



# Oscilloscopi Digitali

Sistemi Virtuali di Acquisizione Dati  
Prof. Alessandro Pesatori



# Introduzione

Principio di funzionamento: **campionamento e conversione del segnale** (campioni numerici), **memorizzazione** della sequenza, **elaborazione e visualizzazione**

Innovazione tecnologica: convertitori A/D, memorie a semiconduttore, microprocessori veloci,...



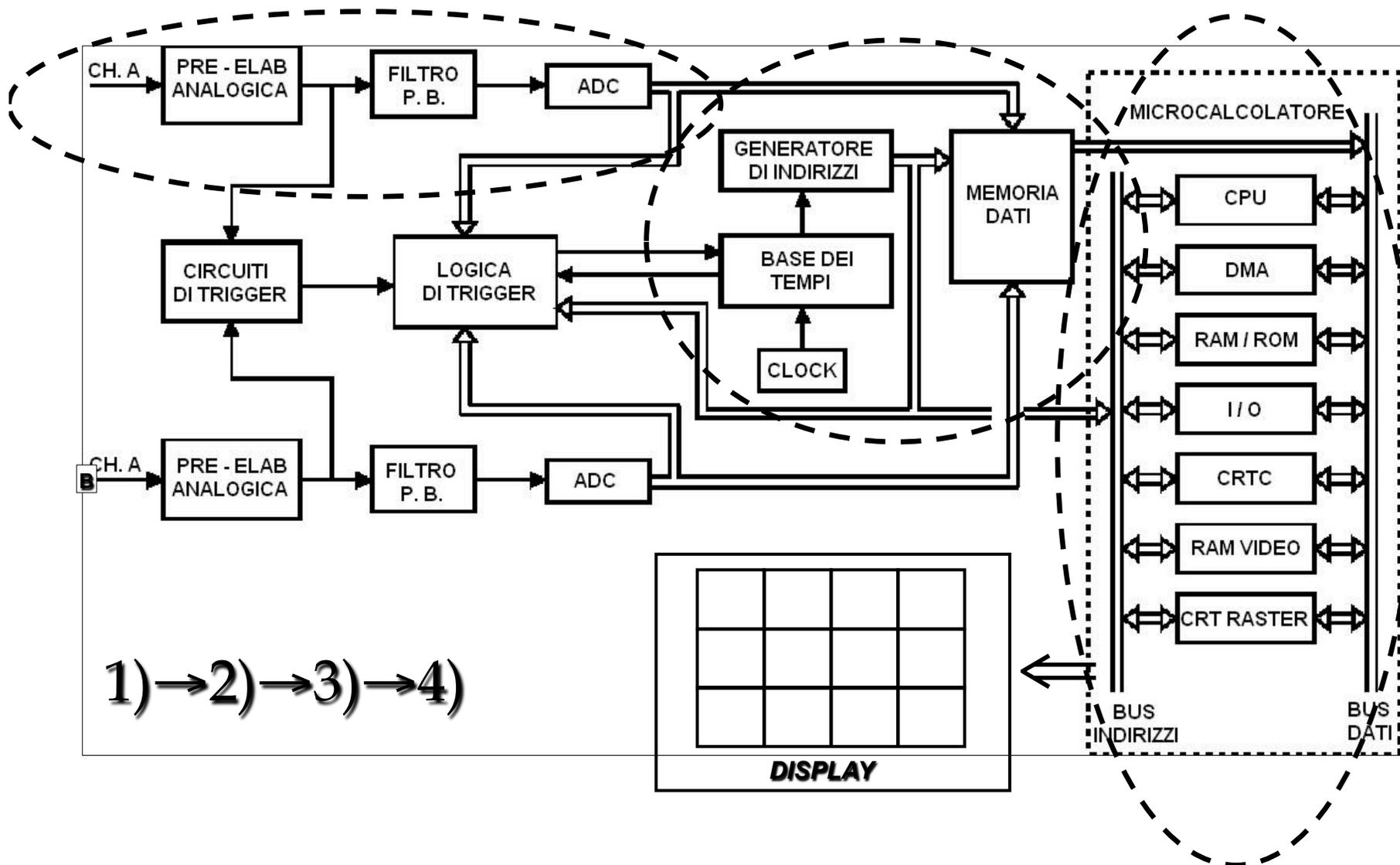
**OSCILLOSCOPI DIGITALI o DSO**  
*(Digital Storage Oscilloscope)*



# Quattro sezioni o fasi di misura

- 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*): oscillogramma del segnale

# Schema a blocchi di un DSO

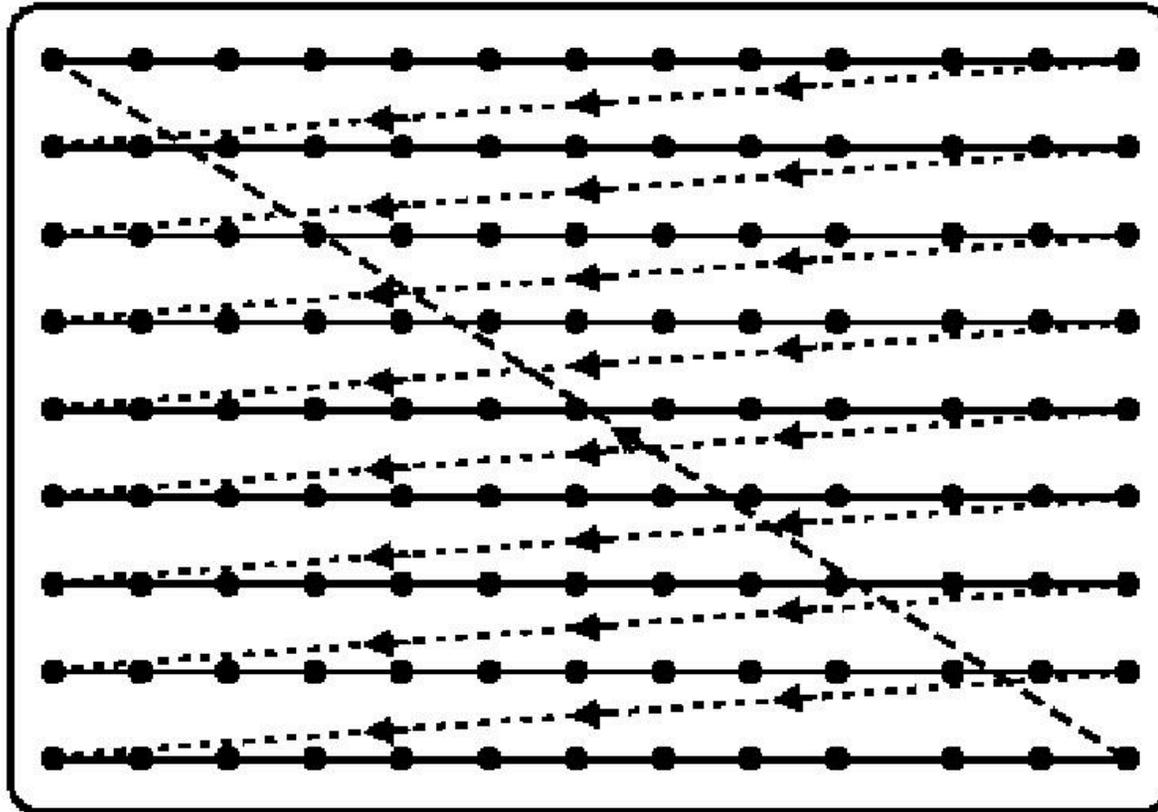




# Elementi di novità

- Disaccoppiamento temporale tra il segnale e la visualizzazione (permesso dalla memorizzazione dei campioni e "successiva visualizzazione")
- Visualizzazione mediante *display di tipo raster* (matrice bidimensionale di *pixel*)
- Memoria **RAM video** (la “mappatura” dell’immagine da realizzare ha una memoria dedicata)
- **Dispositivi Input/Output (I/O)** per trasferimento dati (stampante, plotter, memorie di massa, PC); interfacce RS-232, GPIB, USB, Ethernet.

