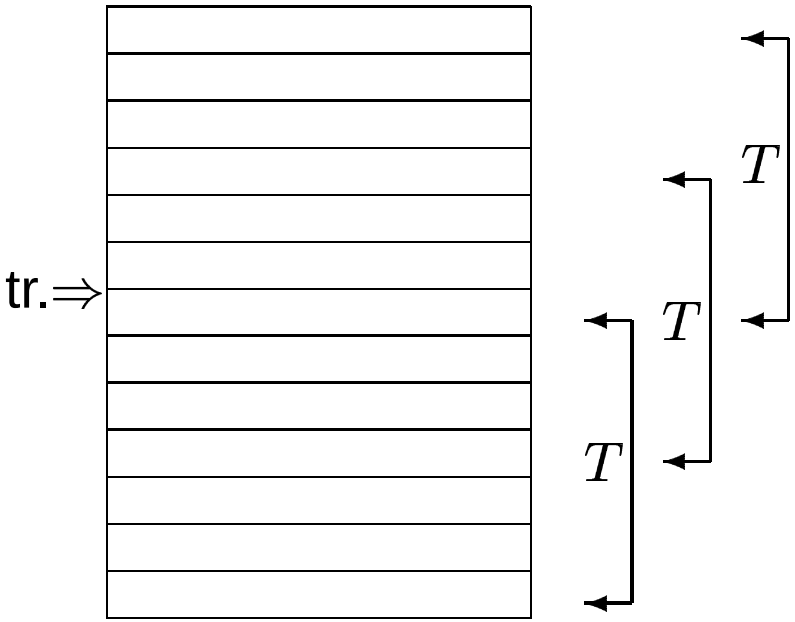



- maggiore profondità $\rightarrow T$ grande;
- memoria ricircolante;
- memoria veloce;
- parametro di merito di un oscilloscopio;



# 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;



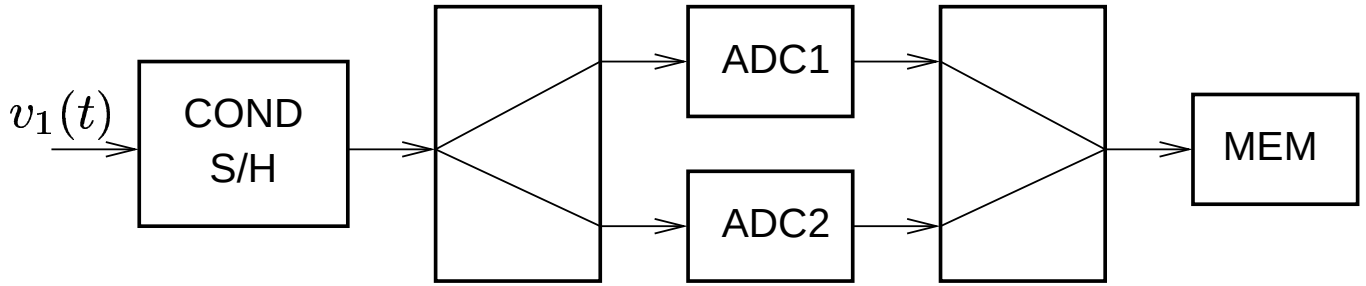

- visualizzazione per tempi negativi (delay)
- differenze con o.a.
- possibilità di visualizzare il segnale prima di una (sua) anomalia
- istante di trigger indicato sul display (T, ↓, ...)

