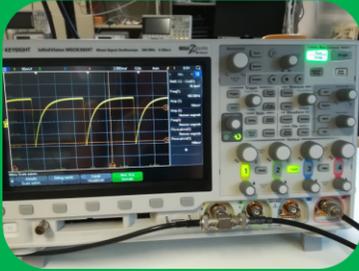


## Oscilloscopio: architettura e utilizzo



### ✓ A cosa serve?

- ✓ Metodo più immediato per valutare le caratteristiche di un segnale visualizzandone l'andamento nel tempo e analisi in frequenza (solo oscilloscopi digitali)

### ✓ Come è fatto?

- ✓ Principale differenza tra analogico e digitale
- ✓ Digitale può essere visto come un sistema di acquisizione DAQ ma con prestazioni molto elevate

### ✓ Come si usa?

Scelta canale di ingresso, regolazione scale visualizzazione, trigger, impedenza di ingresso, valutazione parametri nel tempo e loro misura, analisi in frequenza e valutazione parametri caratteristici

### ✓ Come essere consapevoli che le acquisizioni e misure effettuate abbiano senso?

Incertezza di misura, compensazione sonde, valutazione rumore, conoscenza errori intrinseci

# LEZIONE 8:

# Oscilloscopio e generatore

*Misure e Acquisizione di Dati Biomedici*

*Sarah Tonello, PhD*

*Dip. Ingegneria dell'Informazione*

*Università di Padova*

# Outline

- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale
  
- Generatore: schema funzionale
- Regolazione parametri del segnale



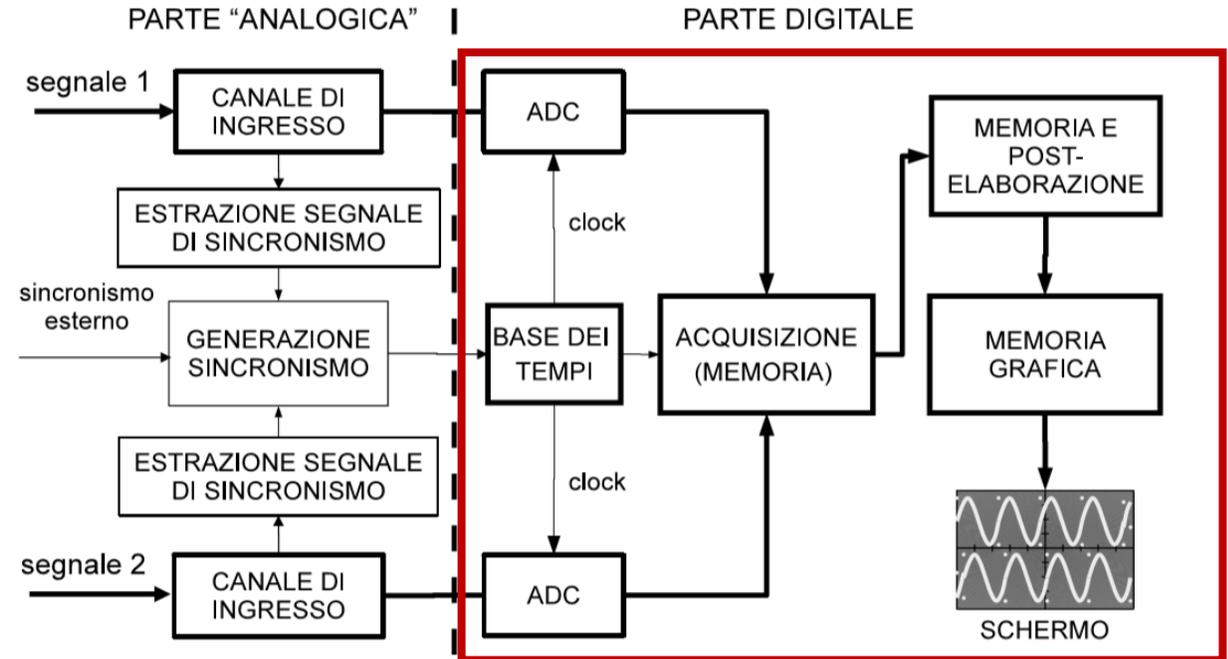
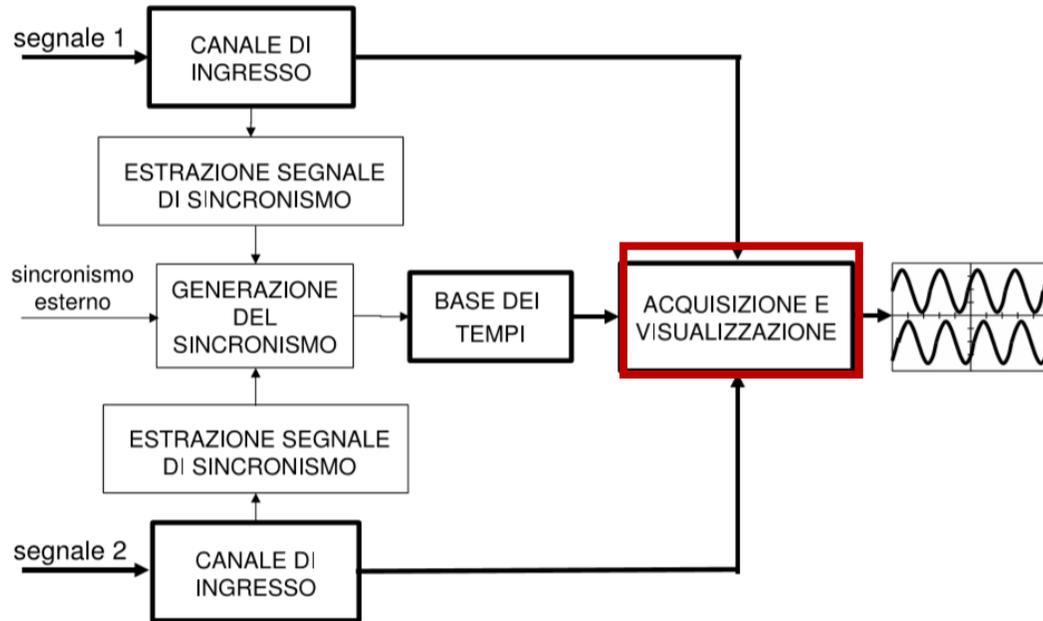
# Schema funzionale oscilloscopio analogico e digitale

## Oscilloscopio Analogico

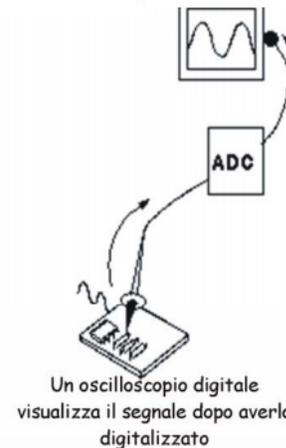
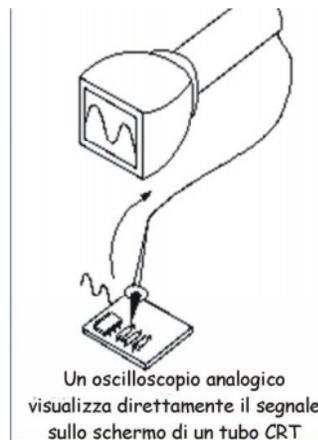
## Oscilloscopio Digitale

- 1932, primo esempio di oscilloscopio "moderno" con tecnologia tubo catodico da parte dell'azienda inglese **A. C. Cossor**

- 1985 viene realizzato il primo Oscilloscopio Digitale nei laboratory del CERN da Walter LeCroy, che fonderà la ditta LeCroy.



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



Un oscilloscopio può essere:

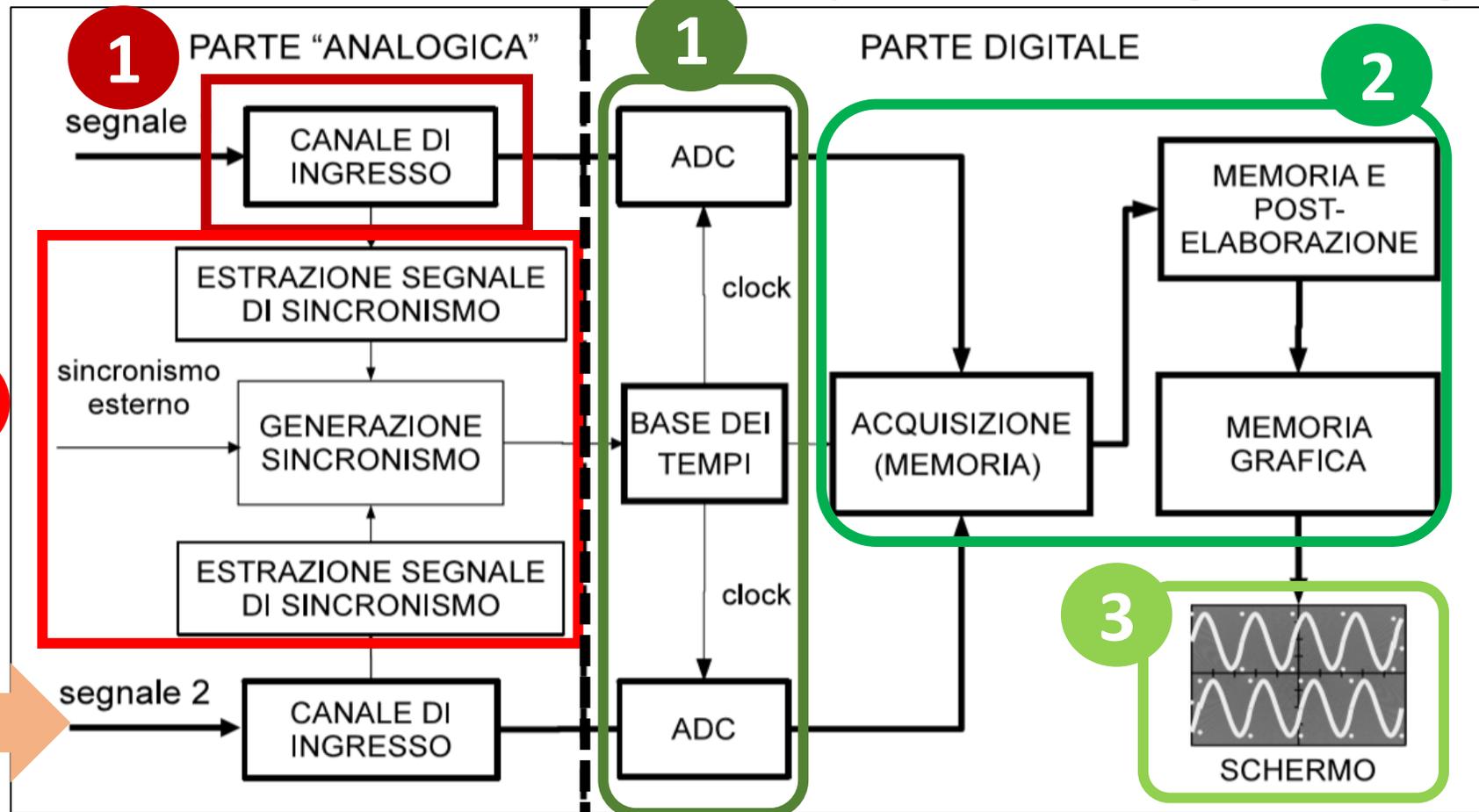
- analogico
- digitale

in funzione delle elaborazioni subite dal segnale prima della visualizzazione.

Nell'**oscilloscopio digitale** il segnale di ingresso dopo il condizionamento viene:

- 1) **Convertito** nel dominio numerico
- 2) **Memorizzato**
- 3) **Visualizzato/Elaborato**

# Elementi chiave della parte analogica e digitale



## 1. CANALI DI INGRESSO

- Struttura
- Impedenza di ingresso
- Risposta in frequenza

## 2. SEZIONE DI SINCRONISMO

## 3. SONDE PASSIVE

## 1. ACQUISIZIONE:

*campionamento e risoluzione*

## 2. MEMORIA:

*Organizzazione e gestione*

## 3. SCHERMO:

*Visualizzazione e elaborazione*

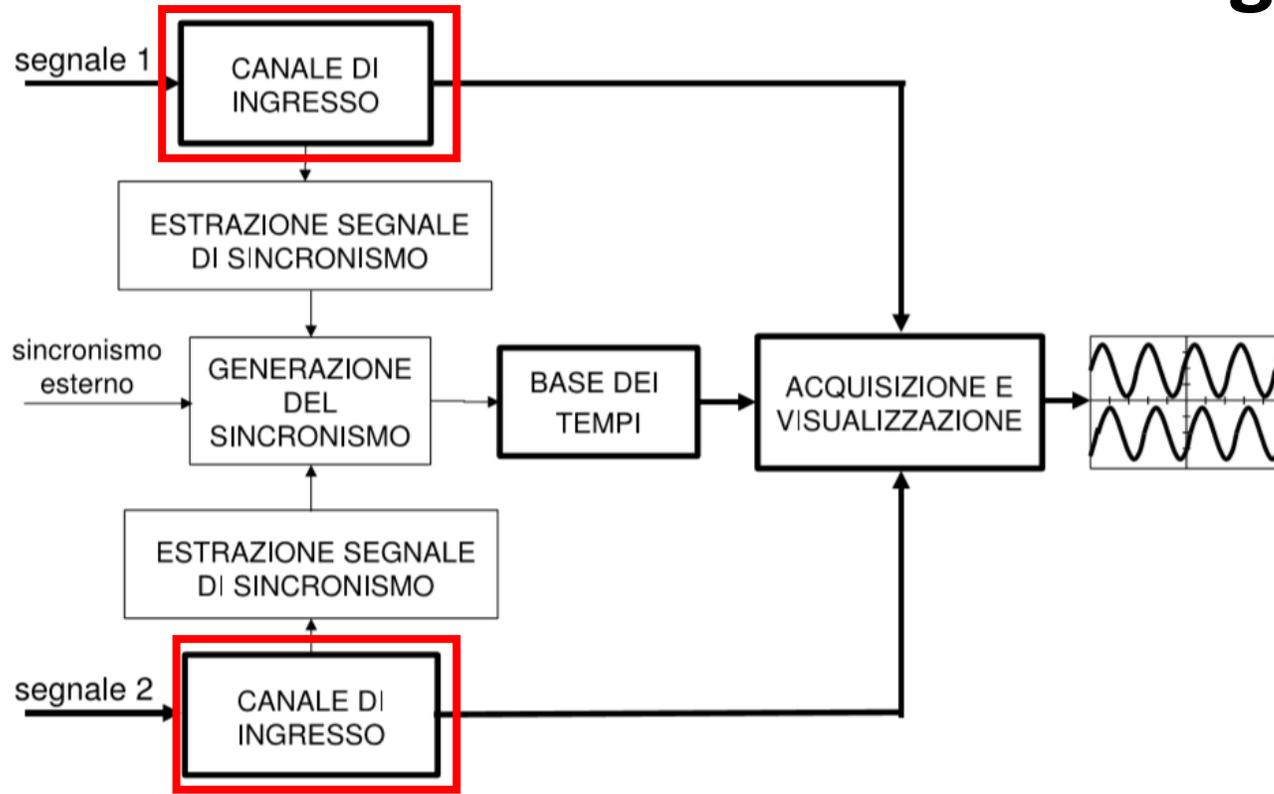
- La struttura semplificata, ma che si presta ad una **descrizione di massima dei meccanismi di funzionamento di un oscilloscopio digitale.**
- L'architettura di un DSO è quella di un **sistema di acquisizione** con specifiche caratteristiche:
  - ***Alta velocità*** cadenza di aggiornamento della traccia molto alta.
  - ***Multiprocessore*** elevate possibilità di calcolo

# Outline

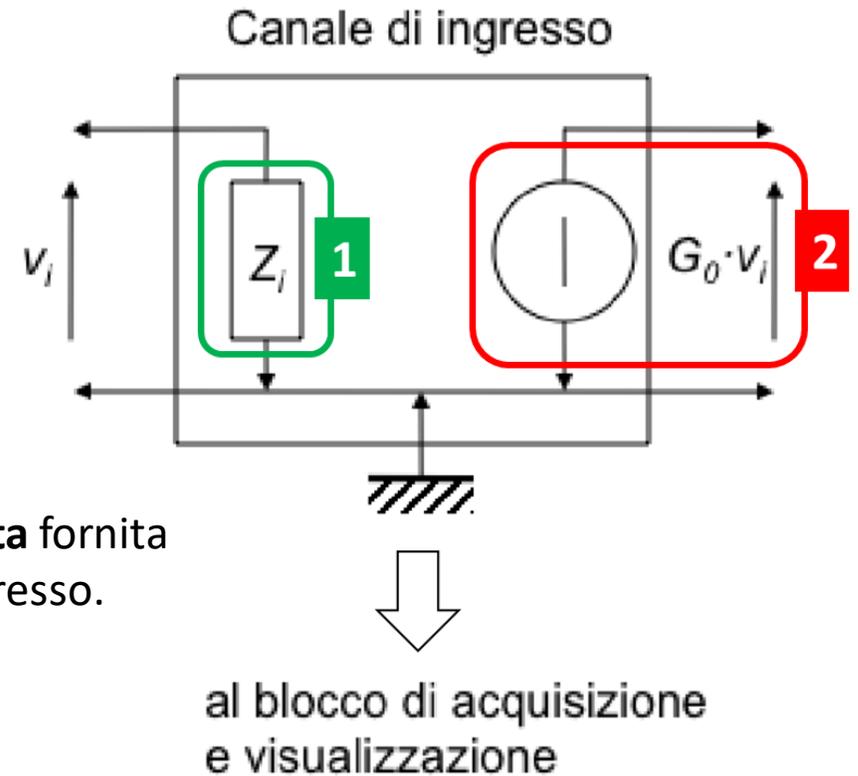
- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale
  
- Generatore: schema funzionale
- Regolazione parametri del segnale



# Canali di ingresso

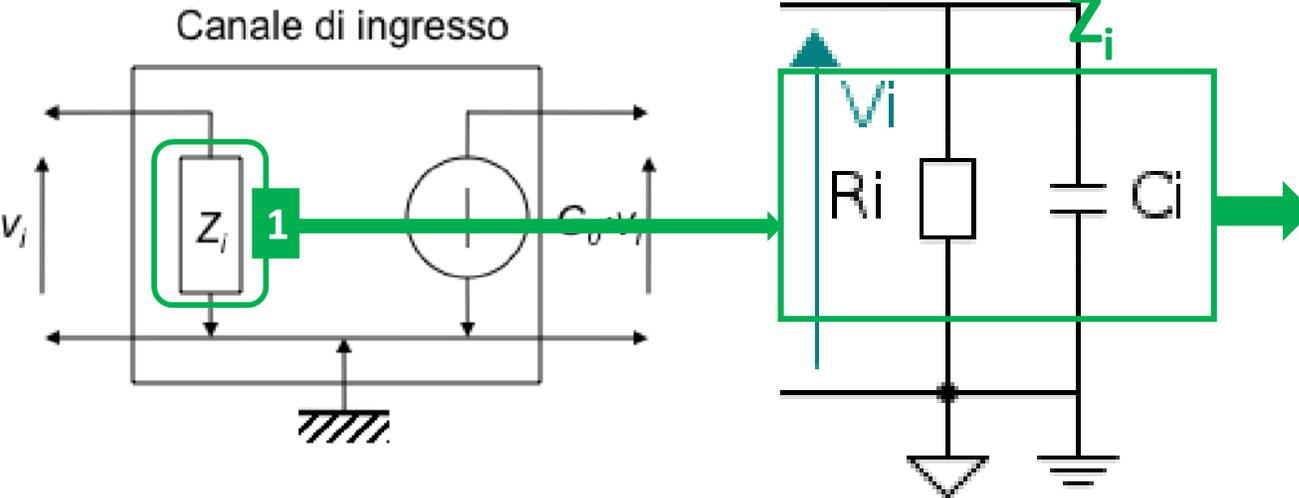


- Percorso attraverso il quale il segnale è trasferito all'ingresso del blocco di acquisizione e visualizzazione.