# Scansione linee/colonne dello schermo per tubi catodici



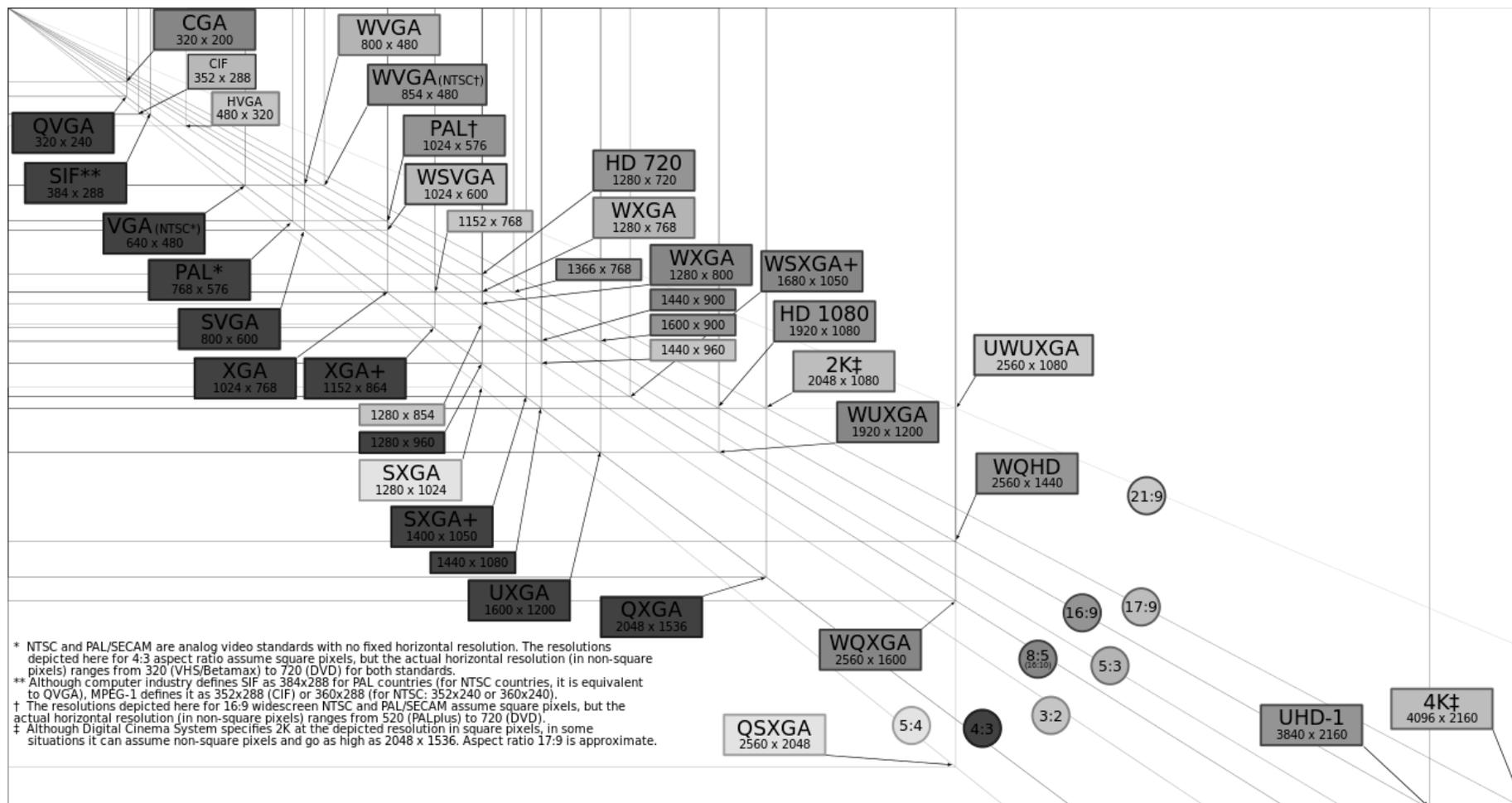
Importante proprietà (*display raster*): il tempo necessario per tracciare l'immagine è indipendente dalla complessità dell'immagine

# Parametri della visualizzazione *raster* per tubi catodici



- Rinfresco quadro: il periodo di rinfresco, o **tempo di quadro**, deve essere più piccolo della somma del tempo di persistenza dell'immagine sulla retina con quello di fosforescenza dei fosfori:  $10 \text{ ms} \div 20 \text{ ms}$
- Risoluzione dello schermo: **standard VGA** (640 righe orizzontali per 480 righe verticali, 307 200 *pixel*); vi sono oscilloscopi con risoluzioni più spinte (800 x 600, SVGA, o anche 1024 x 768, XGA)
- Requisiti di banda passante: una completa deflessione orizz. avviene in un **tempo di riga** ( $20 \text{ ms} / 480 = 41.67 \mu \text{s}$ ) che è di 3 ordini di grandezza più lento del tempo minimo di scansione dei più veloci CRT per OA

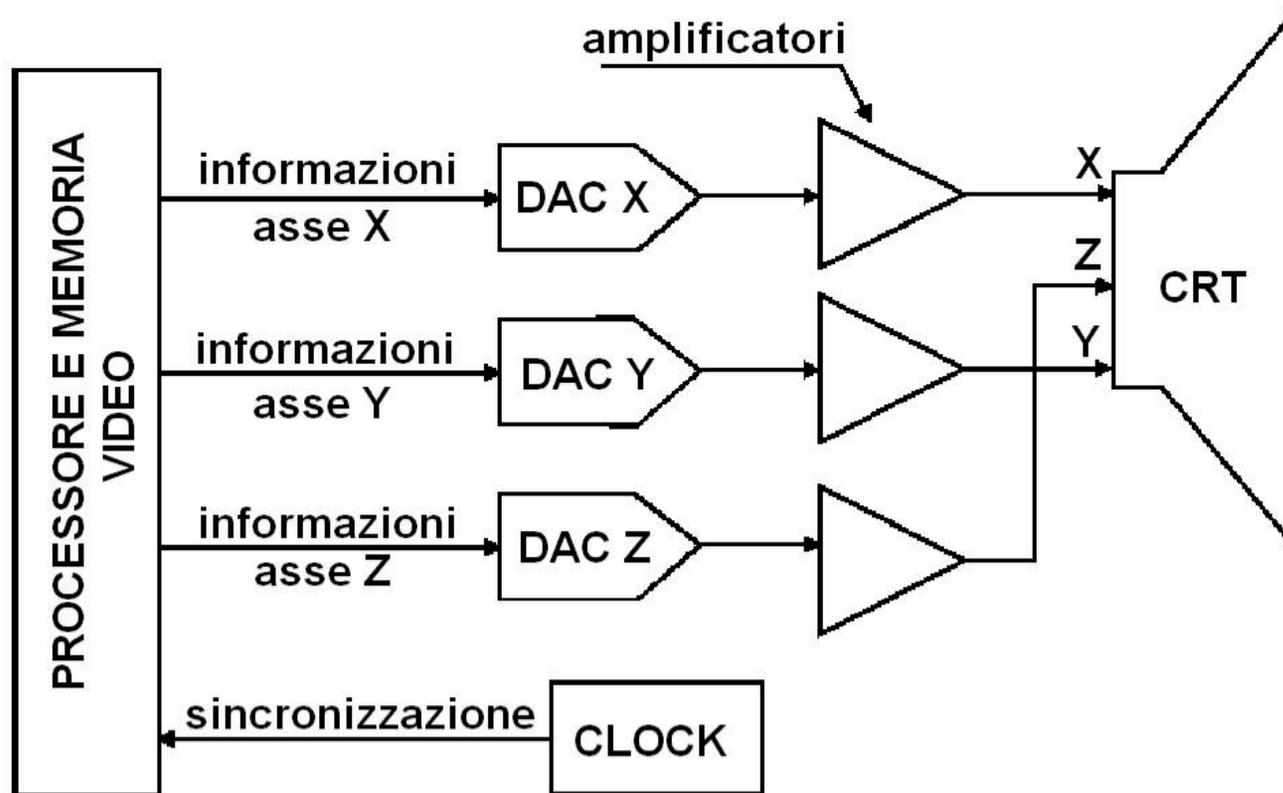
# Risoluzioni tipiche schermi



# Conv. DAC e amplificatori X - Y - Z per tubi catodici



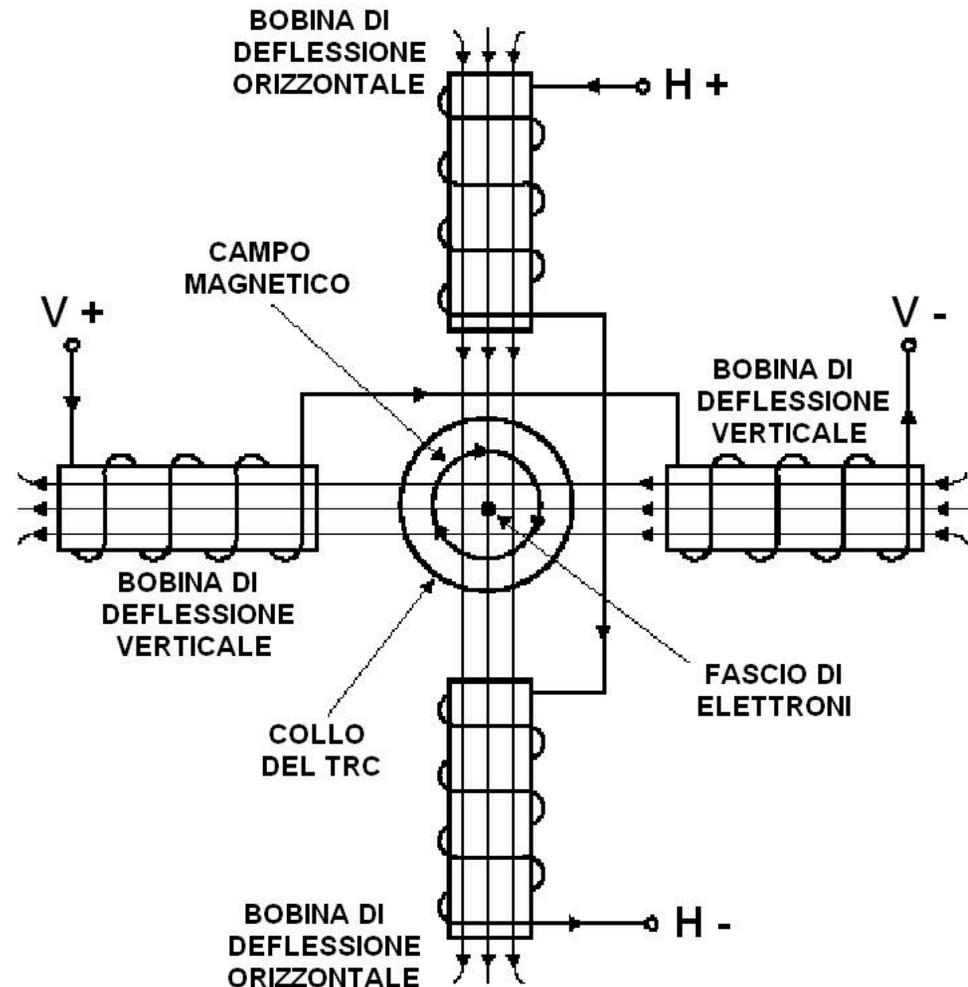
Visualizzazione con un **CRT tradizionale**  
(a controlli analogici e scansione di tipo *vector*)