# Circuiti di campionamento

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

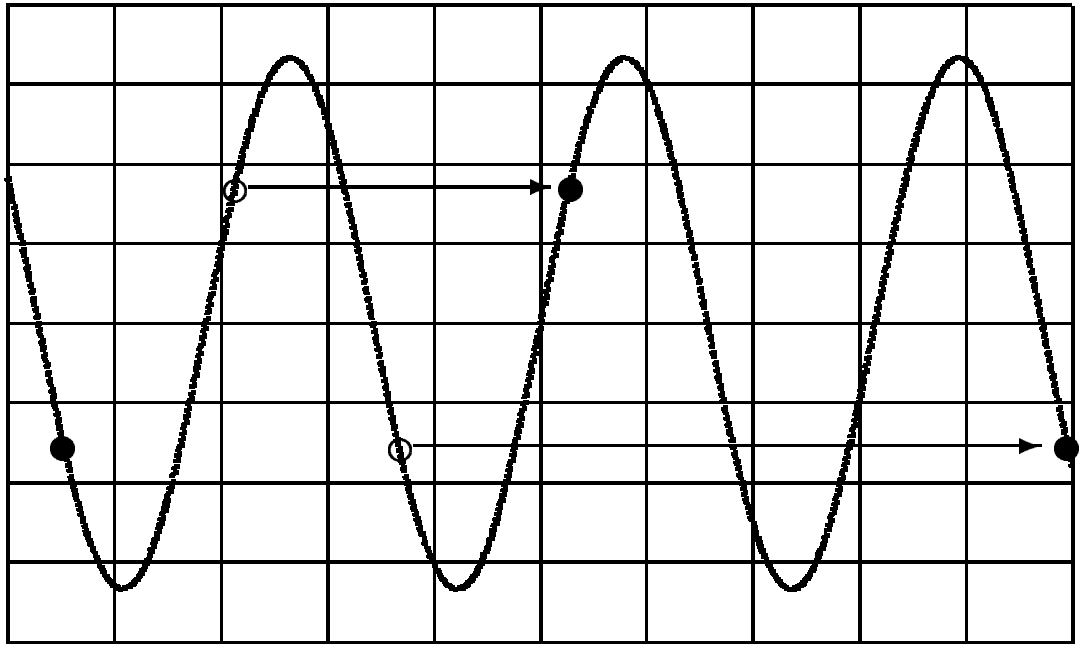
| $n = 2$ | | |
|---|---|---|
| canali attivi | digitalizzatori /canale | max vel. acquisizione |
| 2 | 1 | 1 GSa/s |
| 1 | 2 | 2 GSa/s |

Esempio: 2 canali disponibili, 1 canale attivo



# Campionamento in tempo equivalente

- Solo per segnali ripetitivi
- I campioni del segnale vengono prelevati in **periodi diversi**