- modello elettrico di doppio bipolo unidirezionale, con tensione di uscita fornita da **generatore di tensione dipendente**, controllato dalla tensione di ingresso.
- comprende l'insieme dei circuiti necessari per
  - 1) realizzare **adeguata impedenza di ingresso**
  - 2) ottenere **adeguata amplificazione o attenuazione**

# Canale di ingresso: Impedenza di ingresso



**IMPEDENZA EQUIVALENTE DI INGRESSO ( $Z_i$ )**  
 si può rappresentare con il parallelo di una resistenza di valore standard  $R_i = 1 \text{ M}\Omega$  ed una capacità  $C_i \approx N \cdot 10 \text{ pF}$ .

Questi valori fanno sì che:

- alle **basse frequenze**, il modulo dell'impedenza equivalente sia pressochè **coincidente con  $R_i$**  e, di conseguenza, **effetto di carico** sulla sorgente di segnale risulta in molti casi **trascurabile**.
- all'**aumentare della frequenza** dei segnali, **l'impedenza di ingresso totale diminuisce** sensibilmente a causa della progressiva riduzione del valore di **reattanza capacitiva  $X_i$**  in parallelo alla resistenza e inversamente proporzionale alla frequenza  **$X_i = -1/(2\pi f \cdot C_i)$**

$$Z_i = R_i // \frac{1}{j2\pi f C_i} = \frac{R_i \cdot \frac{1}{j2\pi f C_i}}{R_i + \frac{1}{j2\pi f C_i}} = \frac{R_i}{1 + j2\pi f R_i C_i}$$

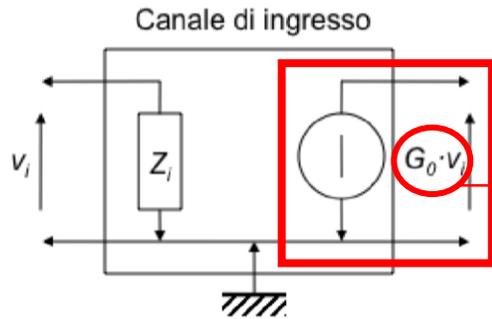
Impedenza Equivalente  $Z_i$

razionalizzando (moltiplicando numeratore e denominatore per  $j$ ), evidenzio la **reattanza capacitiva**  $j \frac{-1}{2\pi f C_i}$

| $f$     | $R_i$        | $ X_i $       | $ Z_i $        |
|---------|--------------|---------------|----------------|
| 0       | 1 M $\Omega$ | $\infty$      | 1 M $\Omega$   |
| 1 kHz   | 1 M $\Omega$ | 10 M $\Omega$ | 900 k $\Omega$ |
| 1 MHz   | 1 M $\Omega$ | 10 k $\Omega$ | 10 k $\Omega$  |
| 10 MHz  | 1 M $\Omega$ | 1 k $\Omega$  | 1 k $\Omega$   |
| 100 MHz | 1 M $\Omega$ | 100 $\Omega$  | 100 $\Omega$   |

**N.B.** Spesso fornita opzione  $R_i=50\Omega$  consigliata per segnali con contenuti in frequenza  $> \text{MHz}$ , per cui è preferibile lavorare in condizioni di adattamento di impedenza ( $R_i$ =resistenza della linea che collega alla sorgente).

# Canale di ingresso: Risposta in frequenza



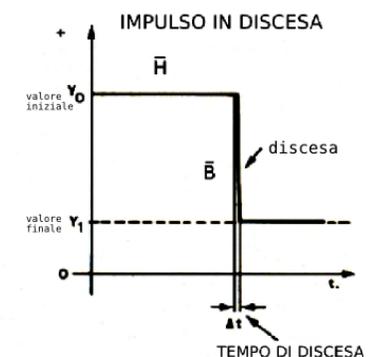
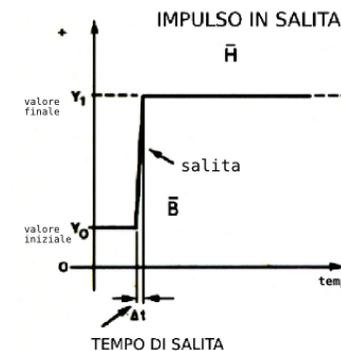
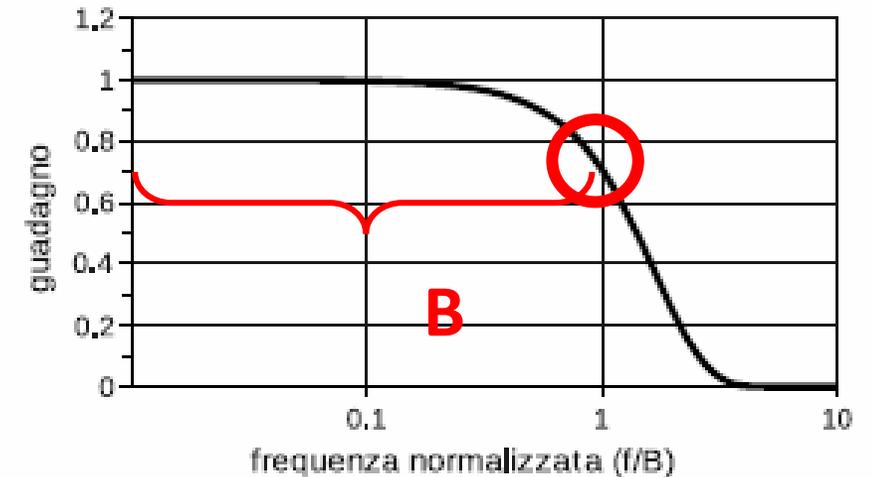
coefficiente di proporzionalità  $G_0$ , che dipende dai fattori di scala, può essere descritto come  **$G(f)$ , in termini di risposta in frequenza** → determina una **banda passante, finita**, che dipende dalle caratteristiche dei circuiti che lo compongono.

- Nelle specifiche di un oscilloscopio viene di norma indicata la **banda passante a -3 dB dello strumento (B)**.

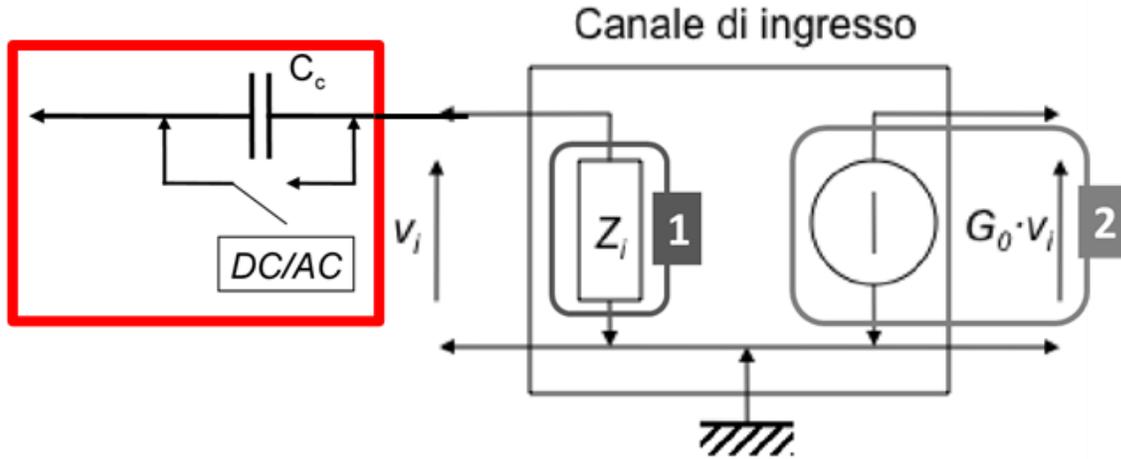
N.B. alla frequenza massima l'attenuazione in ampiezza è circa del 30%: un segnale sinusoidale a questa frequenza non verrebbe misurato correttamente.

- **Banda passante** tipica per strumenti di impiego generale 100 MHz, per gli strumenti di maggiori prestazioni alcuni GHz

Si devono pertanto valutare con attenzione le caratteristiche del segnale da osservare per evitare che certe frequenze vengano attenuate, soprattutto per quanto riguardano le componenti a più alta frequenza (FRONTI DI SALITA)

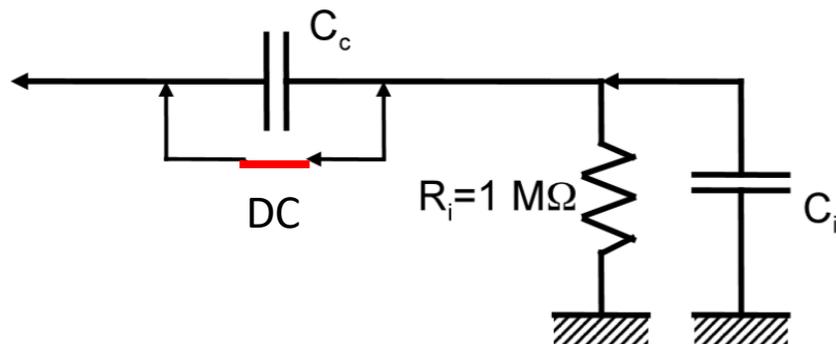


# Circuito di accoppiamento DC/AC

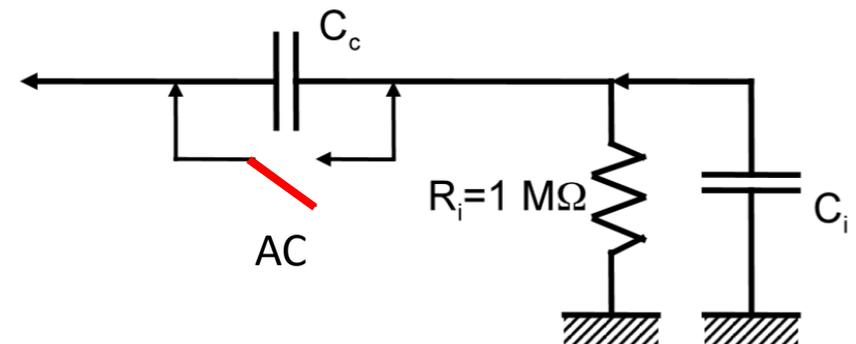


➤ Prima del blocco canale in ingresso, costituito da una **capacità di accoppiamento  $C_c$**  in serie all'ingresso, che può essere inserita o meno nel percorso del segnale

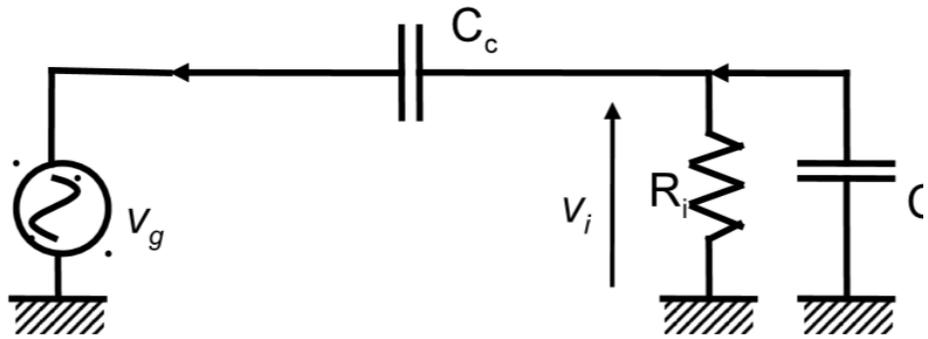
- **Modalità in corrente continua (DC):** chiusura dell'interruttore pone in cortocircuito la capacità  $C_c$ .
- Il segnale bypassa la capacità, e quindi ritroviamo all'ingresso dell'oscilloscopio l'intero segnale, inclusa la componente continua.



- **Modalità in corrente alternata (AC):** apertura dell'interruttore consente di caricare la capacità  $C_c$ .
- Il segnale incontra la capacità, la quale blocca la componente continua e lascia passare solo la componente alternata che quindi ritroviamo all'ingresso



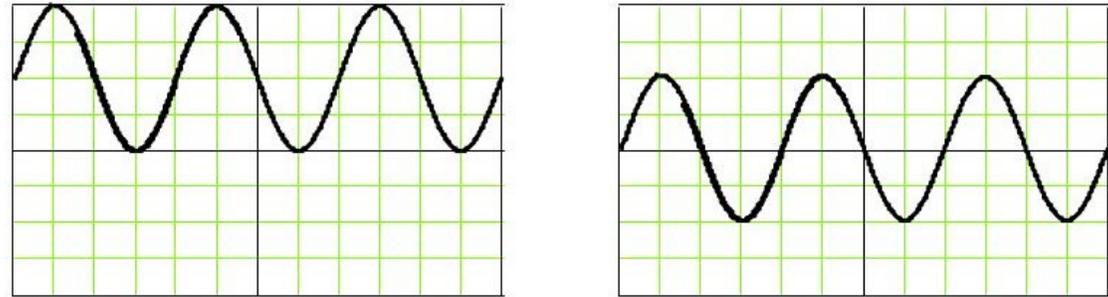
# Circuiti accoppiamento AC



*Utilizzato nel caso in cui interessino le componenti in alternata e non la componente in continua del segnale.*

*Ma cosa succede su eventuali componenti a basse frequenze?*

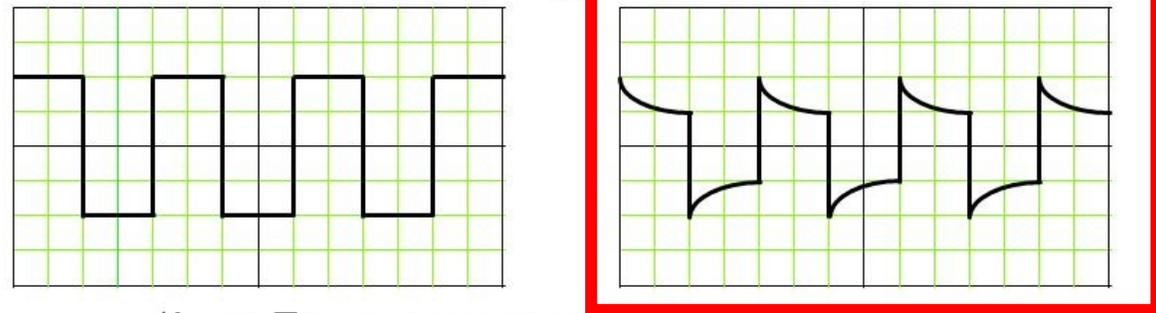
AC-Coupling-Advantage



\*Removes DC Portion of Signal

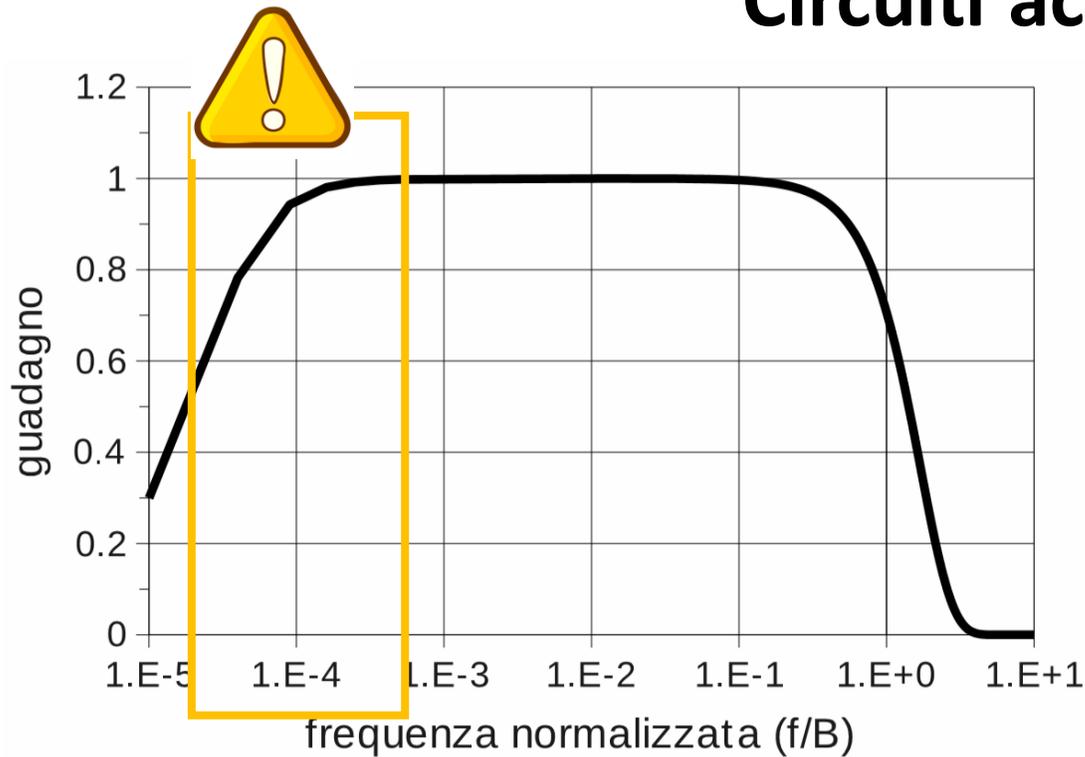
N.B. Esiste comunque un **limite massimo di tensione**, oltre il quale lo strumento può venire danneggiato. In particolare, **superato un certo valore di tensione continua** il condensatore di accoppiamento **non è più in grado di garantire l'isolamento** e la conseguente scarica può comportare **alterazioni irreversibili**.