**Z** è il comando di **intensità** (griglia del CRT)

# Deflessione e.m. in TRC di tipo *raster*

Le bobine di deflessione elettromagnetica sono meno "sensibili" (cm/V) delle placchette elettrostatiche ma consentono un comando elettrico semplice, in tensione/corrente, con la possibilità di regolare la posizione delle bobine (esterne) rispetto all'asse del tubo



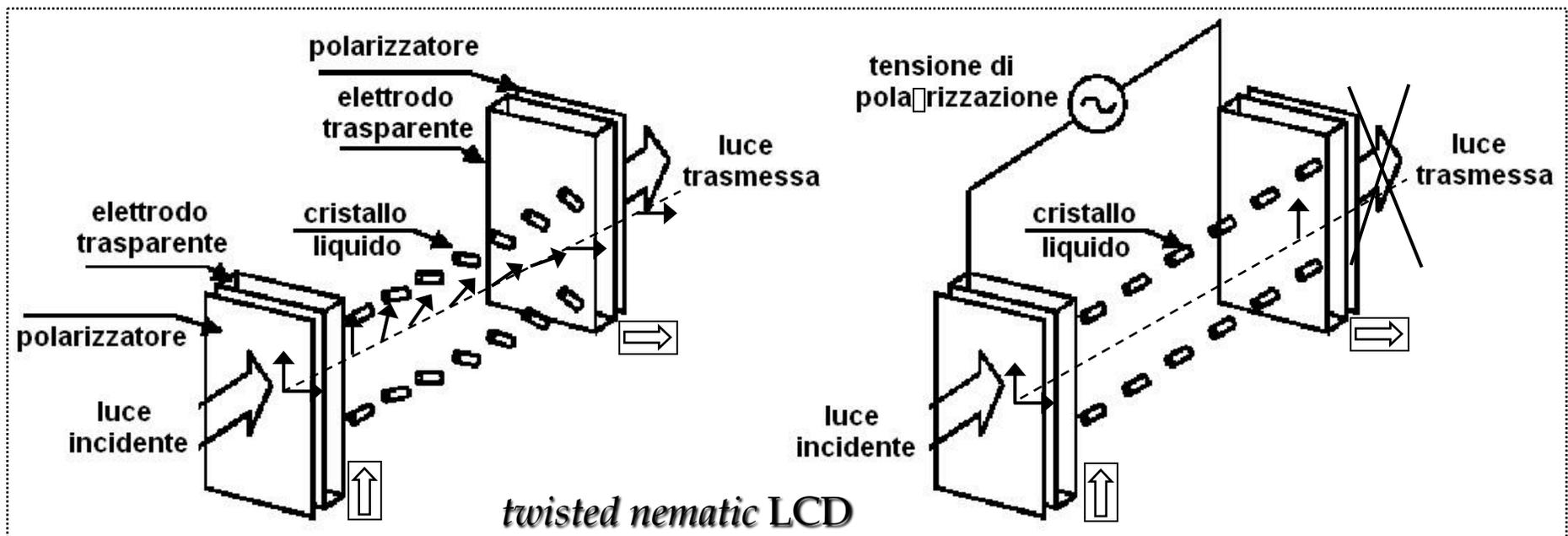


## *Display* a schermo piatto (FPD)

L'evoluzione delle tecnologie elettro-ottiche ha reso disponibile, nel campo dei DSO, dispositivi per la visualizzazione che non richiedono la presenza di un tubo a vuoto. Le caratteristiche dei *display FPD* (*Flat Panel Display*) sono la ridotta profondità, il peso e il consumo assai ridotti, e l'organizzazione dello schermo in una matrice di celle elementari (*pixel*)

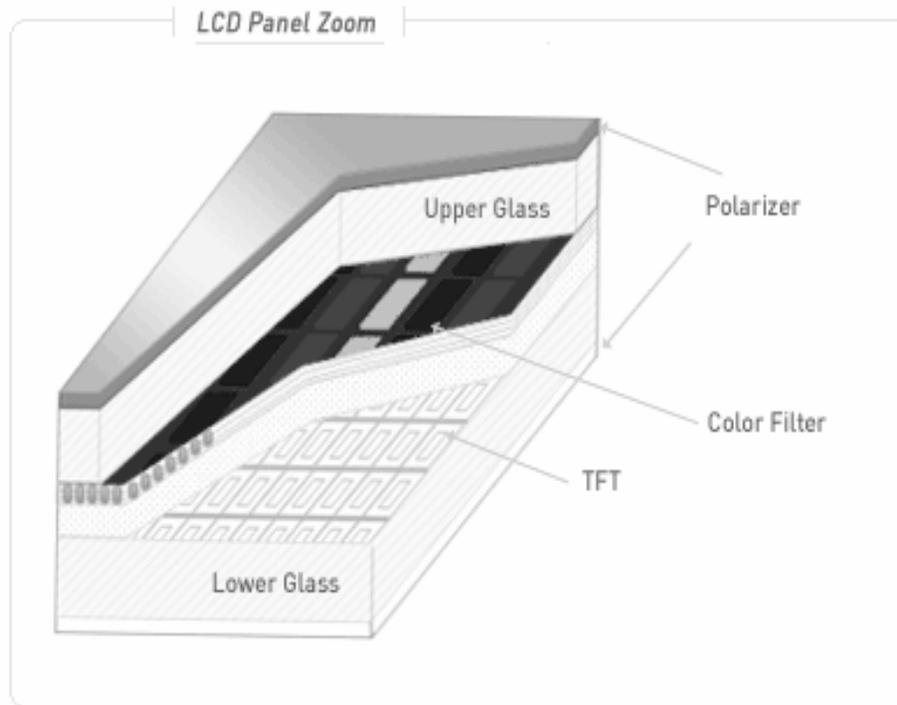
- Diverse tecnologie:
- **elettroluminescenza**
  - **LED** (*Light Emitting Diode*)
  - **LCD** (*Liquid Crystal Display*)
  - **TFT** (*Thin Film Transistor, LCD*)
  - **...OLED** (*Organic LED*)

# Visualizzatori a LCD



LCD a TFT (*Thin Film Transistor*): integra nella cella elementare anche il transistor per l'accensione e spegnimento del *pixel*. Tecnologia a matrice attiva, che permette di realizzare *display* a colori ad elevata risoluzione e con ampie dimensioni dello schermo

# Display a TFT



La differenza tra TFT e LCD tradizionale è il modo in cui viene polarizzato il cristallo liquido. Mentre negli LCD tradizionali si applica una tensione dall'esterno del pannello di visualizzazione, come in un condensatore, nella tecnologia TFT il campo elettrico è applicato direttamente al *pixel* tramite un transistor a film sottile realizzato con un substrato di materiale semiconduttore trasparente depositato sulle superfici interne dei vetri che ospitano anche i cristalli liquidi.

VANTAGGIO:  $I$  e  $V$  basse e  $t$  rapidi

LCD a TFT (*Thin Film Transistor*): integra nella cella elementare anche un transistor per l'accensione e spegnimento del *pixel*. Tecnologia a matrice attiva, che permette di realizzare *display* a colori ad elevata risoluzione e con ampie dimensioni dello schermo



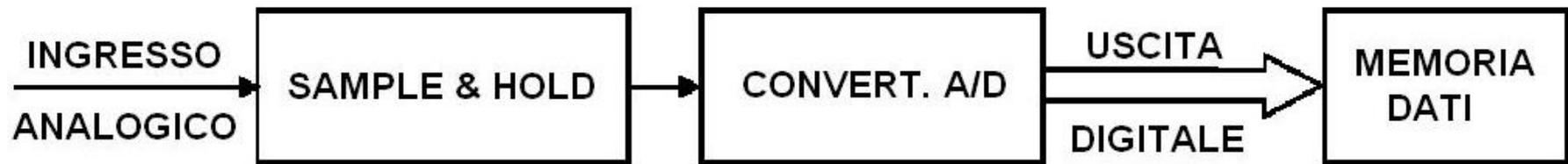
## Condizionamento analogico

La sezione analogica di un DSO ricalca, in linea di principio, quella di un oscilloscopio analogico

Per evitare fenomeni di *aliasing*, si potrebbe effettuare un filtraggio di tipo passa - basso ma si preferisce omettere il filtro *anti-aliasing* per non limitare la banda di misura

Grazie alla modalità di campionamento in tempo equivalente la banda di misura, su segnali periodici o almeno ripetitivi, può essere anche superiore alla velocità di campionamento