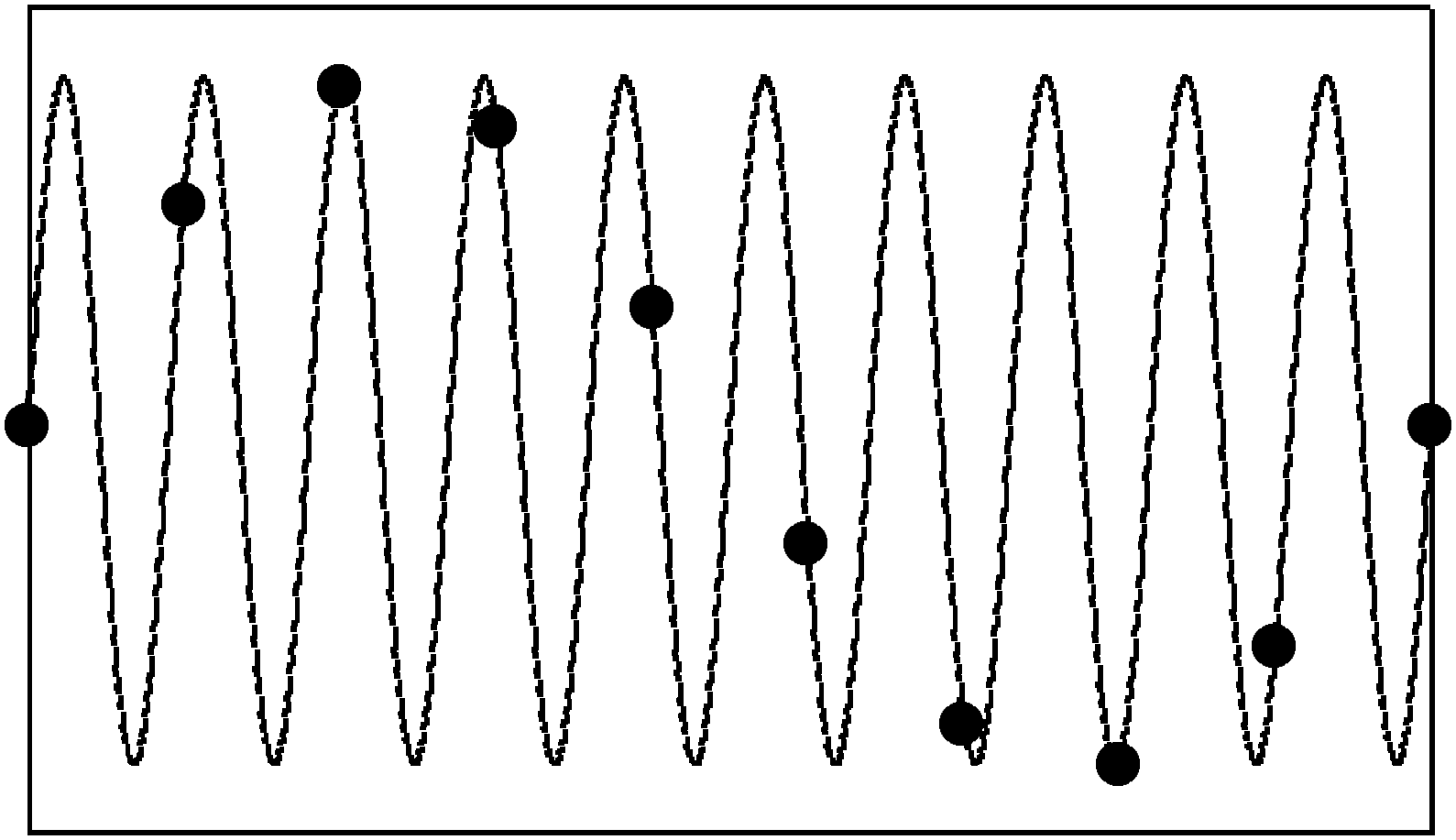


- “simula” una frequenza di campionamento più alta di quella effettiva estendendo la banda dello strumento

⚠ la tecnica non funziona con segnali sporadici

# Conversione a campionamento

Il segnale ha “frequenza apparente” più bassa



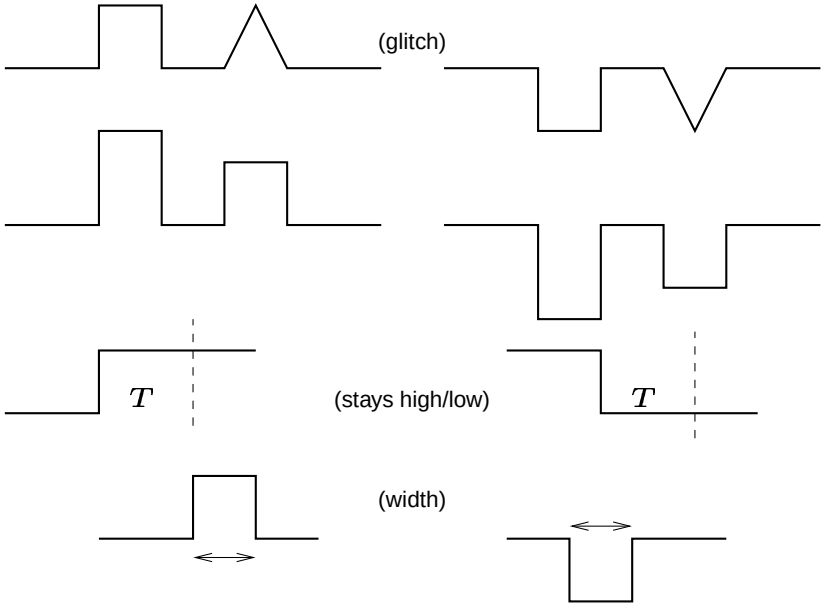
# Modalità di trigger

- Soglia (come nell'O. Analogico)



La presenza del processore numerico consente di riconoscere altri eventi di trigger:

- Impulsi con particolari caratteristiche




- condizioni logiche tra gli ingressi
- . . .

# Oscilloscopio Digitale

Principali differenze rispetto all'O.A.