AC-Coupling-Disadvantage

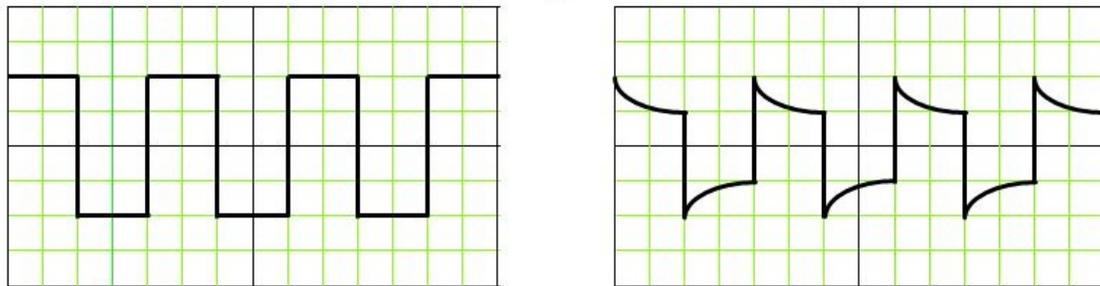


\*Low Frequency waveforms can be cut-off

# Circuiti accoppiamento AC



## AC-Coupling-Disadvantage



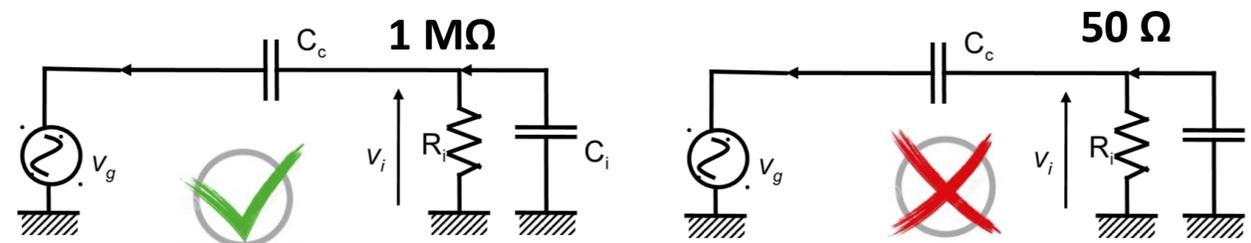
\*Low Frequency waveforms can be cut-off

## Svantaggio accoppiamento AC:

Introdotta forte attenuazione alle basse frequenze.

misure di ampiezza fornite da un oscilloscopio con accoppiamento in alternata sono attendibili soltanto per frequenze di almeno **un ordine di grandezza maggiori di quella di taglio, ossia a partire da circa 50-100 Hz.**

N.B. combinazione tra **accoppiamento in alternata** ed **impedenza di ingresso di 50  $\Omega$**  in genere non considerata e non consentita, poiché **frequenza di taglio della rete di accoppiamento aumenterebbe proporzionalmente alla diminuzione della resistenza**, passando in un esempio con  $C_c=0.02\mu\text{F}$  da circa 10 Hz a circa 200 kHz utilizzando la formula di calcolo della frequenza di taglio  $1/(2\pi R_i C_c)$ .

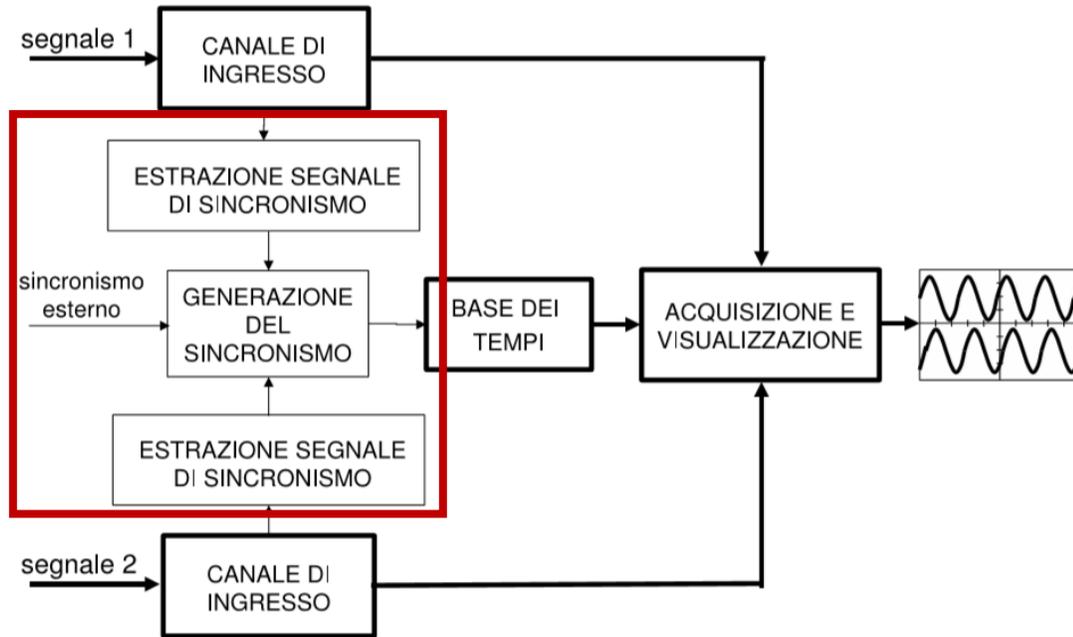


# Outline

- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale
- Generatore: schema funzionale
- Regolazione parametri del segnale



# Sezione di sincronismo

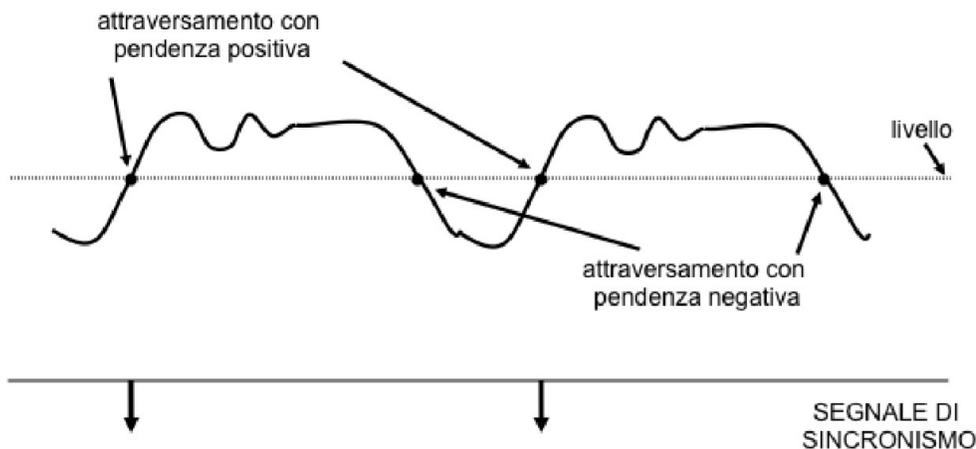


## ESTRAZIONE DEL SEGNALE DI SINCRONISMO

- A ciascun canale associato un **circuito di estrazione del sincronismo** che agisce sul segnale di ingresso
- Individua un **punto di riferimento nella forma d'onda**, utilizzabile per la sincronizzazione dello strumento.
- Essenziale per visualizzare a schermo **la parte di interesse**

## GENERAZIONE DEL SEGNALE DI SINCRONISMO

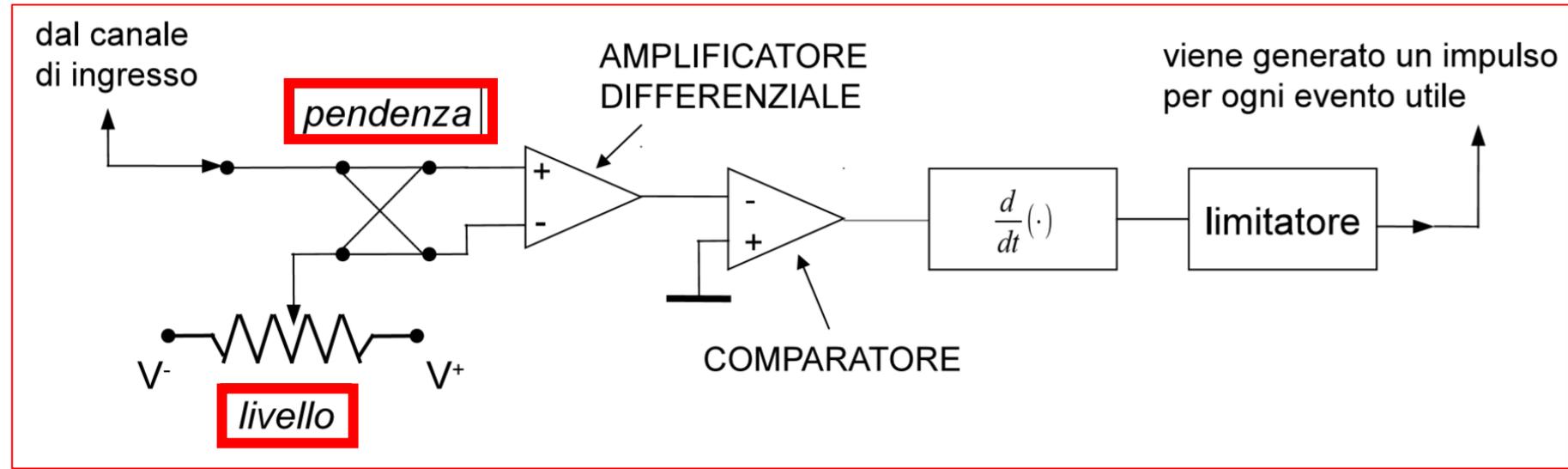
- Specifico blocco che agisce combinando ed elaborando diversi segnali di sincronismo ricevuti come ingressi per produrre **l'effettivo comando di sincronizzazione**.
- **informazioni di sincronismo** possono provenire oltre che **dai segnali stessi** anche **da un segnale esterno**, sia in alternativa a quelli interni, sia per introdurre ulteriori condizioni.



# Sezione di sincronismo: circuito di trigger

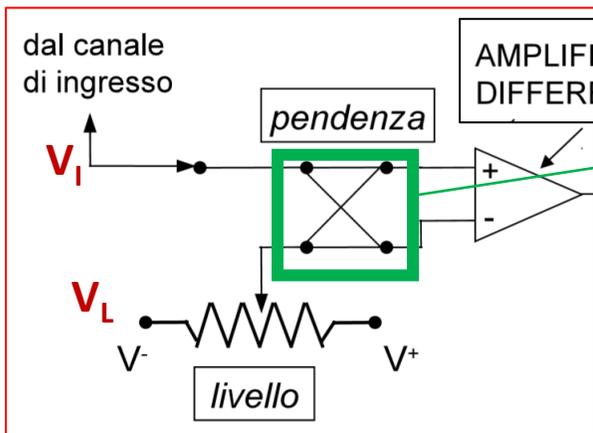
→ Genera un impulso in corrispondenza ad ogni evento utile, individuato da una condizione di:

- **livello** (tradotto in una regolazione della tensione aggiunta al segnale di sincronismo)
- **pendenza** del segnale di ingresso (tradotta in un diverso collegamento degli ingressi all'amplificatore operazionale)



→ Gli elementi che lo compongono sono:

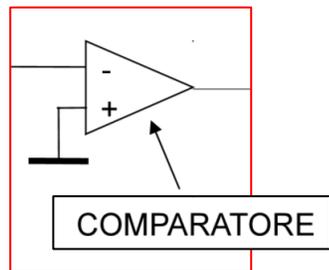
- **AMPLIFICATORE DIFFERENZIALE** e **COMPARATORE** rileva il verificarsi della condizione in cui il **segnale attraversa un livello di riferimento** prestabilito, attraverso una opportuna regolazione;
- **DERIVATORE** individua **se tale livello è attraversato con pendenza positiva oppure negativa**, ossia se l'ampiezza del segnale considerato sta crescendo o diminuendo nel tempo.
- **LIMITATORE** *mantiene solo gli impulsi positivi o negativi (in base alle convenzioni selezionate)*



In base alla scelta diversa della pendenza si agirà sulla posizione del **COMMUTATORE**

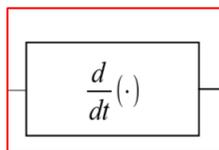
L'amplificatore differenziale avrà un'uscita che sarà proporzionale alla differenza tra segnale in ingresso e livello di trigger

Il **comparatore** fornisce un'uscita logica che mi permette di individuare dove il segnale è maggiore o minore del livello di trigger.



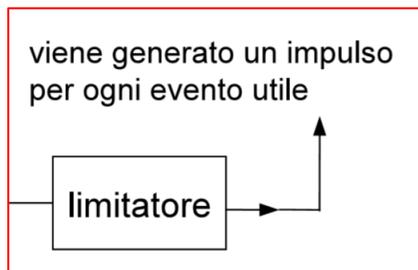
$V_C$  (USCITA COMPARATORE)

Il **derivatore** deriva il segnale in ingresso, (segnale rettangolare) fornendo un treno di impulsi positivi e negativi in relazione alla pendenza del segnale.

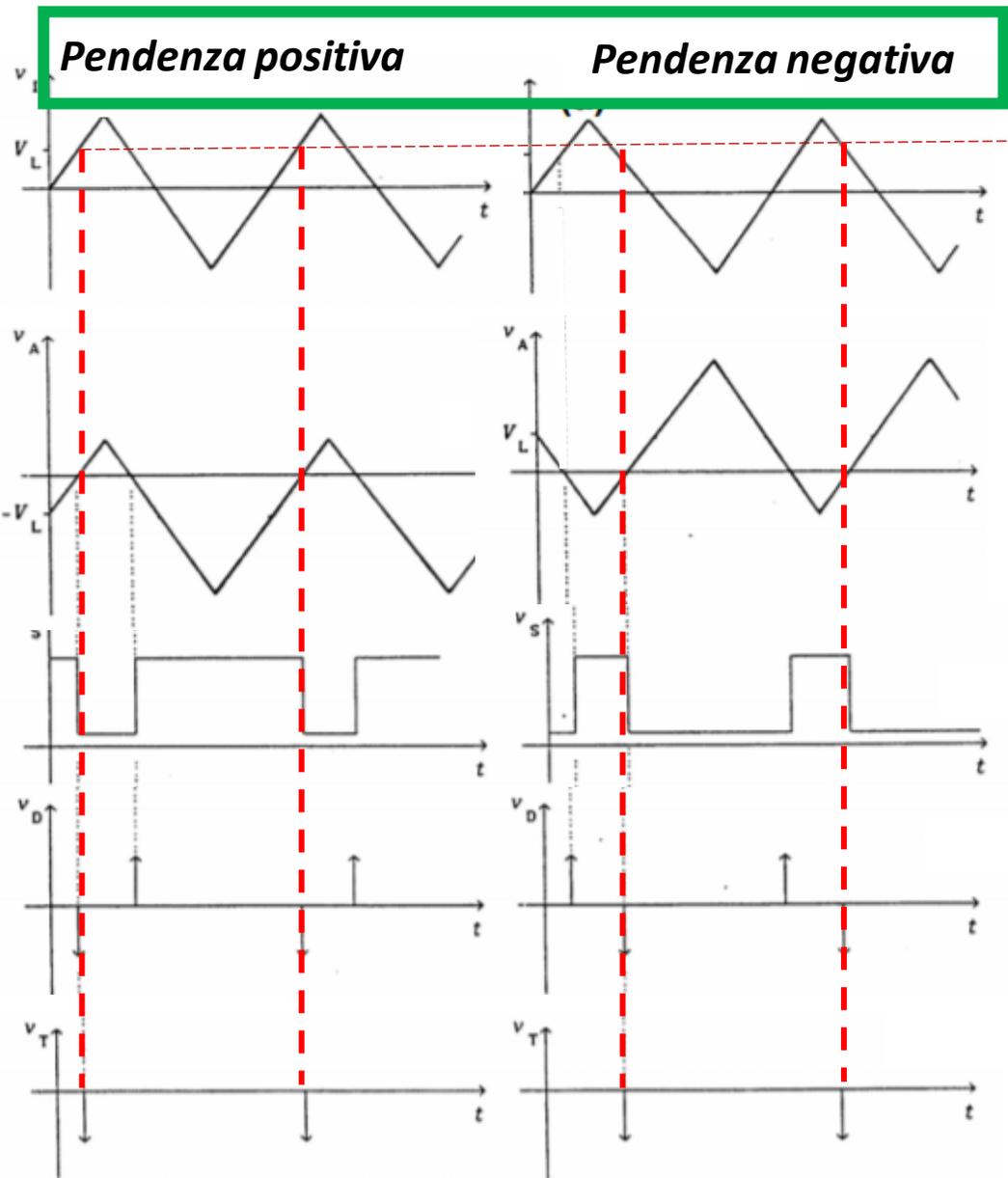
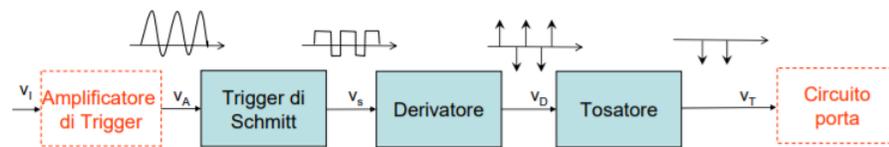


$V_D$  (USCITA DERIVATORE)

Il **tosatore/limitatore** elimina gli impulsi positivi, il segnale ottenuto viene inviato al blocco successivo



$V_T$  (USCITA LIMITATORE /TOSATORE)



# Sezione di sincronismo: Hold-off

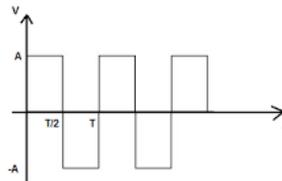
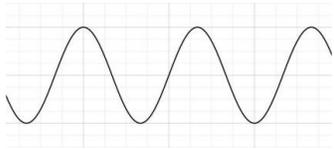
## COMANDO DI DISABILITAZIONE o di HOLD-OFF



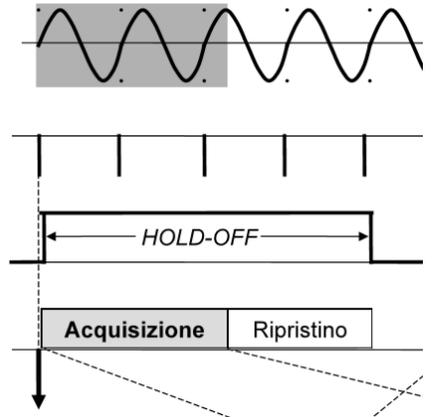
È un comando che permette di ottenere una traccia **stabile e ripetitiva**, tenendo in considerazione insieme sia le **caratteristiche del segnale** e le **tempistiche di lavoro dello strumento**, per evitare di prendere in considerazione **altri impulsi provenienti dal trigger fino a fine acquisizione e ripristino** del sistema.