# Conversione A/D e acquisizione dati

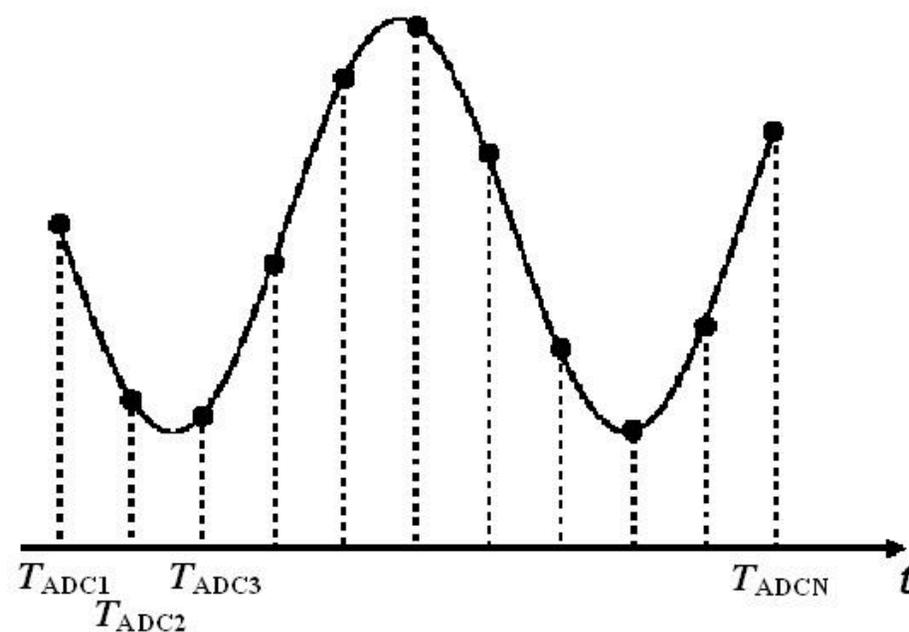
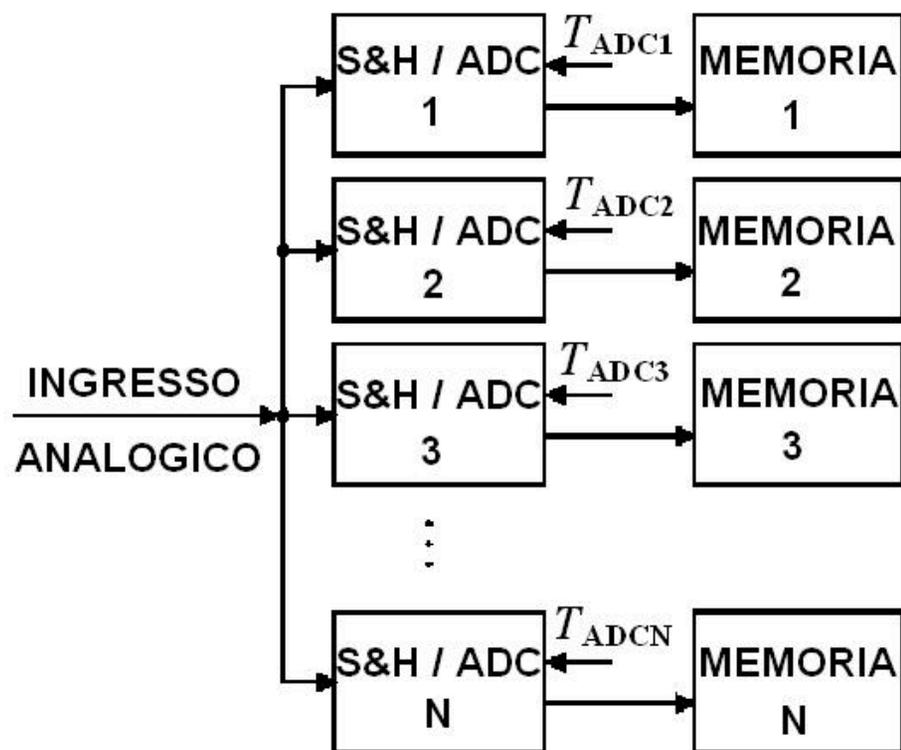


Parametri:

- **Risoluzione** del convertitore analogico / digitale
- Massima **frequenza** di campionamento e conversione
- Capacità (o profondità) massima di **memoria**, cioè il numero massimo di campioni memorizzabili

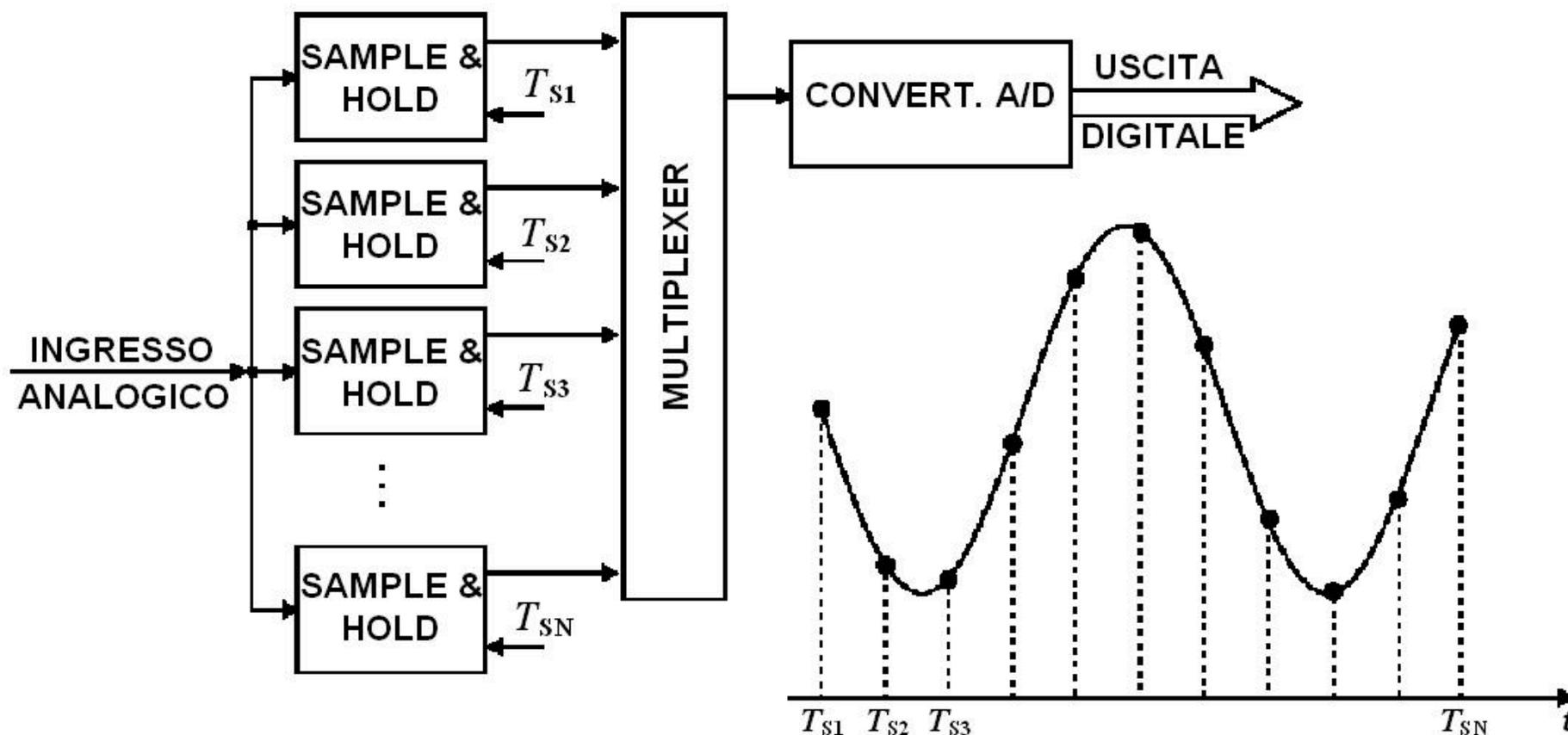
# Esempi di configurazioni (1/2)

## Campionamento e conversione a multiconvertitore



## Esempi di configurazioni (2/2)

### Struttura con singolo convertitore A/D in *multiplexing*





# Problematiche del campionamento

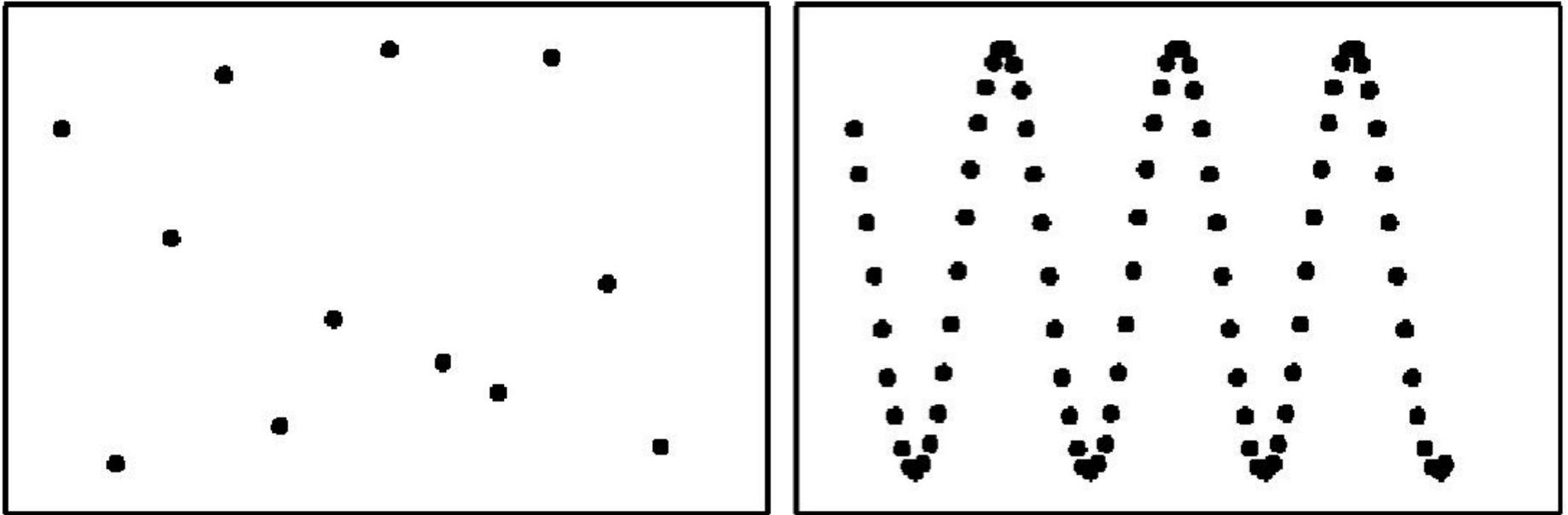
Teorema del campionamento (e Pb. *aliasing*):

la frequenza di campionamento deve essere maggiore del doppio della massima frequenza del segnale

Visualizzazione per punti (Pb. *aliasing* percettivo): affinché l'occhio possa riconoscere distintamente la forma d'onda, il numero di campioni acquisiti deve essere sufficientemente elevato da non generare ambiguità di percezione.