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

Possibilità offerte

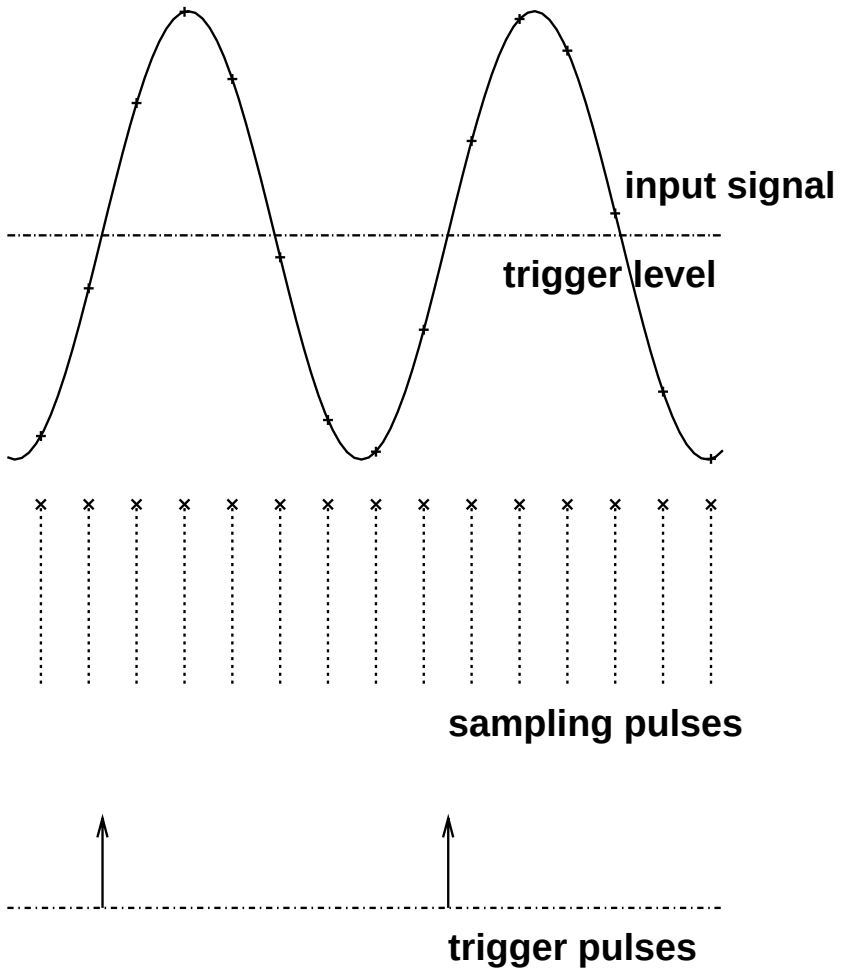
- visualizzazione di segnali non periodici (memoria);
- "tempi negativi" ($t < t_{tr}$);
- operazioni sui segnali;
- eventi di trigger più complessi;
- ...

# 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

$\Downarrow$

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

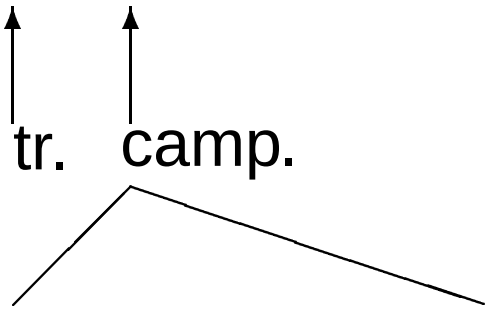


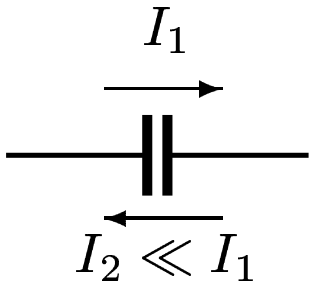
# Trigger, campionamento e visualizzazione

- 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**



# Conversione a campionamento

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

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

- $n$ campioni/periodo $\rightarrow$ servono $n$ campioni per ottenere un periodo
- periodo apparente: $T' = nT'_C = T(1 + qn)$
- frequenza apparente:

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

- equivale a una traslazione in frequenza (in basso) di entità tanto maggiore quanto più grande è $q$.

# Campionamento in tempo equivalente (casuale):

- *clock* interno opera in modo asincrono rispetto al *trigger*
- dunque i campioni vengono acquisiti in istanti “a caso” 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 $\rightarrow$ trama fitta
- $\rightarrow$ interpolazione generalmente inutile

! lungo tempo di acquisizione per segnali lenti

! misura del ritardo rispetto all’evento di trigger