### Come può essere impostato il comando di disabilitazione o hold-off?

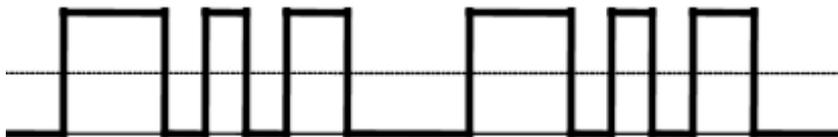
Nei casi più semplici, **HOLD OFF PREFISSATO** (es. strumenti del nostro lab 40 ns)



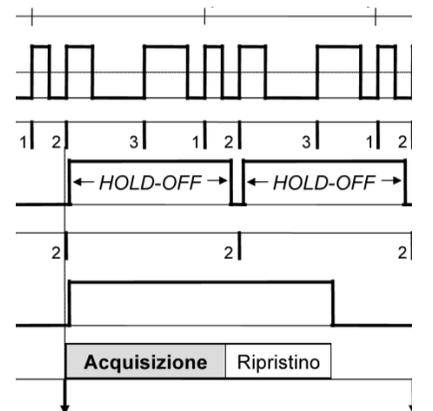
è sufficiente che, una volta impartito il comando di sincronismo, gli impulsi di trigger vengano disattivati per un intervallo di tempo corrispondente alla **somma della durata delle fasi di acquisizione e ripristino**.



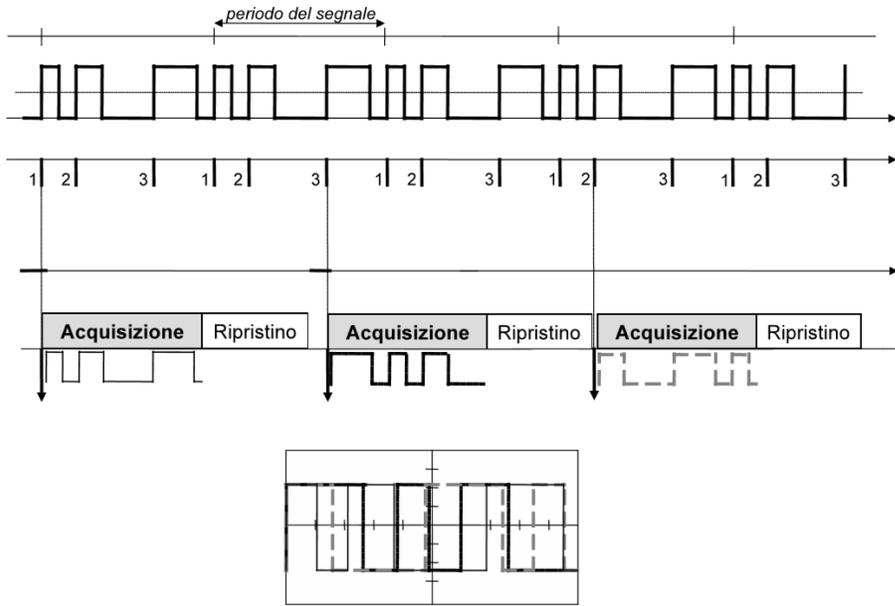
Nei casi più complessi, **HOLD OFF MANUALE**



necessario **hold-off regolabile**, in grado di adattarsi alle diverse caratteristiche dei segnali osservati, in modo da consentire che gli impulsi di trigger siano due ed agiscano in modo coordinato

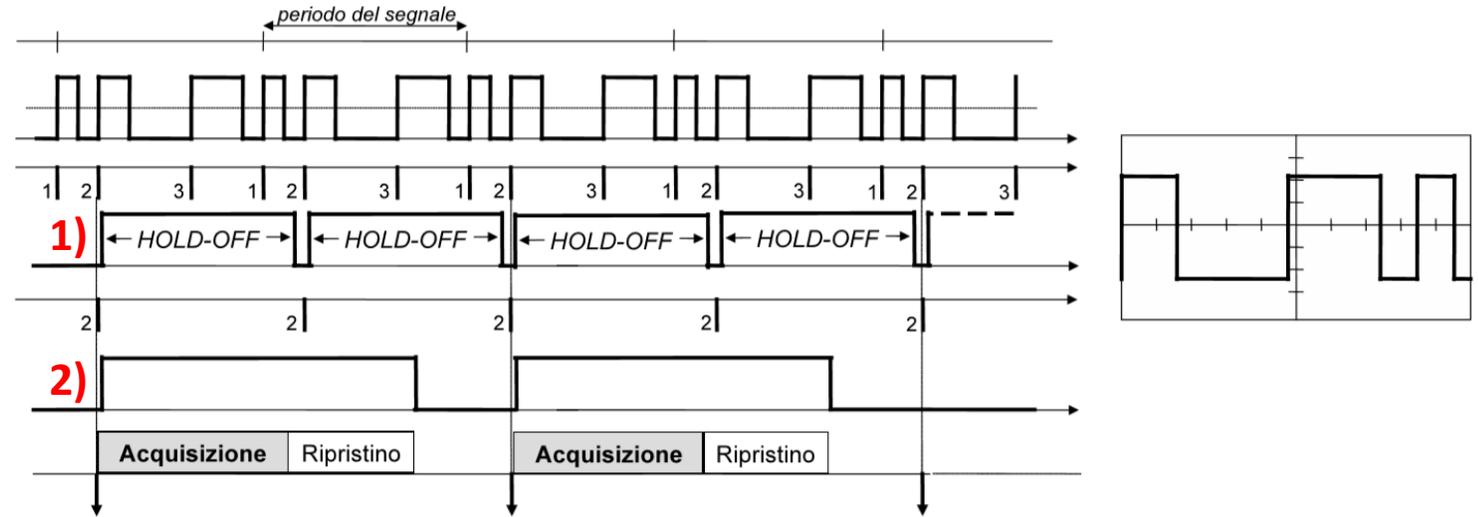


# Sezione di sincronismo: Hold-off



***durata del tempo di disabilitazione fisso come somma durate acquisizione e visualizzazione.***

si può notare come, in successive acquisizioni, il comando di sincronismo sia associato alla **prima transizione del periodo, poi alla terza ed infine alla seconda**. Pertanto ogni nuova acquisizione, pur riferendosi sempre allo stesso intervallo di osservazione  $T_w$ , inizia da un punto diverso. La traccia visualizzata risulta così dalla sovrapposizione di più porzioni diverse.



***Regolazione del tempo di hold-off e generazione del sincronismo in due fasi.***

- 1) il **primo segnale modificabile** serve a stabilire una **separazione minima tra impulsi di trigger consecutivi**: impulsi la cui distanza sia inferiore all'intervallo di tempo specificato non possono cioè essere presi in considerazione per la generazione del sincronismo.  
*(tiene conto delle caratteristiche del segnale, impostato conoscendo il periodo)*
- 2) Il **secondo segnale di durata fissa, pari alla somma dei tempi di acquisizione e di ripristino**, sufficiente, nella condizione creatasi, per gestire correttamente il ciclo di funzionamento dello strumento.  
*(tiene conto dei vincoli legati al funzionamento interno dello strumento)*

# Sonde per oscilloscopio

- Qualsiasi elemento che permetta di **prelevare il segnale di interesse, portarlo ai connettori di ingresso dello strumento di misura con l'obiettivo di ridurre l'errore di misura che nasce dal collegamento.**
- Una sonda costituisce **parte integrante del circuito** di misura e contribuisce a determinarne **l'accuratezza complessiva.**

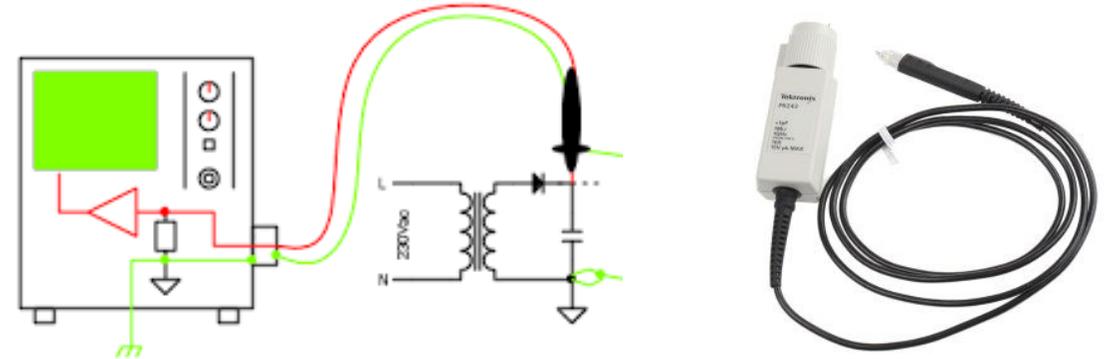
## ➤ **SONDE PASSIVE**



- più **diffuse** e più adatte a misurare i **segnali più tipici.**

- caratterizzate da un **livello di attenuazione**, che consiste nella riduzione della tensione in ingresso al circuito.
- **Possiedono spesso sistemi di compensazione per evitare** di introdurre un carico non trascurabile nei circuiti di misura più comuni.

## ➤ **SONDE ATTIVE e DIFFERENZIALI**



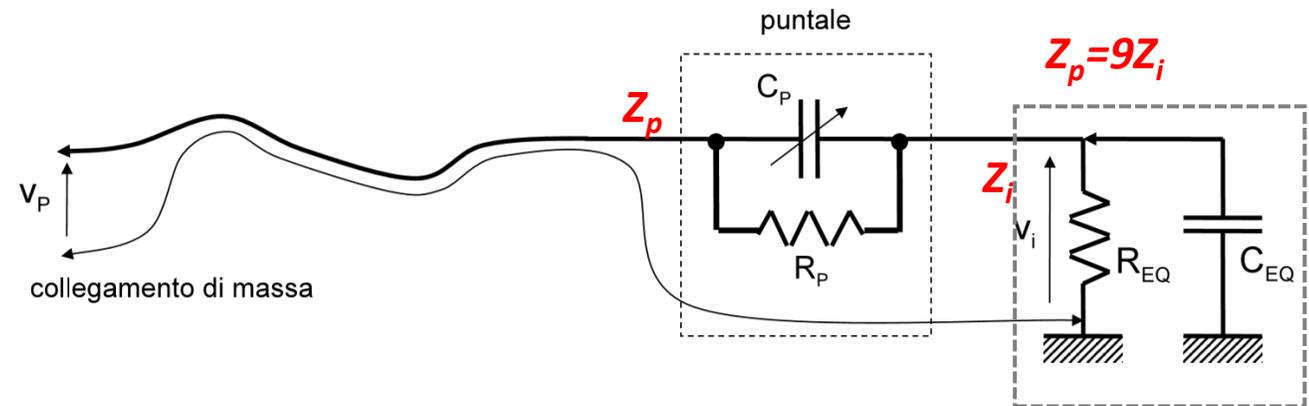
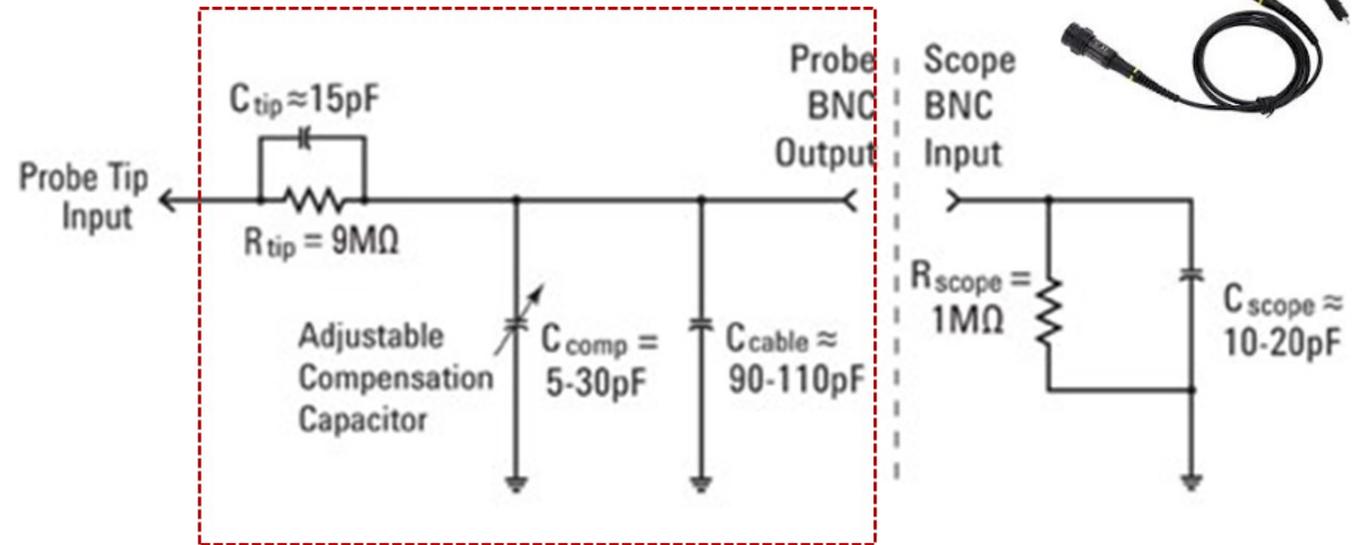
- **segnali ad alta frequenza, molto deboli e differenziali.**
- con **circuiti integrati** progettati per assicurare l'integrità del segnale durante l'accesso e la trasmissione
- le attive dotate di circuiti propri di **alimentazione** e di buffer che richiedono corrente continua.
- le differenziali consentono di **acquisire segnali non riferiti massa**

# Sonde passive ad alta impedenza compensate

- **OBIETTIVO: ridurre l'effetto di carico** che l'inserimento dello strumento provoca sul circuito misurato
- L'effetto più significativo è dovuto alla **capacità C cable**, che nei cavi coassiali di uso comune è di **0.5-2 pF/cm**, che in parallelo all'impedenza di ingresso dello strumento, contribuisce all'**impedenza complessiva vista dalla sorgente di segnale**.

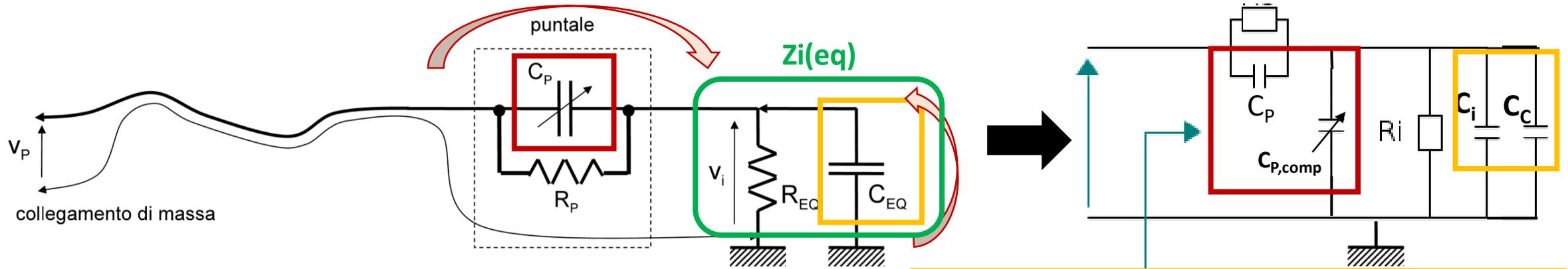
Esempio: cavo della lunghezza di 1 m → aumento della componente capacitiva di circa un ordine di grandezza, cosa che può alterare in maniera significativa il comportamento del circuito oggetto della misura

- schematizzabile come **rete elettrica a parametri concentrati**, tra la **sorgente di segnale** e l'**ingresso dello strumento**:
  - 1) **rete passiva** (parallelo tra  $R_{tip}$  e  $C_{tip}$ ) contenuta nel puntale
  - 2) **capacità di regolazione** ( $C_{comp}$ )
  - 3) **cavo coassiale** ( $C_{cable}$ )



- Tipo più comune introduce **un'attenuazione di tensione di un fattore 10** (indicata come sonda 10:1, oppure come sonda **10x**)

# Sonde passive: schema elettrico



- Quando la sonda è collegata all'oscilloscopio, la **rete posta nel puntale** viene a trovarsi in serie all'impedenza  $Z_i(eq)$ , realizzando con essa un **partitore di tensione**

- $C_{EQ}$  rappresenterà quindi la somma di:
  - la capacità di ingresso dell'oscilloscopio,  $C_i$ ;
  - la capacità del cavo coassiale,  $C_C$ ;
- $C_p$  rappresenterà quindi la somma di:
  - la capacità fissa del puntale,  $C_p$ ;
  - la capacità regolabile,  $C_{p,comp}$ ;

- Per **TENSIONI CONTINUE**

il fattore di attenuazione è

$$R_i / (R_P + R_i)$$

Quando  $R_p = 9 \cdot R_i$ ,  
la sonda attenua di un fattore 10.