Con i segnali sinusoidali un valore convenzionale è di almeno 25 punti per periodo

## *Aliasing percettivo*

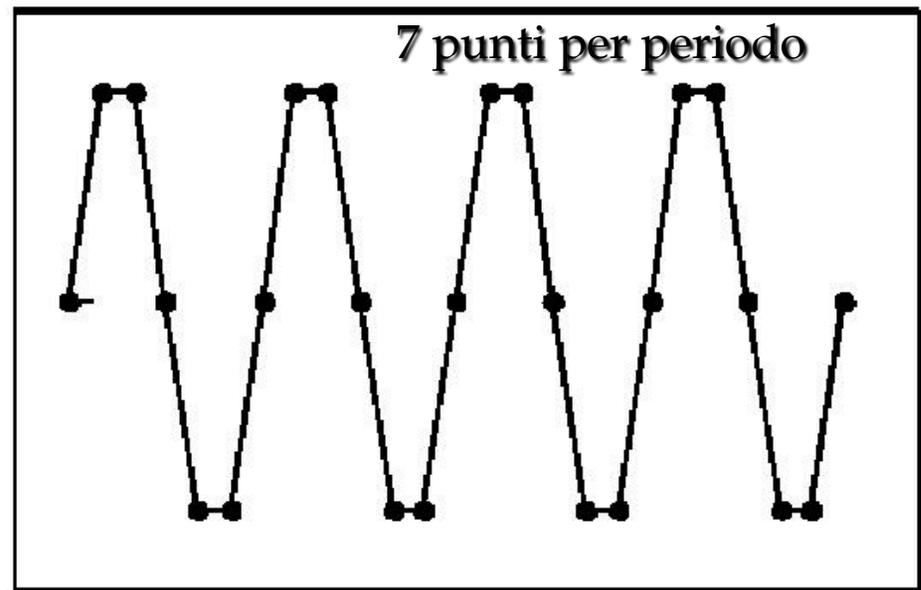
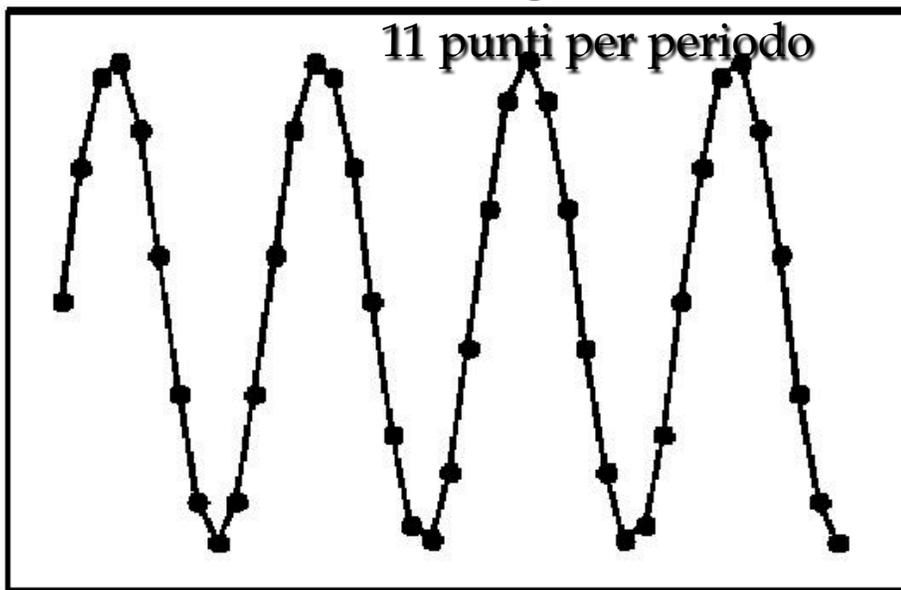


Anche rispettando il teorema del campionamento, con pochi punti per periodo la forma d'onda può non essere riconosciuta in maniera corretta

( la stessa sinusoide è visualizzata con  
4 punti per periodo a sx e 25 a dx )

# Interpolatori

Interpolatore lineare: riduce a circa 10 i punti necessari per periodo. Sotto questo valore è possibile interpretare erroneamente il segnale visualizzato



Interpolatore a  $\sin(x)/x$ : basato sulla teoria di Shannon, riduce a 2.5 il numero di punti necessari. La banda di misura risulta il 40 % ( $\approx f_s/2$ ) della massima frequenza di campionamento del convertitore A/D (in *real-time*)



## Modalità di campionamento

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

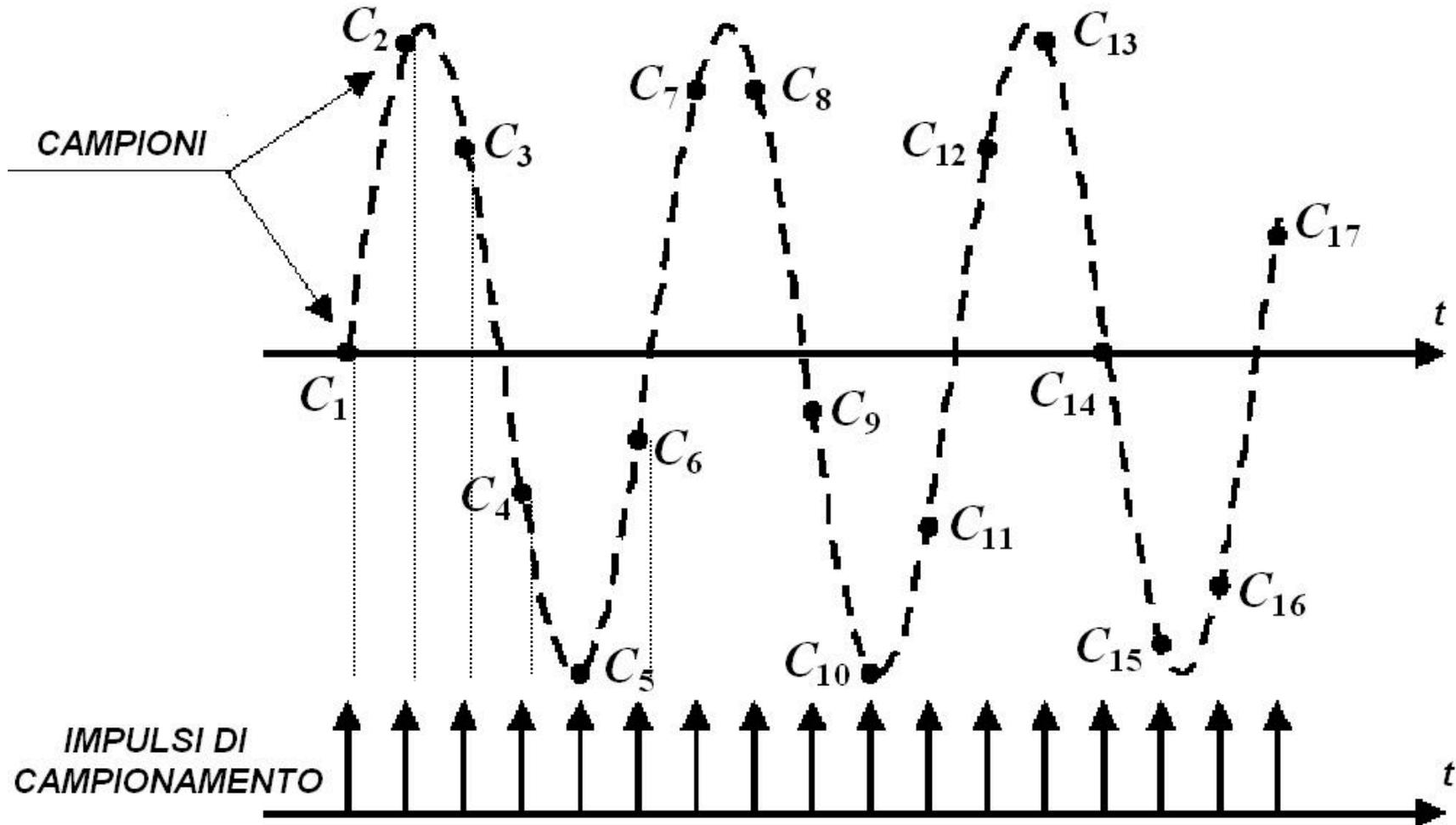
- Campionamento **in tempo reale** (*single shot*)
- Campionamento **sequenziale in tempo equivalente**
- Campionamento **casuale in tempo equivalente**

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

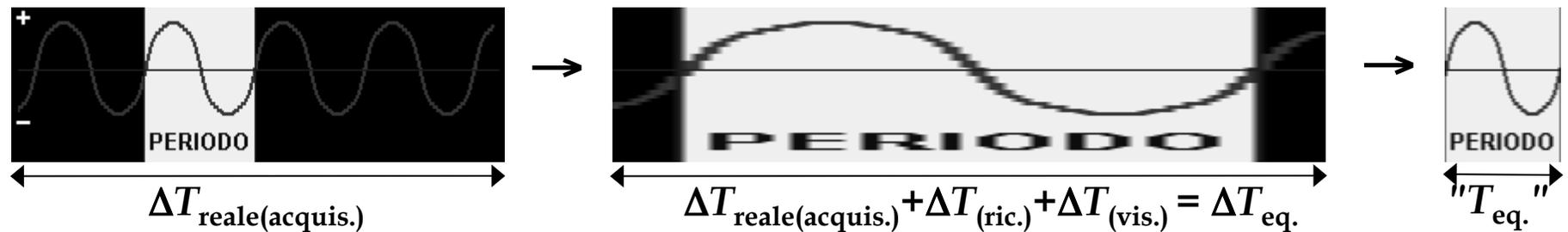


La sequenza dei dati acquisiti rispetta la sequenza temporale dei punti della forma d'onda che evolve sull'asse dei tempi

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

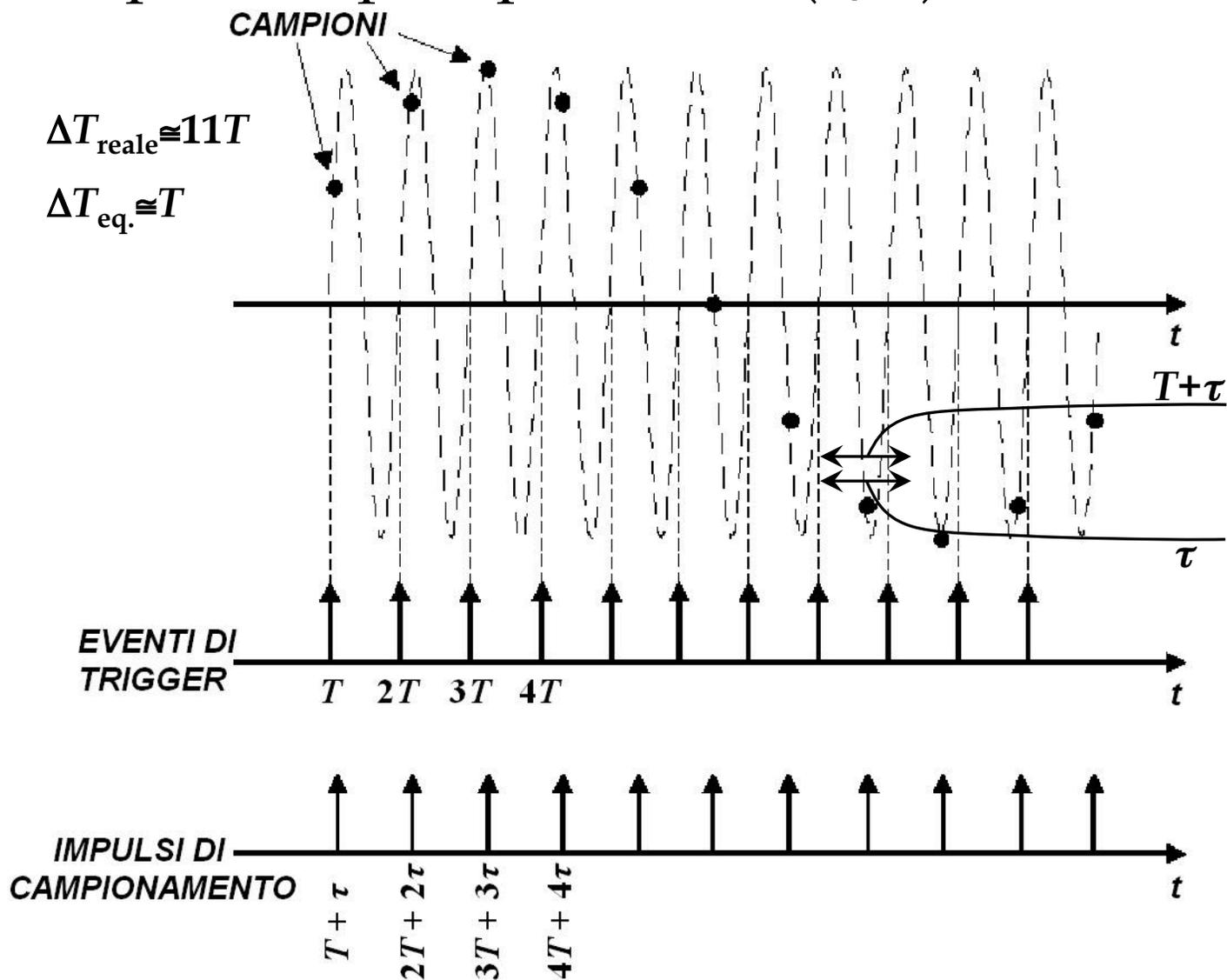
Si prendono i diversi campioni all'interno di periodi differenti del segnale (con una distanza temporale successivamente incrementata, dallo stesso punto di riferimento - *trigger* - scelto nel periodo).

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 tra loro: può essere  $\Delta T_{\text{reale}} \gg T_{\text{eq.}}$  e  $T \ll T_{\text{eq.}}$ .

# 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  $\tau$  e  $\tau + kT$  (con  $k$  intero) risultano uguali: quindi, anziché adottare la frequenza di campionamento  $f_s = 1/\tau$  si può adottare la frequenza  $(kT/\tau + 1) \approx kT/\tau$  volte inferiore ( $T_s = kT + \tau > T$ ):

$$\begin{array}{ccc} \nearrow f_s = \frac{1}{\tau} & \nearrow \hat{f}_s = \frac{1}{kT + \tau} & \frac{f_s}{\hat{f}_s} = 1 + kT / \tau \\ \text{freq.camp.eq.} & \text{freq.camp.reale} & \end{array}$$

ottenendo una distanza (risoluzione temporale)  $\tau$  tra due campioni adiacenti molto spinta pur campionando a "bassa frequenza"

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

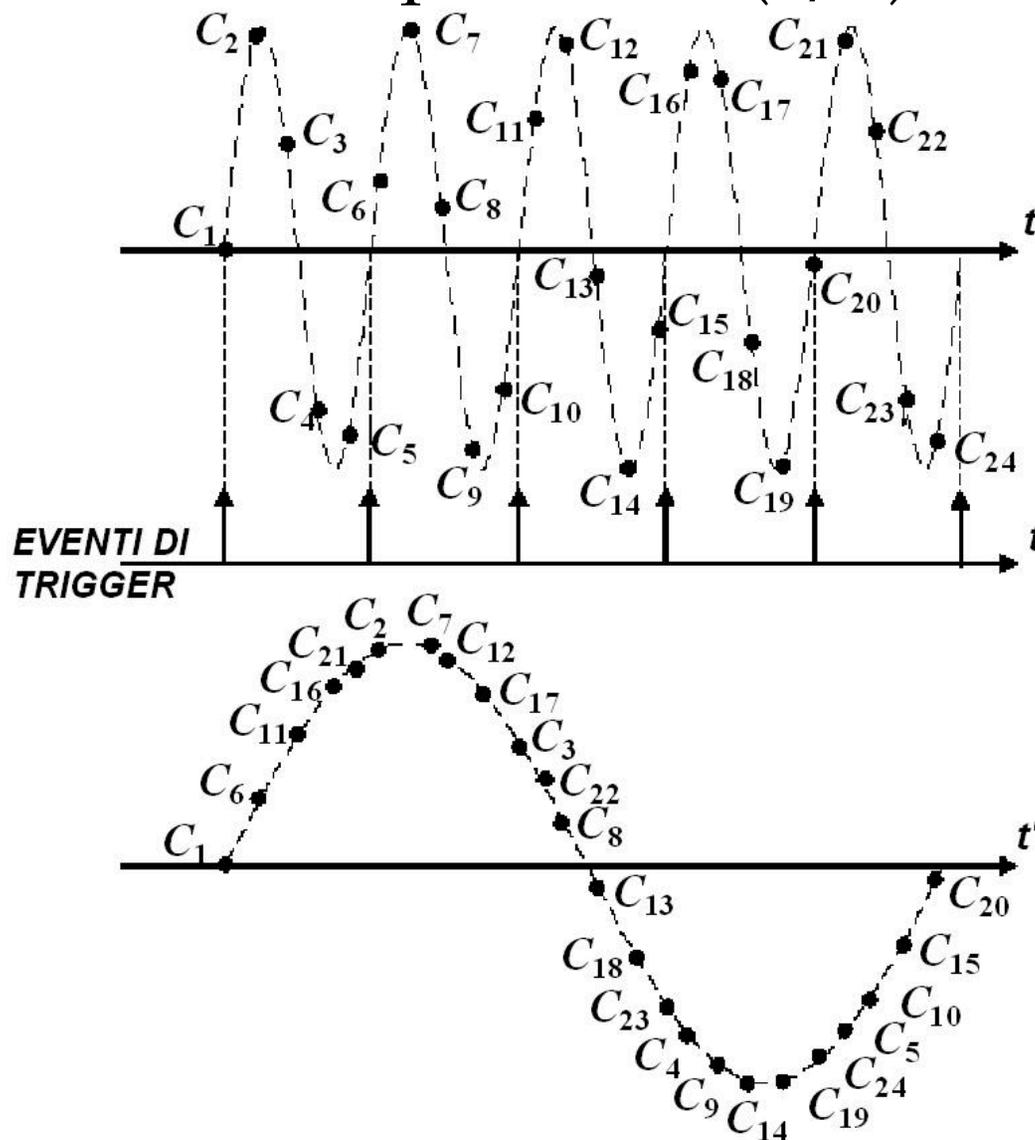


## Camp. casuale in t. equivalente (1/2)

I campioni vengono prelevati dal segnale in **modo casuale (asincrono)**, sia prima, sia dopo gli eventi di *trigger*. L' ADC può lavorare alla sua massima velocità. 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