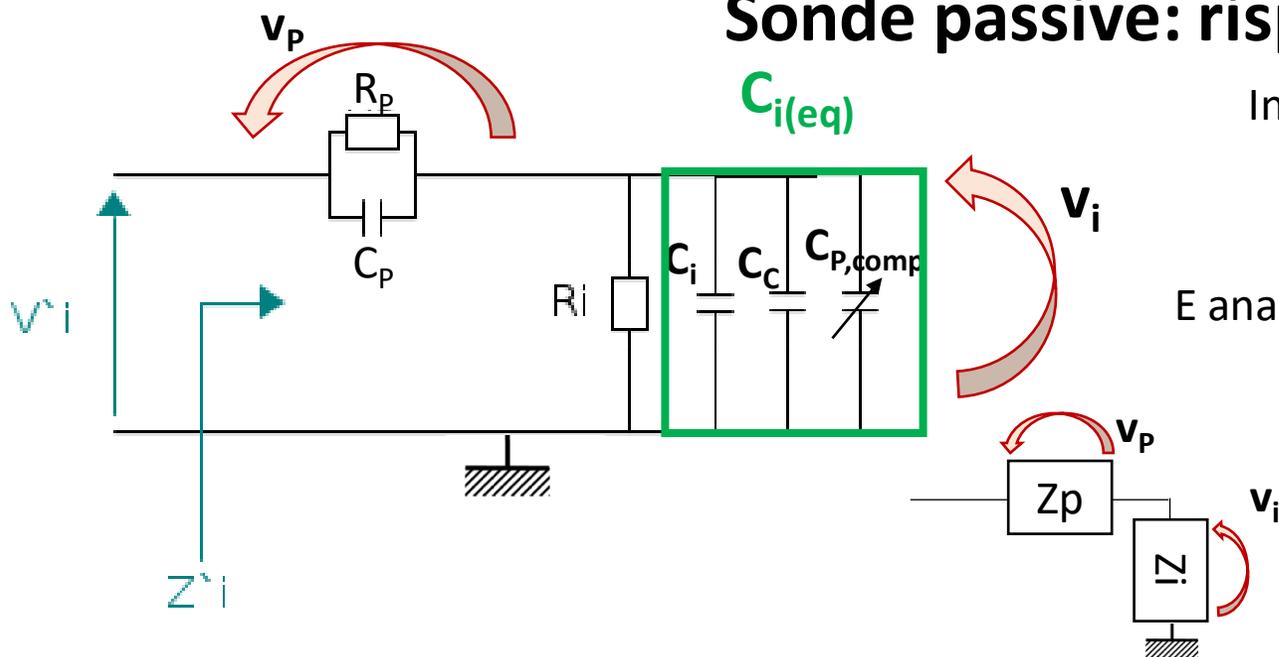
- Per **TENSIONI ALTERNATE**

la capacità  $C_{p,comp}$  serve a compensare l'effetto della capacità  $C(eq)$ , in modo da mantenere una

**attenuazione costante** in tutta la **banda passante** dello strumento.



# Sonde passive: risposta in frequenza



Infatti, l'impedenza del parallelo tra  $R_p$  e  $C_p$  è data da:

$$Z_P(\omega) = R_P \frac{1}{1 + j\omega R_P C_P}$$

E analogamente l'impedenza del parallelo tra  $R_i$  e  $C_i$  è data da:

$$Z_i(\omega) = R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}$$

Il **rapporto di partizione** tra la tensione  $v_p$  prelevata dalla sonda e quella,  $v_i$ , presente all'ingresso dello strumento è:

$$\frac{v_i}{v_P} = \frac{R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}}{R_P \frac{1}{1 + j\omega R_P C_P} + R_i \frac{1}{1 + j\omega R_i C_{i(eq)}}}$$

Se è soddisfatta la **condizione di compensazione**:

$$R_P C_P = R_i C_{i(eq)}$$

tale rapporto diventa indipendente dalla frequenza e resta determinato soltanto da  $R_i / (R_P + R_i)$  come nel caso delle tensioni continue.

Quindi in ogni sonda passiva:

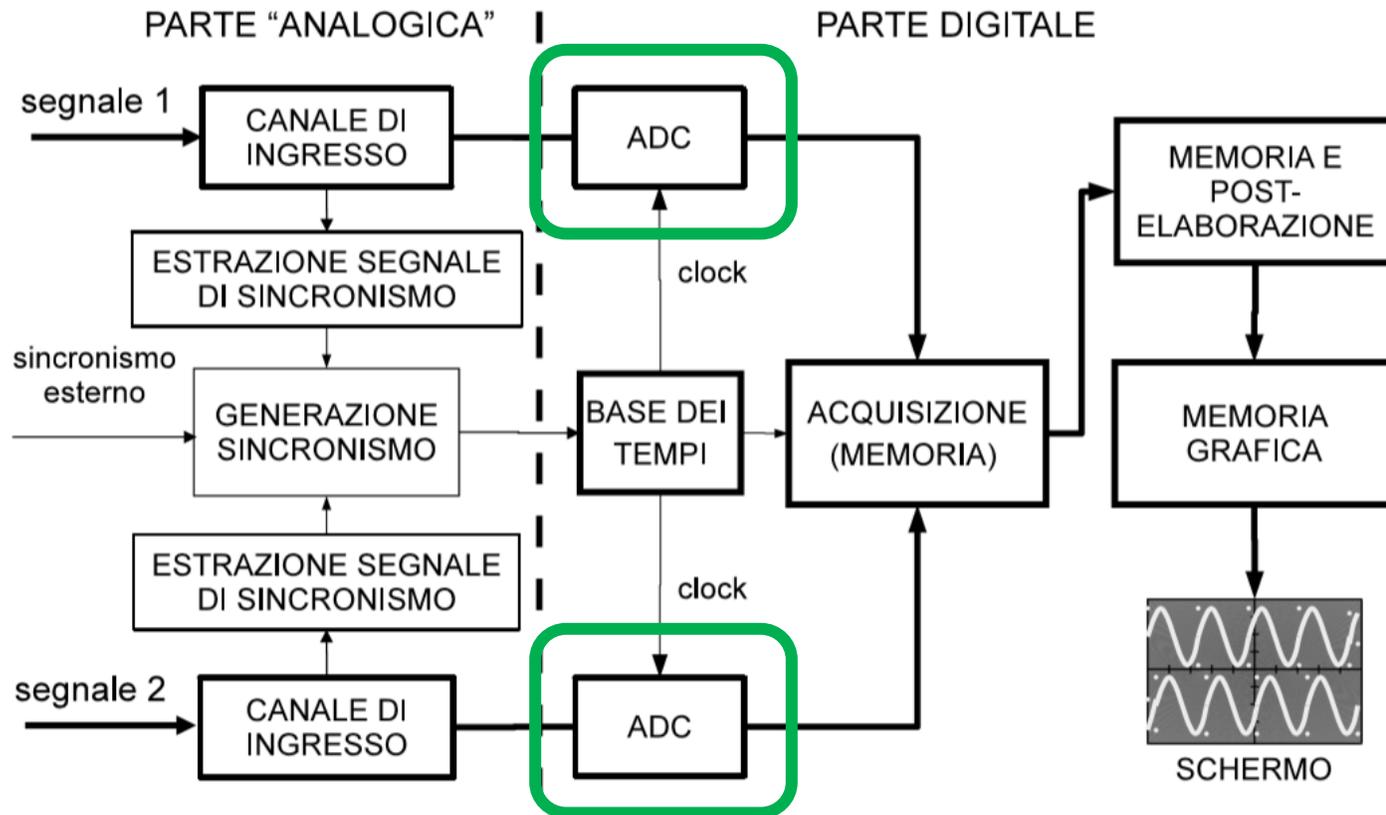
- ❖ **valore di  $R_p$**  è determinato dal **fattore di attenuazione** per il quale la sonda è stata progettata.
- ❖ **valore di  $C_{p,comp}$**  è variabile e deve essere **regolato in modo da realizzare effettivamente la condizione di compensazione**. Questa regolazione è necessaria in quanto il valore  $C_i$  non è garantito con la stessa stabilità e ripetibilità di  $R_i$ ; ad esempio, anche per uno stesso modello di strumento la capacità di ingresso può variare da un esemplare all'altro.

# Outline

- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale
- Generatore: schema funzionale
- Regolazione parametri del segnale



# Campionamento e ADC



## GESTIONE DELLA CONVERSIONE

- Basato su **convertitori analogico-digitali ad alta velocità** (con organizzazione molto simile a quella già discussa a proposito dei *sistemi di acquisizione dati*).
- Ciascun canale **completamente distinto dagli altri (no multiplexer)**, salvo la possibilità, in alcuni strumenti, di utilizzare **una memoria di acquisizione comune a più canali**.
- La **risoluzione del convertitore è in genere pari a 8 bit**, così che l'ampiezza del segnale campionato viene quantizzata su un massimo di  $2^8 = 256$  livelli. In alcuni strumenti di fascia più alta vengono utilizzati **convertitori a 10 o 12 bit**.

# Campionamento



## GESTIONE DEL CAMPIONAMENTO

- massima frequenza di campionamento alla quale il convertitore può operare va posta in relazione con la massima larghezza di banda disponibile per i segnali in ingresso:

$$f_s > 2B$$

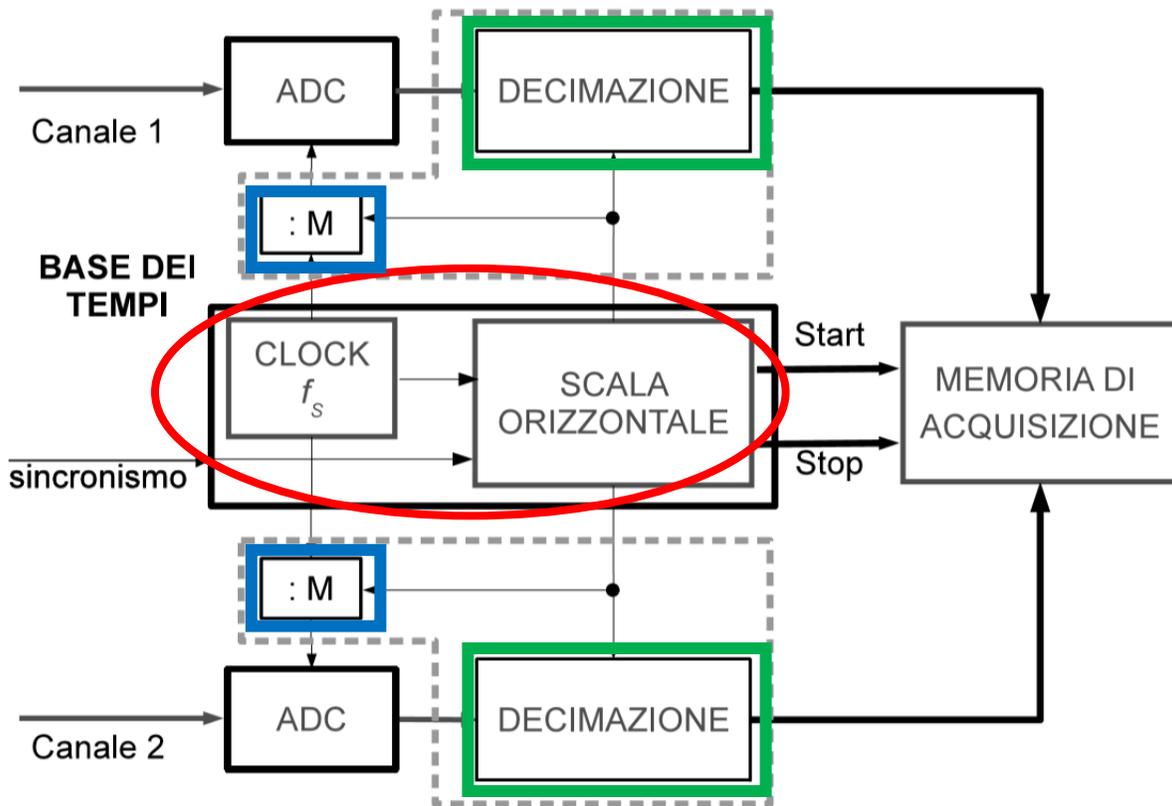
- Noto che la **BANDA PASSANTE** di solito è:  
Nei più comuni → 100 MHz  
Nella fascia medio-alta → 300-500 MHz  
Nei più sofisticati → qualche GHz.

- ✓  $f_s > 2B$
- ✓ *non idealità*

- Detta  $f_s$  la massima frequenza di campionamento, la minima separazione temporale tra due campioni consecutivi è  $T_s = 1/f_s$ .
- Data una profondità di memoria per canale pari ad **N campioni** e data la minima distanza che potrà esistere tra i campioni  $T_s$ , l'intervallo di osservazione completo minimo corrisponderà a  $N \cdot T_s$

- *Fattore di sovraccampionamento almeno del 20-25%.*
- *Frequenze di campionamento sono comprese tra qualche centinaio di MHz e qualche decina di GHz.*

# Base dei tempi: regolazione del campionamento



➤ Il blocco **base dei tempi** interagisce con:  
1) i convertitori A/D  
2) la memoria di acquisizione (N campioni).

- La regolazione del **fattore di scala orizzontale** dello strumento stabilisce l'intervallo di osservazione  $T_w$  presentato sullo schermo dell'oscilloscopio.
- Ricordando che  $T_w = f_s * N$ , con **valore N di campioni in memoria fisso**, a una variazione del fattore di scala, e quindi di  $T_w$ , deve corrispondere la **capacità di variare la modalità di acquisizione e memorizzazione dei campioni**.

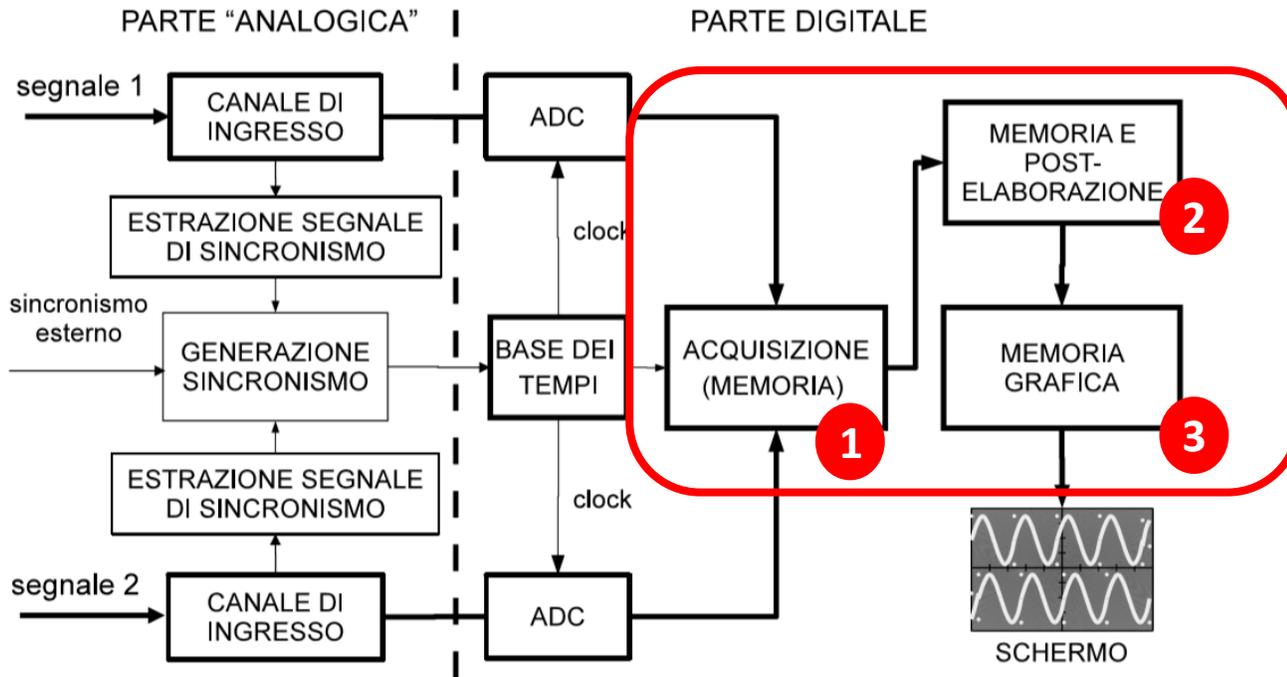
In base alla scelta del fattore di scala orizzontale,  
tre possibilità di **modificare la cadenza di memorizzazione dei campioni**:

→ **Riduzione della frequenza di clock (adattamento di  $f_s$ )**

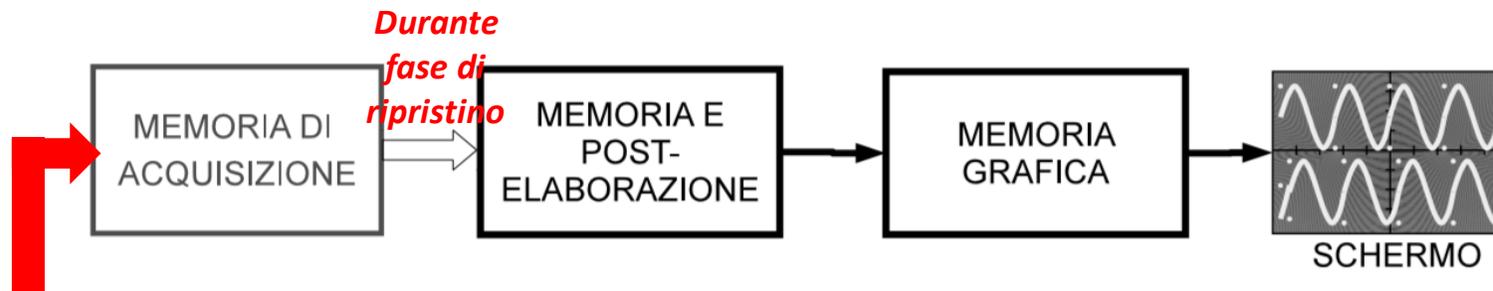
→ **Decimazione** (nel caso in cui scendere con  $f_s$  comporti aliasing,  $f_s$  fissa solo selezionati i campioni)

→ Mediante una **combinazione delle due**

# Struttura della memoria



- Comprende 3 diverse memorie, per garantire la **conservazione dei segnali** acquisiti per successive **elaborazioni** o **confronti** con altri segnali acquisiti in tempi e condizioni diverse.
- Con più canali di ingresso, si fa riferimento al **numero massimo di campioni associato a ciascun canale**, detto ***profondità di memoria dello strumento***, poichè la memoria complessivamente disponibile **può essere variamente ripartita a seconda del numero di canali di ingresso attivati** per la misura



- All'ingresso, **flusso continuo di campioni**, che viene **interrotto soltanto** durante la **fase di ripristino**, nella quale i dati acquisiti dallo strumento sono **trasferiti alla memoria di forma d'onda (post-elaborazione)**.
- Dati trasferiti **periodicamente**, ma in **grandi quantità**, impongono la presenza di una **struttura hardware progettata per trattare ed elaborare insiemi di campioni, in modo da consentire un rapido aggiornamento della traccia**

# Struttura della memoria

**memoria temporanea** alla quale vengono *trasferiti i campioni acquisiti*, resi disponibili dal convertitore analogico-digitale (*equivalente a quella vista per i DAQ*)

→ **caratterizzata da una elevata velocità**

→ punto di congiunzione tra l'**acquisizione**, caratterizzata dalla necessità di trasferire i dati ad alta velocità e l'**elaborazione**, nella quale processori dedicati servono sia ad implementare algoritmi di misura, sia a convertire i dati in un formato grafico adatto alla visualizzazione.