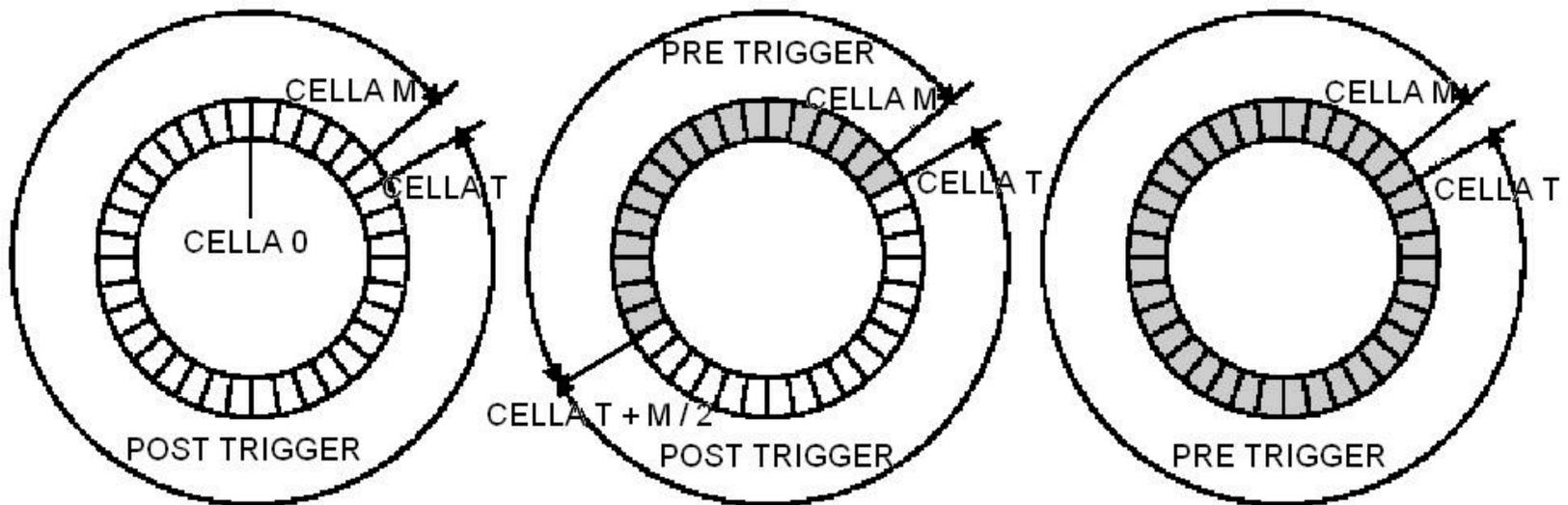
Nell'oscilloscopio digitale esistono modalità di sincronizzazione assai più evolute e complesse

*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**

## Modalità di *trigger* avanzate (2/3)

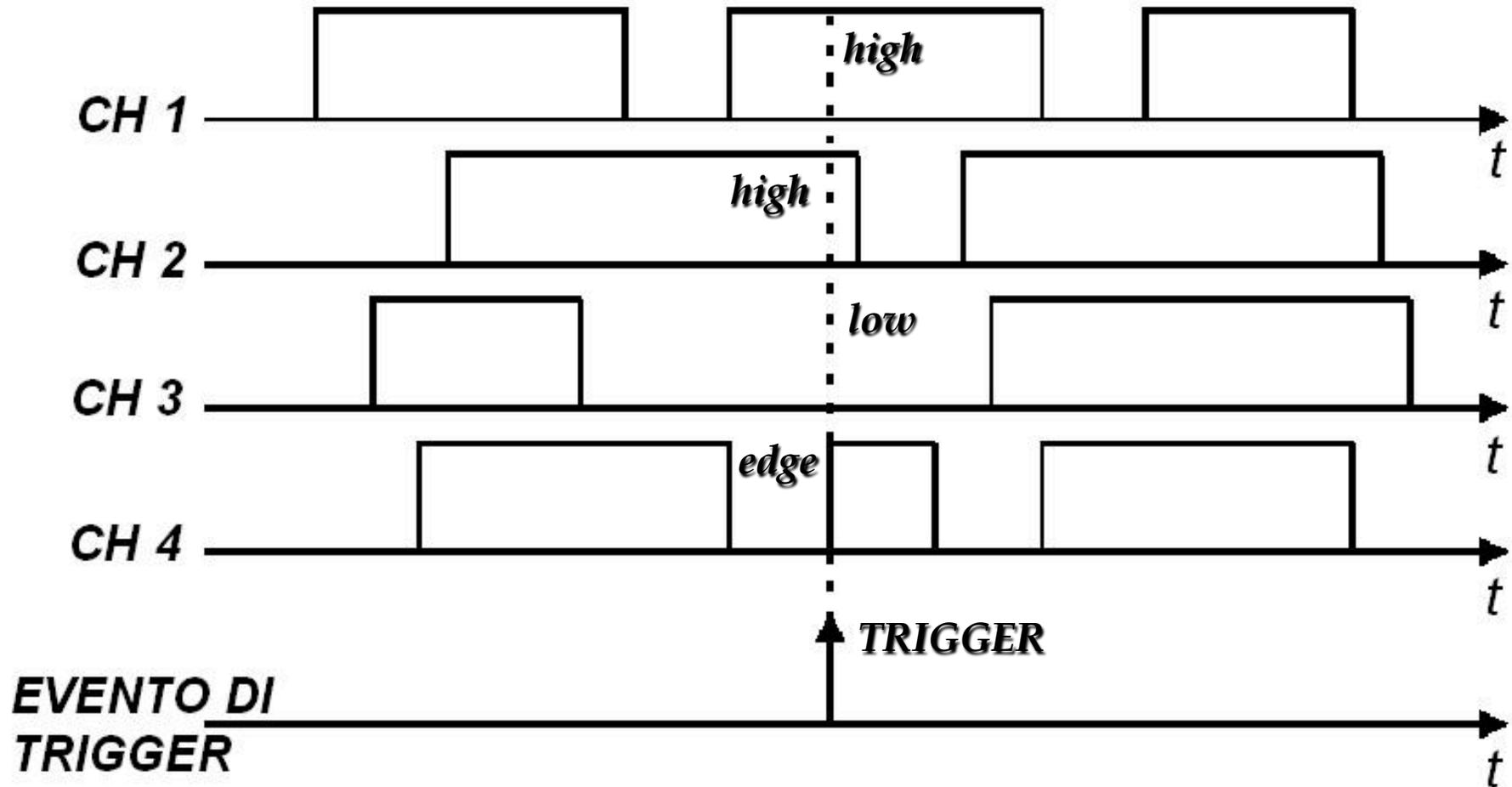
Durante il campionamento e la conversione le  $M$  celle vengono riempite in modo contiguo. Al verificarsi dell'evento *trigger* l'unità elaborativa del DSO contrassegna il campione acquisito a quell'istante, così da poter identificare i campioni precedenti e quelli successivi al campione/evento di *trigger*





# Modalità di *trigger* avanzate (3/3)

## Trigger booleano e funzionalità di “logica”





## Risoluzione verticale (1/3)

Convertitore **8 bit** → **256 livelli** (risoluzione teorica relativa pari a **0.39% del fondoscala**)

Assegnato un valore del coeff. di deflessione verticale, il campo dei valori di ampiezza ammessi (dinamica) coincide sullo schermo con quello compreso tra le due linee orizzontali estreme del reticolo ( **8 div.  $\times A_{y,V/div.}$**  )

*Es.* coeff. di deflessione verticale = 10 mV/DIV  
con 8 divisioni verticali:

Max escursione picco-picco = 80 mV

Risoluzione (256 livelli)  $\cong$  0.3 mV



## Risoluzione verticale (2/3)

Questa risoluzione ha minore o maggiore incidenza sulla accuratezza della misura a seconda del fatto che il segnale di misura assuma valori compresi su tutta la scala dei valori d'ingresso del convertitore A/D oppure presenti un'ampiezza molto inferiore a quella del fondo scala

Nei DSO la possibilità di impostare variazioni fini in condizioni di taratura, sia del coeff. di deflessione sia dell'*offset* (comando di *vertical position*), consente di ottenere un minor effetto della quantizzazione

Modalità di acquisizione **media** (*average*) e **alta risoluzione** (*high resolution o box car averaging*): n° *bit* effettivi può essere maggiore del n° *bit* reali



## Risoluzione verticale (3/3)

e.g.: visualizzare  $s(t) = A \sin(2\pi ft) + B$

$A = 0.3 \text{ V}$     $B = 0.2 \text{ V}$     $f = 25 \text{ Hz}$    8 DIV verticali

Naturalmente la linea di zero (vert. pos. con accoppiamento GND) sarà disposta al di sotto del centro schermo

Oscilloscopio analogico:

coeff. di deflessione verticale =  $0.2 \text{ V/DIV}$

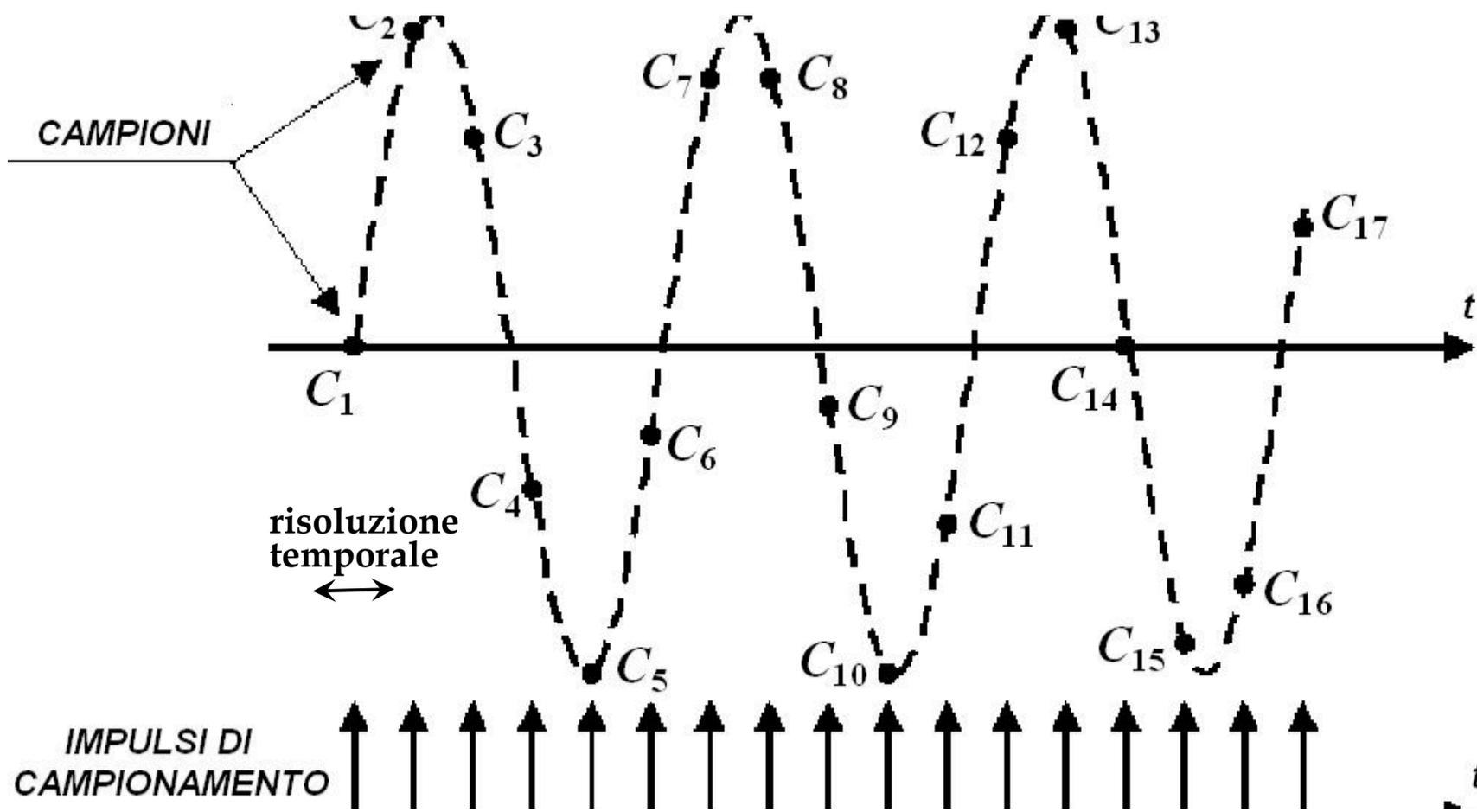
il segnale occupa 2.5 DIV nel verso positivo e 0.5 nel verso negativo (solo mezza dinamica verticale). Con  $0.1 \text{ V/DIV}$  il segnale uscirebbe in parte dal *display*

Oscilloscopio digitale:

coeff. di deflessione verticale\* =  $75 \text{ mV/DIV}$

il segnale occupa 6.7 DIV nel verso positivo e 1.3 nel verso negativo. Il segnale non esce dal *display* e anzi occupa appieno la scala/dinamica verticale

# Risoluzione orizzontale (1/2)





## Risoluzione orizzontale (2/2)

Principale limitazione della risoluzione temporale:  $f_C$

Modalità *single shot*: miglior risoluzione = minimo  $T_C$  del DAC.  
 $T_C$  dipende dal coeff. di tempo scelto per la taratura dell'asse orizzontale  $\rightarrow$  la risoluzione temporale varia in funzione della configurazione scelta ( $A_x$ ) per il DSO

Camp. sequenziale in  $t$  equivalente: risoluzione limitata dalla precisione con cui viene controllato il ritardo  $\tau$  tra campioni equivalenti adiacenti

Camp. casuale in  $t$  equivalente: risol. limitata da risol. e accuratezza della misura dell'intervallo di tempo tra l'istante di campionamento e l'evento *trigger*



## Interfacce I/O e funzioni digitali (1/2)

- Tutti i DSO sono dotati di **interfaccia con calcolatore elettronico** (controllo a distanza, sistema di misura automatico, salvataggio dati e *set up* dei comandi)
- **Autoset**: lo strumento cerca la migliore config. dei parametri di misura (sensibilità verticale, coeff. di tempo per la base dei tempi,...) e la predispone
- Cursori (o *markers*) di ampiezza e tempo, che consentono di leggere direttamente sul *display* misure di differenze di tensione o intervalli di tempo [in un OA ci possono essere solo i *marker* verticali]

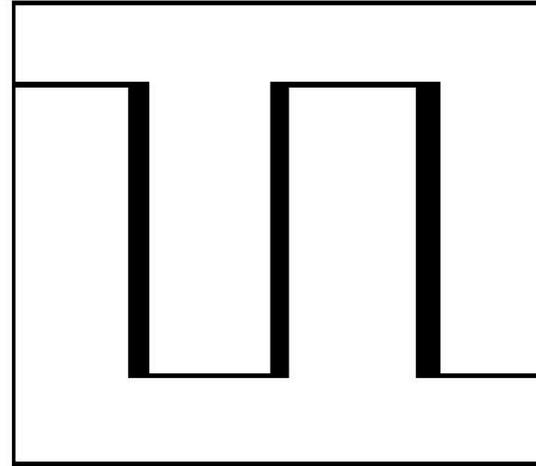
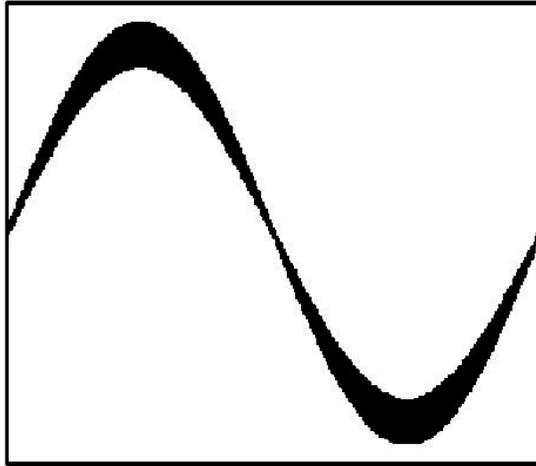


## Interfacce I/O e funzioni digitali (2/2)

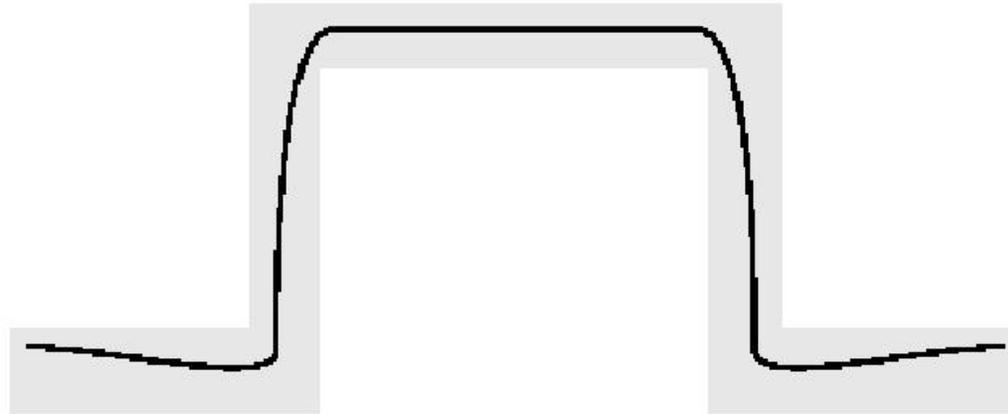
- **Misure standard automatizzate:** in ampiezza (valore medio, efficace, di picco, picco - picco) e in tempo (frequenza, periodo, intervalli di tempo, *duty cycle*)
- **Analisi semplici o più complesse** (spettro FFT, misura di THD, *time-jitter*, analisi statistica del segnale, *etc.*) dei dati di misura, ma in ogni caso “automatizzate”

# Esempi di altre funzionalità

## Persistenza infinita (DPO)



## Controllo di conformità con maschera prestabilita





## Vantaggi dei DSO (1/2)

- Maggior **banda** passante (no limite TRC)
- Capacità di **memorizzare** più segnali per lunghi intervalli di tempo
- **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***



## Vantaggi dei DSO (2/2)

- **Capacità di effettuare in modo diretto ed automatico misure sul segnale nel dominio del tempo (misure di ampiezza, frequenza, sfasamento, ...)**
- **Possibilità di documentare facilmente la misura, trasferendo i dati dal DSO ad una stampante o plotter**
- **Possibilità di interfacciare il DSO a un calcolatore esterno per inserirlo in ambienti di misura o di test automatizzati**
- **Capacità di effettuare test di autocalibrazione ed autodiagnosi**
- **HW+DSP+SW+...**