*Esempio:* banda di 100 MHz può avere una frequenza di campionamento di almeno 250 MHz, tempo a disposizione per la scrittura di un campione in memoria **inferiore a 4 ns!** la cadenza di trasferimento dei dati (transfer rate), per un convertitore ad 8 bit (noto che 8 bit=1 byte) , è di **250 Mbyte/s**. Strumenti con prestazioni migliori transfer rate di qualche **Gbyte/s**

definita anche **memoria di forma d'onda**, è la memoria in cui viene trasferita l'intera sequenza di campioni alla fine di ogni sequenza di acquisizione

→ **Mantiene i dati disponibili per successive elaborazioni, necessarie sia per la visualizzazione, sia per gli algoritmi numerici con cui lo strumento può implementare una varietà di funzioni di misura.**

→ **Velocizza il ciclo di funzionamento dello strumento**, riducendo il tempo di ripristino per la successiva acquisizione al solo tempo necessario a trasferire i dati dalla memoria di acquisizione, rendendo possibile **eseguire in parallelo attività di acquisizione e di elaborazione**

memoria in cui i dati vengono quindi salvati in modo organizzato al fine di contenere le informazioni di misura nel **formato in cui queste verranno presentate sullo schermo** dello strumento



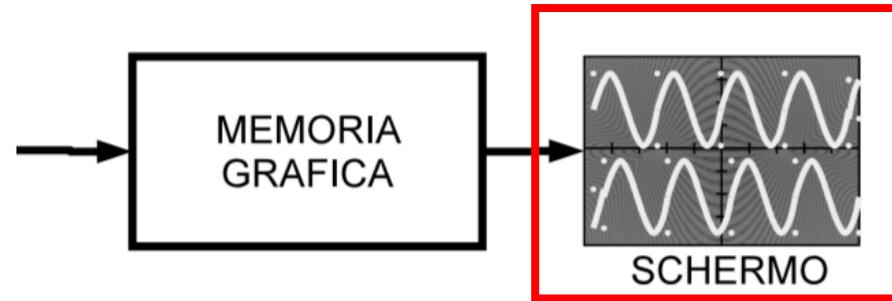
Necessario sistema **multiprocessore** piuttosto complesso, che comprende:

un **PROCESSORE DEDICATO ALLA GESTIONE COMPLESSIVA DELLO STRUMENTO**, allo scambio di informazioni e comandi con l'operatore tramite il **pannello frontale** ed alla gestione dell'interfaccia dati verso **elaboratore o rete**;

un **PROCESSORE DESTINATO ALL'ELABORAZIONE NUMERICA DEI CAMPIONI ACQUISITI**, che implementa i numerosi algoritmi utilizzati dallo strumento.

un **PROCESSORE DEDICATO ALLA PRESENTAZIONE GRAFICA** delle misure sullo schermo.

# Visualizzazione su schermo



## COME PUO' ESSERE CREATA UN'IMMAGINE SU UNO SCHERMO RASTER?

### Pilotaggio vettoriale (*Random scan*) in oscilloscopio analogico

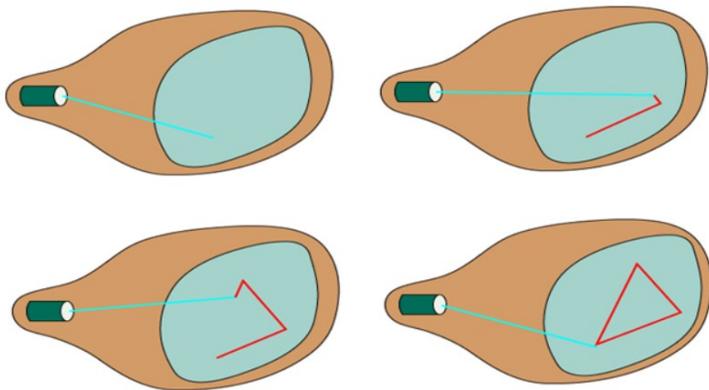
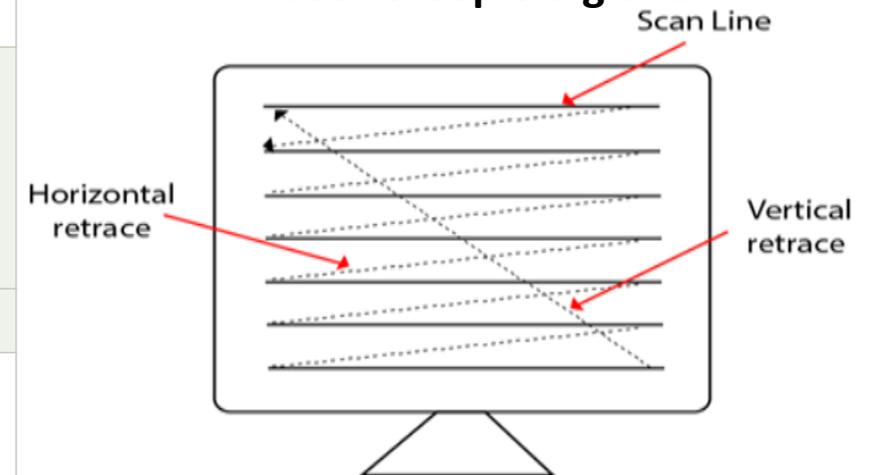


immagine non disegnata in modo predeterminato ma in base al segnale

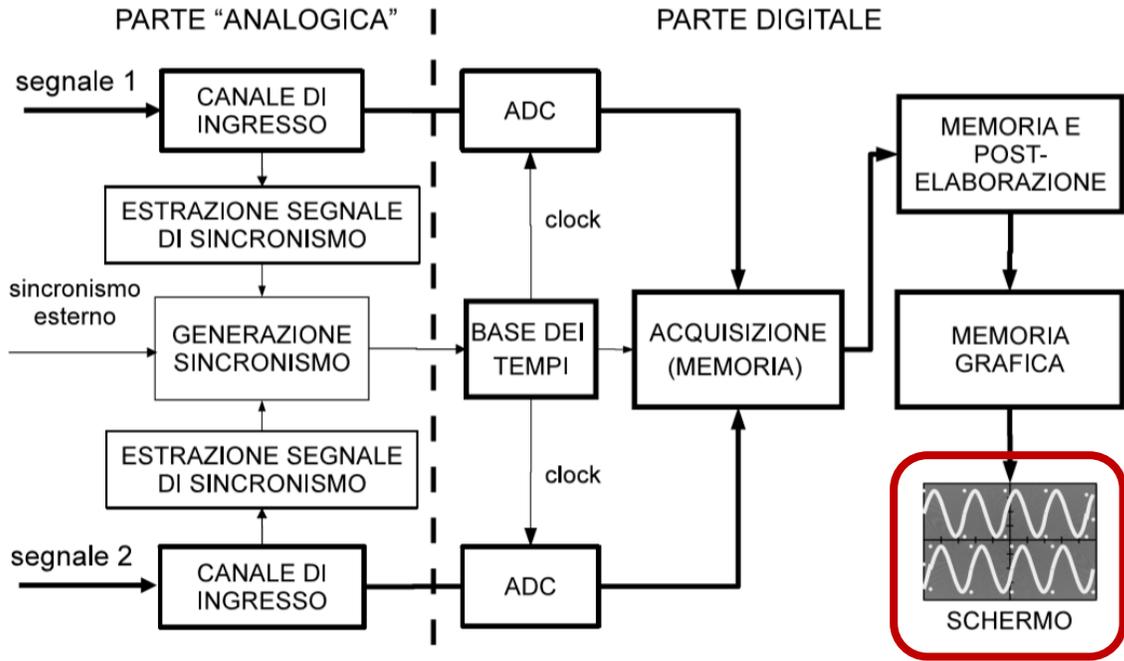
| Random Scan  | Raster Scan   |
|--|---|
| 1. Risoluzione più alta  | 1. Risoluzione più bassa                                      |
| 2. Non contiene informazioni salvate sul segnale rappresentato | 2. Le informazioni su ciascun pixel sono contenute in memoria |
| 3. Più costoso   | 3. Meno costoso   |
| 4. Ristretto al tracciare linea del segnale                    | 4. Adatto per display interattivi con altri messaggi          |

### Pilotaggio di tipo raster (*Raster-scan*) in oscilloscopio digitale

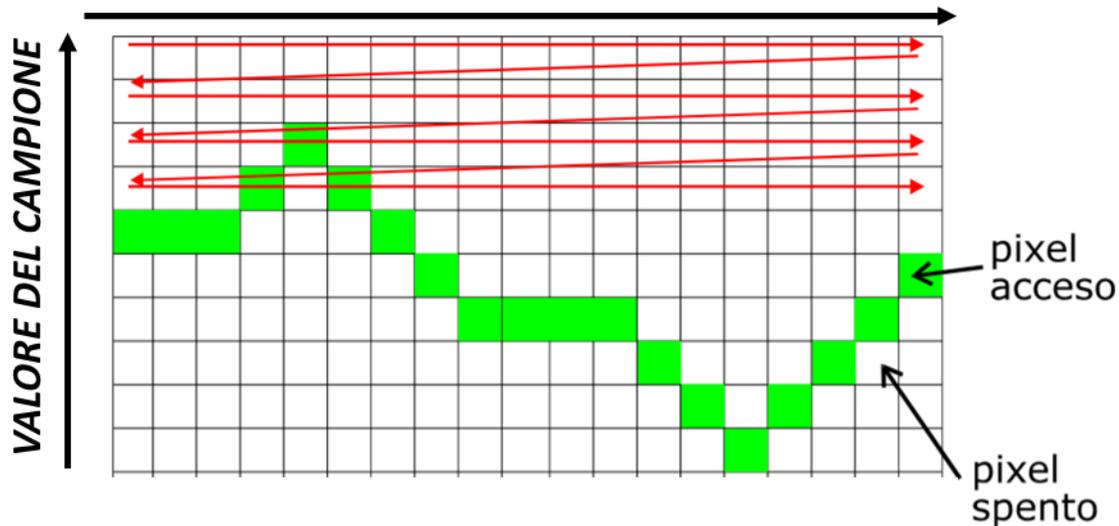


Informazioni già presenti in **memoria**, trasmesse allo schermo con ordine preciso

# Visualizzazione su schermo

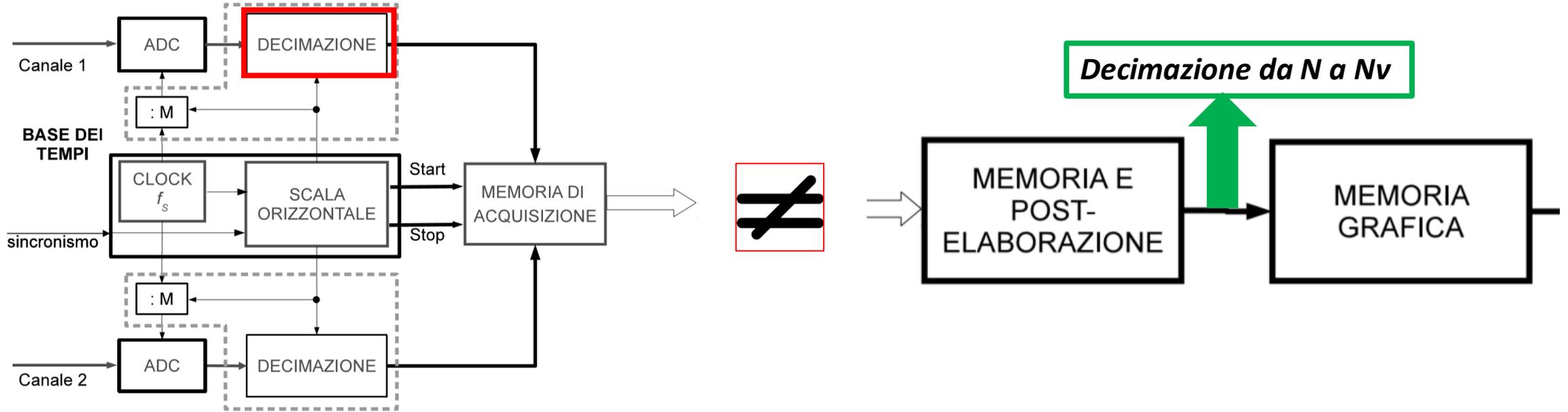


**INDICI CHE INDIVIDUANO IL NUMERO DI CAMPIONE**



- Nei **DSO** utilizzata la tecnologia (comune ai monitor digitali) dei **tubi raster**, in cui le informazioni necessarie a costruire l'immagine sono **contenute in una memoria grafica**, organizzata come **matrice di pixel**
- A ciascuna cella di memoria corrisponde un elemento di immagine (pixel) sullo schermo, con due informazioni: intensità luminosa e colore
- **La posizione** di ciascun elemento dell'immagine è individuata attribuendo alla cella di memoria una coppia di indici:
  - indice di colonna lo stesso **indice utilizzato per il vettore di campioni**;
  - indice di riga è invece il **valore stesso del campione**.
- La scansione dello schermo avviene **per righe successive (raster scan)**: i pixel **vengono aggiornati una riga per volta da sinistra verso destra**.

# Creazione dell'immagine grafica



- Diversamente dalla **decimazione a valle dell'ADC**, la **decimazione effettuata nel passaggio dalla memoria di forma d'onda alla memoria di visualizzazione** non comporta una totale perdita di informazione, nel senso che i campioni rimangono comunque tutti disponibili nella memoria di forma d'onda.
- Se la traccia visualizzata non è adeguata per il tipo di misura da svolgere, consentito il **trasferimento diretto ad un elaboratore**.

N.B. rapporto  $T_w/N_v$  individua l'estensione di un intervallo temporale, o **time slot**, all'interno del quale in memoria troviamo un numero di campioni  $M$ , corrispondente al **fattore di decimazione necessario**.

**Decimazione** → scegliere **uno tra questi  $M$  campioni**, ma in un oscilloscopio digitale essa può anche essere **realizzata in modo più complesso**, al fine di presentare sullo schermo un'informazione quanto più completa possibile.

# Creazione dell'immagine grafica: modalità di decimazione

## DECIMAZIONE UNIFORME

- La più semplice
- Viene mantenuto un campione ogni  $M$ , utilizzando un **passo di decimazione costante**.
- L'effetto equivale a passare ad un **intervallo di campionamento uniforme di durata  $M$**  volte maggiore.

## ALTRE MODALITA' DI DECIMAZIONE

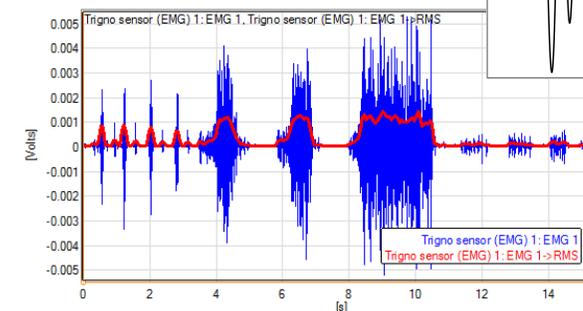
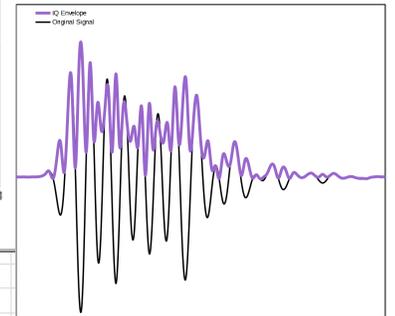
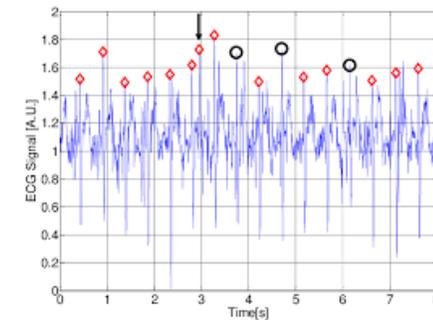
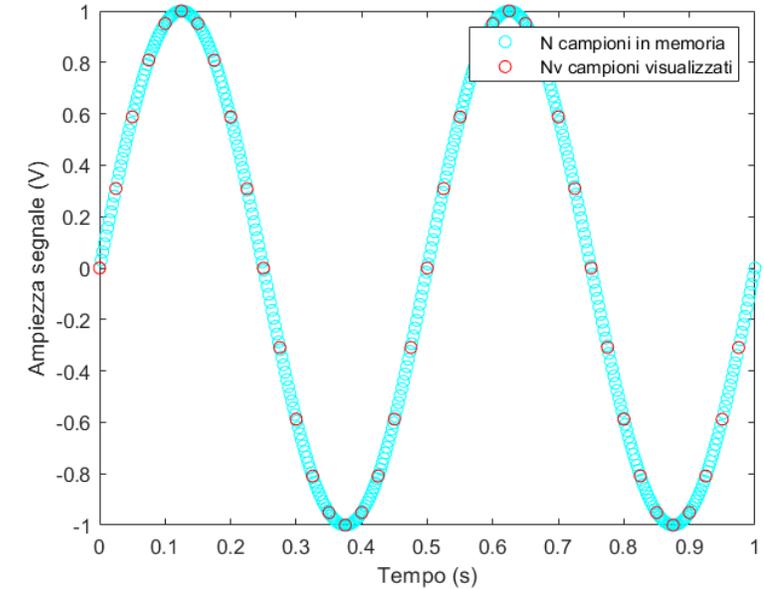
- Fanno ricorso ad **elaborazioni sui campioni depositati** nella memoria di forma d'onda.
- Costituiscono **specifiche funzioni di misura**.

Tra le principali vanno ricordate:

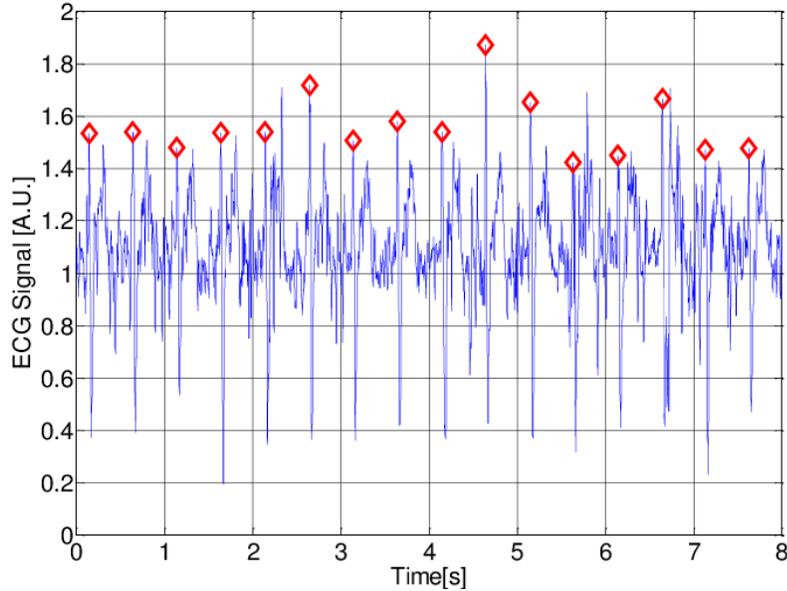
**Rivelazione di picco** → mettere in evidenza eventi anche di breve durata ma di ampiezza significativa

**Rivelazione di involuppo** → sfruttata per mettere in evidenza l'involuppo di un segnale, per quei casi in cui quello che interessa sia la tendenza e non l'andamento campione per campione.

**Smoothing o incremento di risoluzione** → consente di ridurre eventuali irregolarità del segnale, attenzione però ad eventuali componenti ad alta frequenza che potrebbero essere eliminate



# Creazione dell'immagine grafica: modalità di decimazione

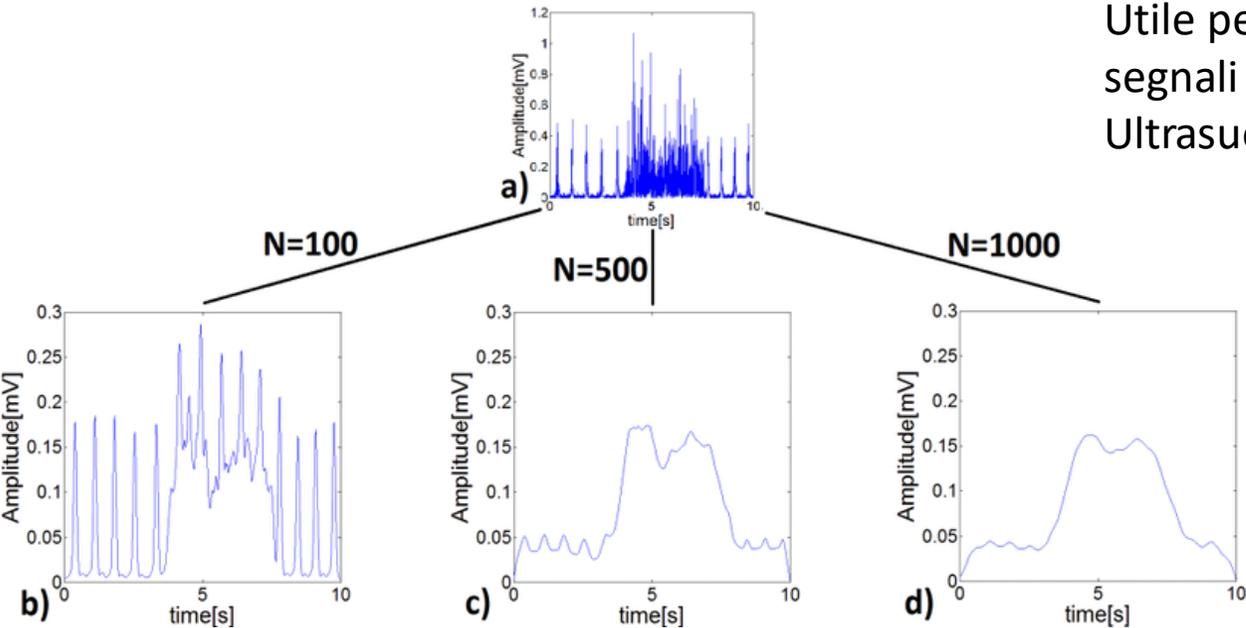
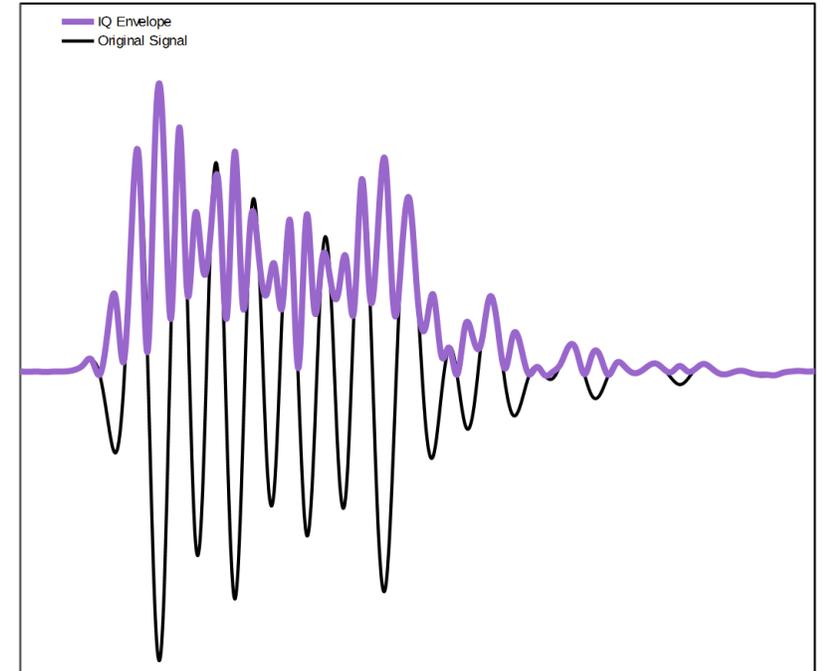


**Esempio di utilizzo funzione rivelazione di picco**

Utile per la rilevazione della frequenza cardiaca tramite sensori non a diretto contatto con il corpo (es. Applicazioni wearable)

**Esempio di utilizzo funzione rivelazione di inviluppo**

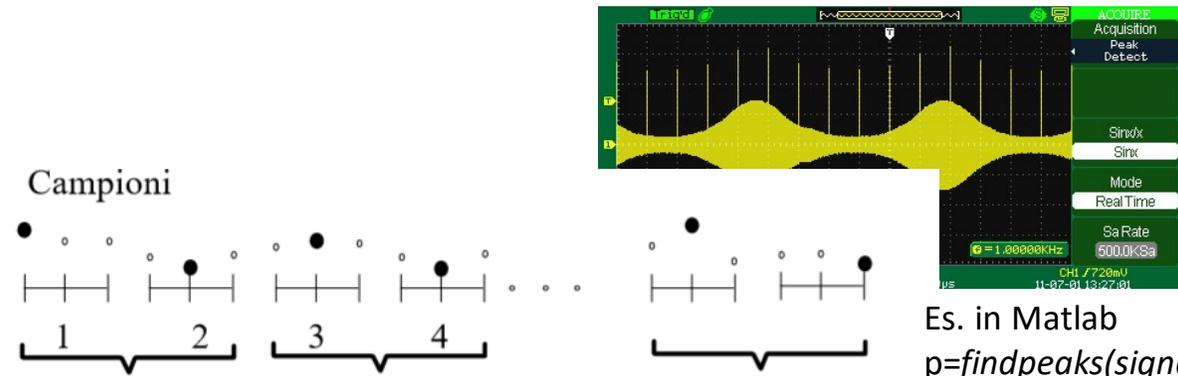
Utile per processare segnali derivanti da Ultrasuoni.



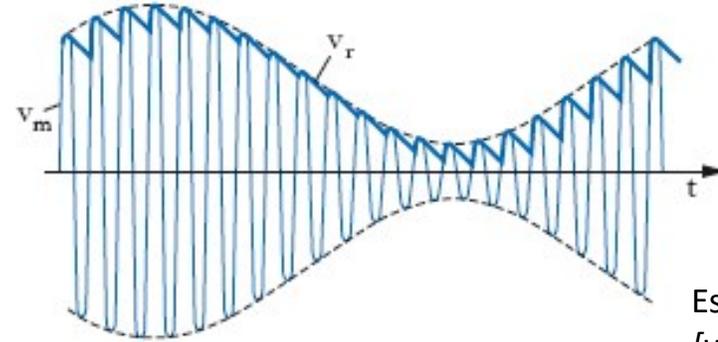
**Esempio di utilizzo funzione moving average su diverse finestre**  
Utile per processare segnali EMG.

# Creazione dell'immagine grafica: modalità di decimazione

**Rivelazione di picco:** la sequenza acquisita viene suddivisa in sottoinsiemi di  $M$  campioni consecutivi, da ciascuno dei quali viene estratto il campione la cui ampiezza, in valore assoluto, si discosta di più dalla media. In questo modo **eventi di breve durata, ma di ampiezza significativa, sono comunque messi in evidenza;**

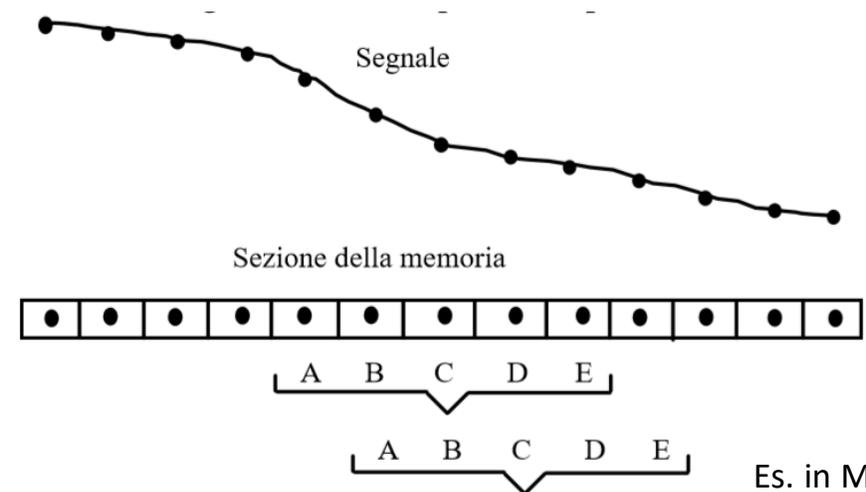


**Rivelazione di involuppo:** la sequenza acquisita viene suddivisa in sottoinsiemi di  $M$  campioni consecutivi, da ciascuno dei quali vengono estratti i due campioni con ampiezza massima e minima. **Si ottengono in tal modo due curve, che descrivono l'involuppo del segnale misurato;**



Es. in Matlab  
`[yupper,ylower] = envelope(x)`

**Smoothing o incremento di risoluzione:** la sequenza acquisita viene suddivisa in sottoinsiemi di  $M$  campioni consecutivi e per ciascuno si considera il valore medio. **Consente di ridurre eventuali irregolarità del segnale;** in altri strumenti è indicata come «resolution enhancement», poichè considerare il valore medio tra  $M$  campioni equivale, sotto certe ipotesi, a considerare un convertitore analogico-digitale con un maggior numero di bit.



Es. in Matlab  
`M = movmean(A,k)`

# Outline

- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale
- **Generatore: schema funzionale**
- Regolazione parametri del segnale



# Struttura e funzioni: generalità

I **generatori di segnali** costituiscono una delle categorie più importanti nell'ambito della strumentazione elettronica di misura e collaudo.



## A cosa servono?

Per realizzare **condizioni operative ben definite e ripetibili** per la verifica della correttezza di funzionamento e delle prestazioni di un apparato.

## Come si possono classificare?

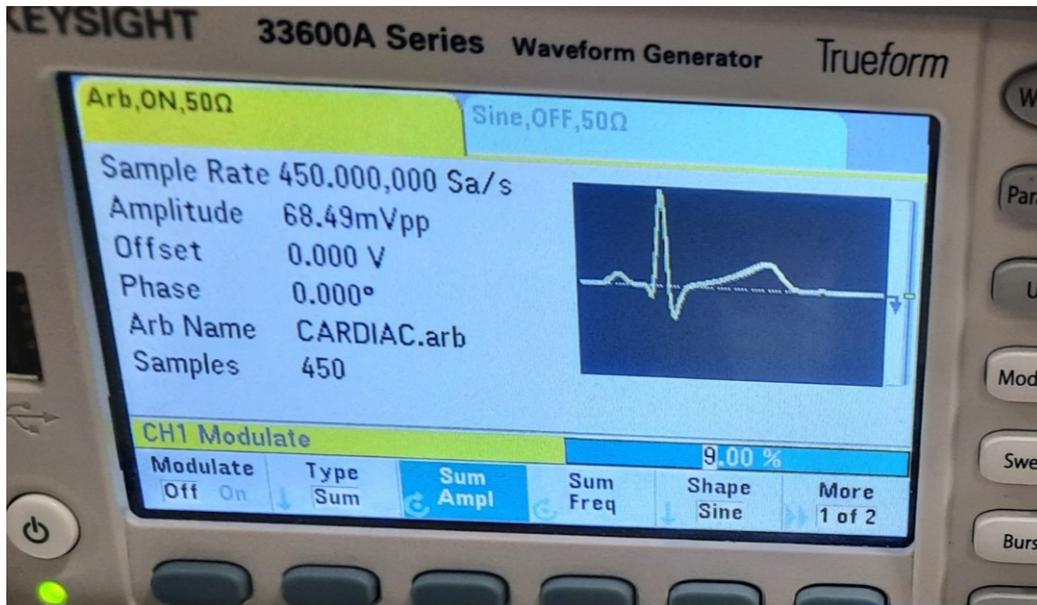
- **strumenti a segnali misti** (generatori di forme d'onda arbitrarie, generatori di funzioni arbitrarie) e **strumenti puramente digitali** (generatori di impulsi o di pattern).
- Altri principi di classificazione comprendono la **frequenza del segnale generato** (esistono infatti generatori appositamente progettati per produrre segnali in radiofrequenza o a microonde) e la capacità di effettuare una **modulazione digitale** (generatori di segnali vettoriali).

# Generatore a sintesi digitale: funzionamento

**GENERAZIONE DI FORME D'ONDA ARBITRARIE** ←

( «**arbitrary waveform generator**» ):

il generatore permette di realizzare **qualsiasi tipo di forma d'onda** scrivendo  $n_{\text{samples}}$  nuovi campioni relativi ad una ripetizione e impostando poi la frequenza in termini di campioni/secondo. In questa modalità di impiego la creazione dei segnali di prova è compito dell'utilizzatore. Necessario avere a disposizione un **tempo sufficientemente lungo** per calcolare i valori dei nuovi campioni e **trasferirli alla memoria interna del generatore** nel momento in cui si cambia segnale.

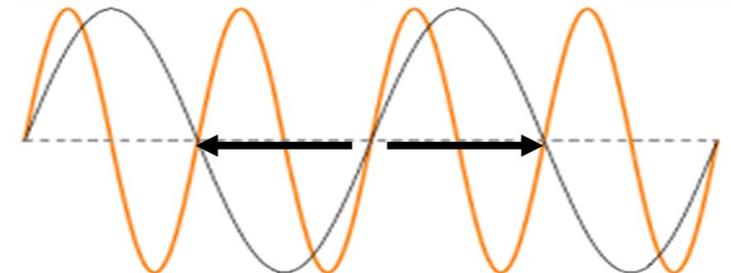
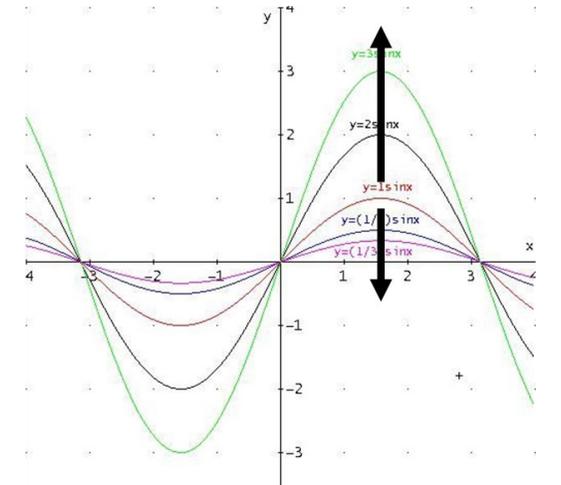
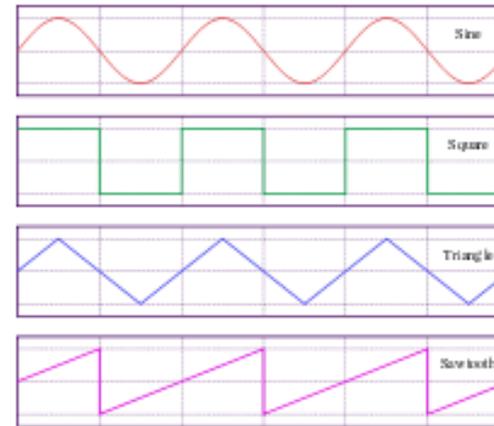


DUE OPZIONI: →

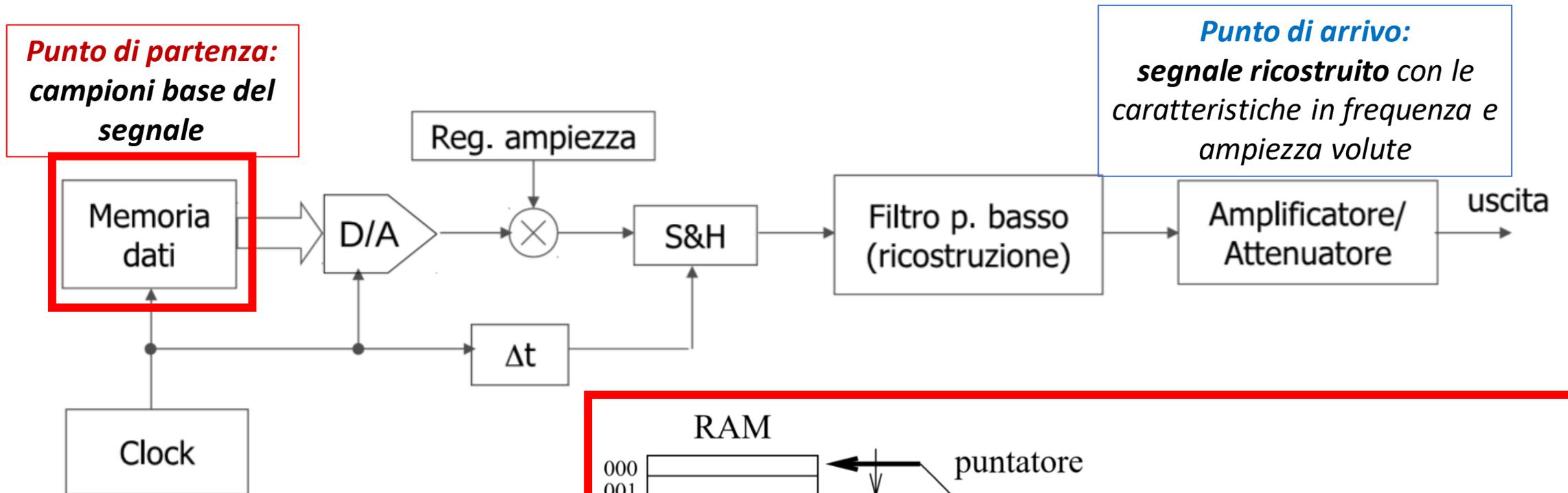
**GENERAZIONE DI SEGNALI PREFINITI:**

Per la generazione di **segnali di uso comune**, l'uso del generatore si traduce, partendo da campioni predefiniti memorizzati in modo permanente, nella regolazione di:

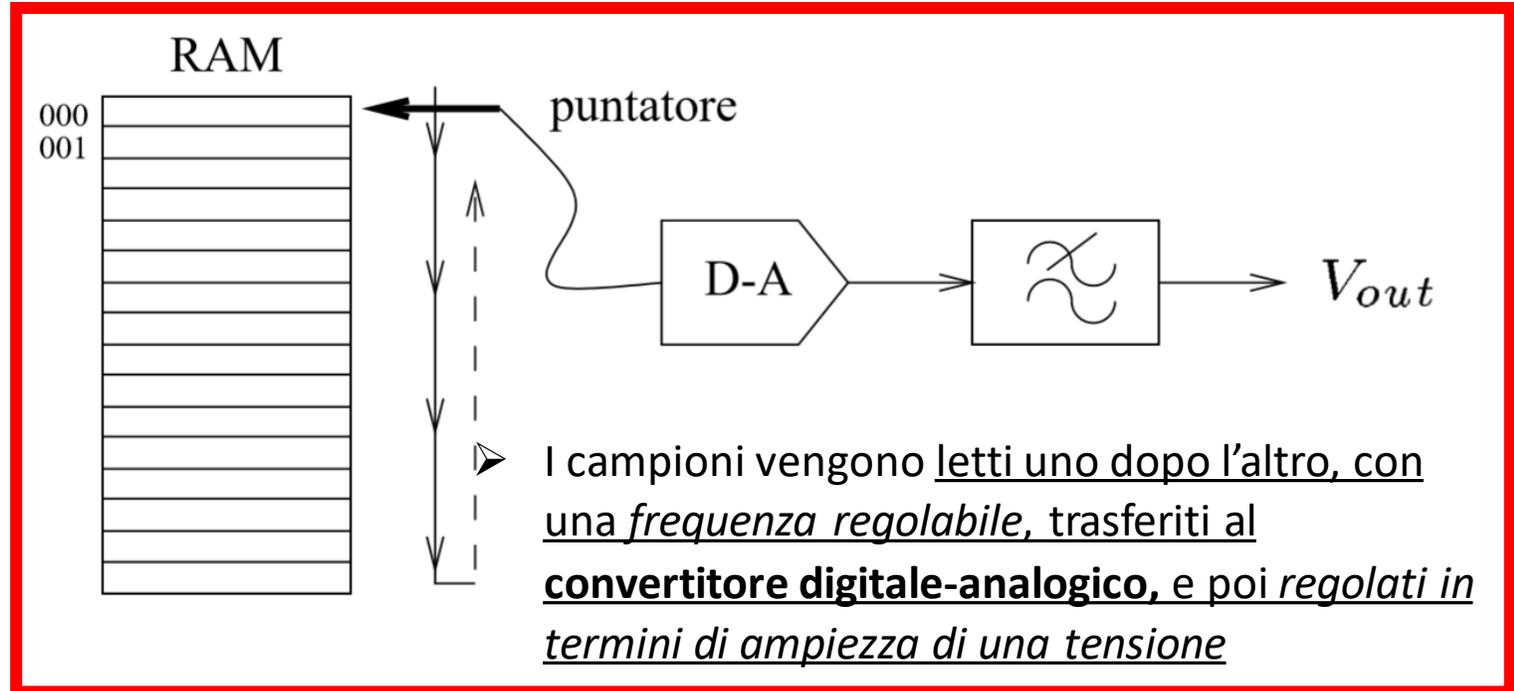
- **frequenza e fase** attribuendo ad un apposito puntatore gli indirizzi specifici delle celle della memoria a cui leggere i campioni ad ogni clock.
- **ampiezza** tramite la gestione di amplificatori programmabili



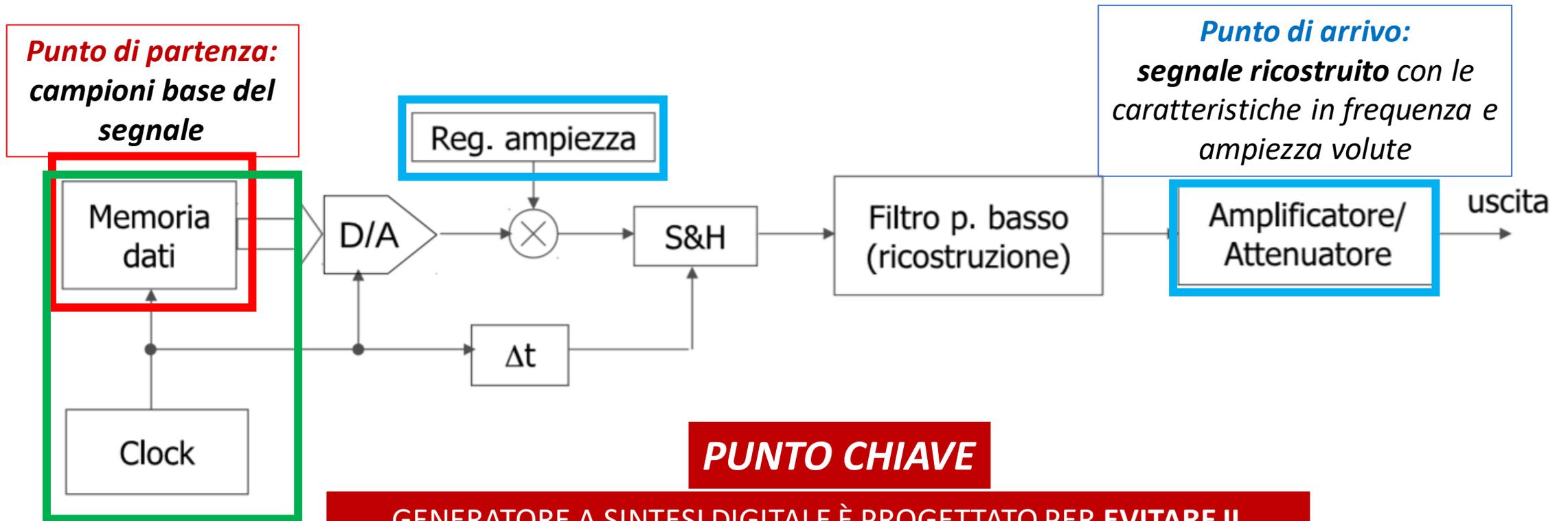
# Generatore a sintesi digitale



- La memoria contiene i valori dei campioni della forma d'onda che si vuole ottenere, sia essa predefinita o non predefinita.



# Generatore a sintesi digitale



**GENERATORE A SINTESI DIGITALE È PROGETTATO PER EVITARE IL RICALCOLO DEI CAMPIONI AD OGNI MODIFICA DI PARAMETRI, MA PER OPERARE UTILIZZANDO UN SOLO INSIEME SUFFICIENTEMENTE NUMEROSO DI CAMPIONI DI UN PERIODO DELLA FORMA D'ONDA**

**Segnale di esempio:**

$$x(t) = A_0 \sin(2\pi f_0 t + \phi_0)$$

con possibilità di impostare, entro i rispettivi campi di valori ammessi, qualsiasi valore di  $A_0$ ,  $f_0$ ,  $\phi_0$ .

# Outline

- Oscilloscopio: schema funzionale
- Parte analogica
- Parte digitale



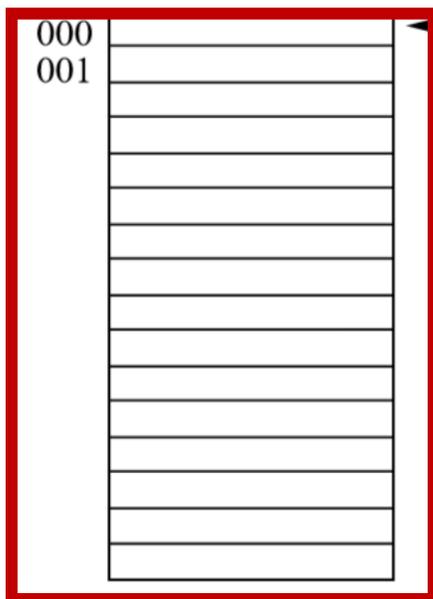
- Generatore: schema funzionale

- Regolazione parametri del segnale



RAM

# Generatore a sintesi digitale: funzionamento



puntatore



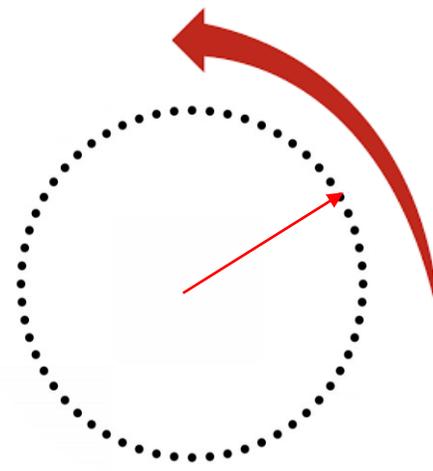
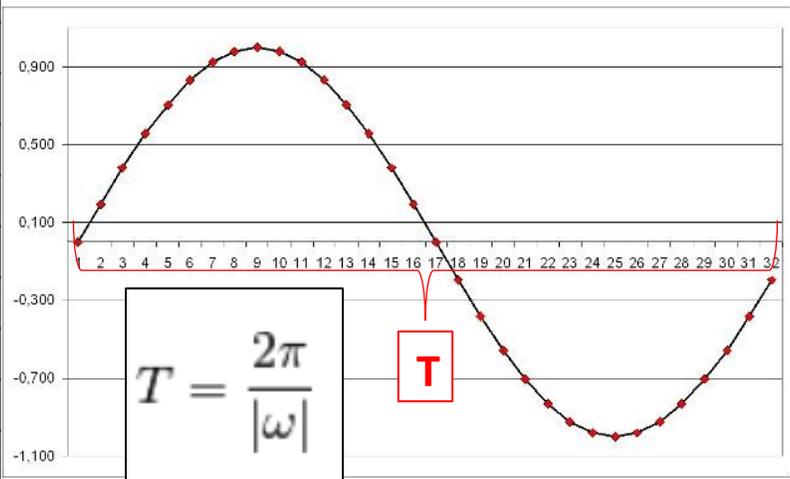
*Come vengono quindi salvati i campioni predefiniti in memoria?*



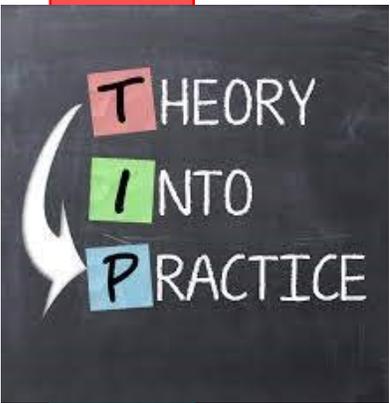
➤ i campioni **corrispondono ad angoli di fase (frazioni di periodo) uniformemente spaziate**: riportando il periodo ad un angolo completo di  $2\pi$  gli  $n$  campioni del periodo corrispondono dunque ad angoli di fase  $0, 2\pi/n, i * 2\pi/n, (i+1) * 2\pi/n, (...), (N-1) * 2\pi/n$

Applicabile a **tutti i segnali periodici**, basta che ci siano contenuti in memoria un **numero adeguato di campioni a coprire un periodo intero**

| i   | arg(sen)           |
|-----|--------------------|
| 0   | 0                  |
| 1   | $2 * \pi * (1/32)$ |
| 2   | $2 * \pi * (2/32)$ |
| 3   | $2 * \pi * (3/32)$ |
| 4   | $2 * \pi * (4/32)$ |
| 5   | $2 * \pi * (5/32)$ |
| 6   | $2 * \pi * (6/32)$ |
| 7   | $2 * \pi * (7/32)$ |
| 8   | $2 * \pi * (8/32)$ |
| ... | ...                |
| 32  | $2 * \pi$          |



L'opportuna regolazione della frequenza e della fase consiste quindi nello stabilire correttamente gli indirizzi a cui andare a leggere i campioni già immagazzinati ad ogni segnale di clock

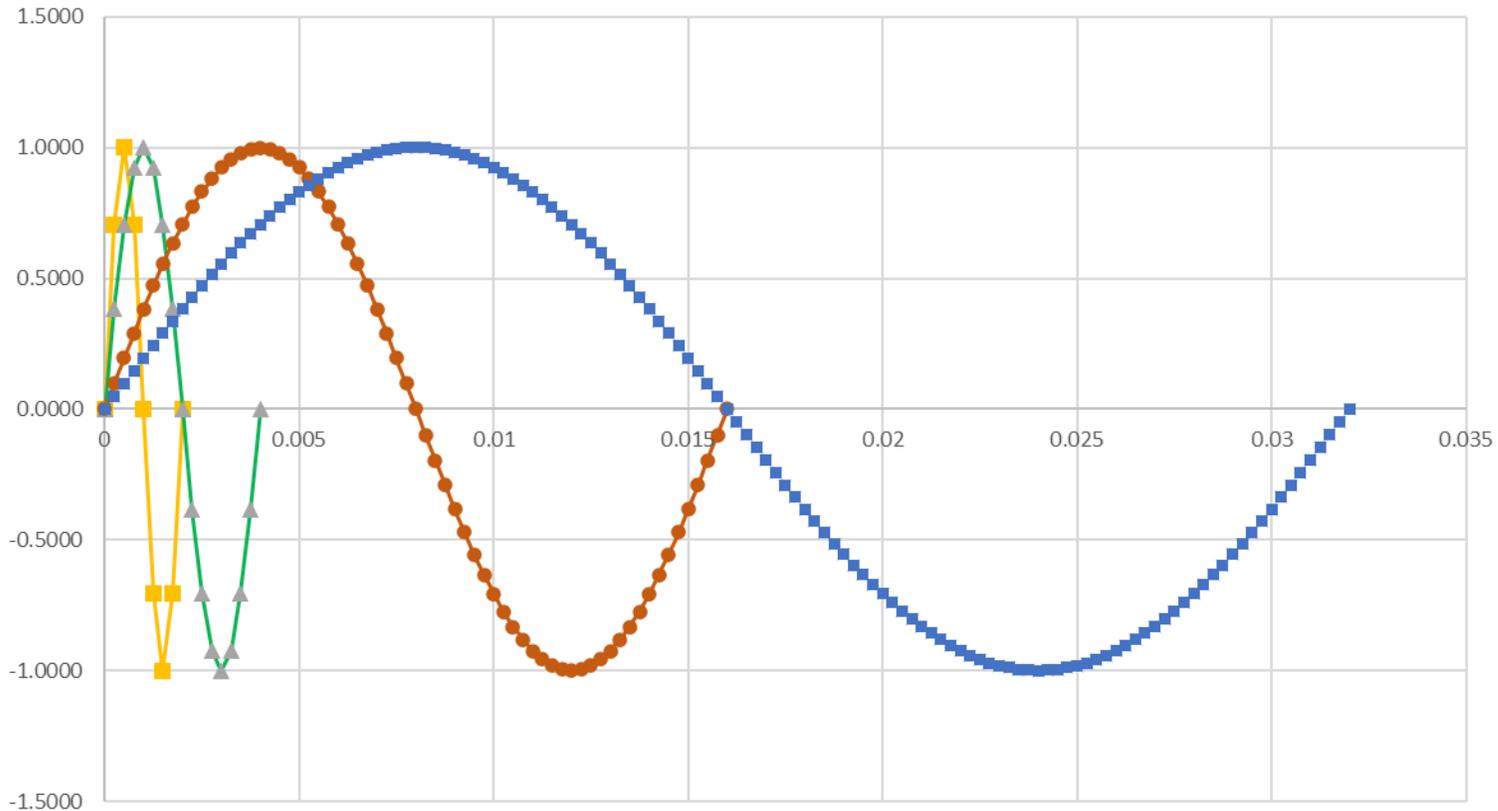


Vedi foglio excel per test esteso

**F1=31.25 Hz** → a ogni clock campioni a indirizzi 0,1,2,3,4  
**F2=62.5 Hz** → a ogni clock campioni a indirizzi 0,2,4,6,...  
**F3=250 Hz** → a ogni clock campioni a indirizzi 0,8,16,24..  
**F4=500 Hz** → a ogni clock campioni a indirizzi 0,16,32,48...

ESEMPIO

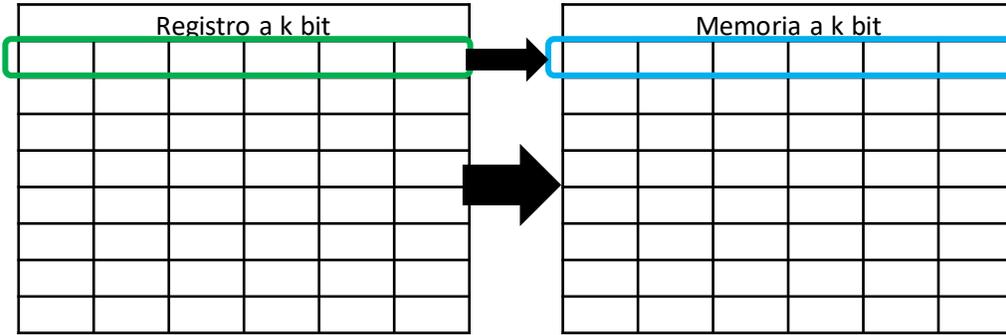
Sinusoidi con diverse frequenze



| Clock<br>fs=4 kHz |
|-------------------|
| secondi           |
| 0                 |
| 0.00025           |
| 0.0005            |
| 0.00075           |
| 0.001             |
| 0.00125           |
| 0.0015            |
| 0.00175           |
| 0.002             |
| 0.00225           |
| 0.0025            |
| 0.00275           |
| 0.003             |
| 0.00325           |
| 0.0035            |
| 0.00375           |
| 0.004             |
| 0.00425           |
| 0.0045            |
| 0.00475           |
| 0.005             |
| 0.00525           |
| 0.0055            |
| 0.00575           |
| 0.006             |
| 0.00625           |
| 0.0065            |
| 0.00675           |
| 0.007             |
| 0.00725           |
| 0.0075            |
| 0.00775           |
| 0.008             |
| 0.00825           |
| 0.0085            |
| 0.00875           |
| 0.009             |
| 0.00925           |

| MEMORIA CON 2^7 CAMPIONI IN UN PERIODO |              |                   |
|--|--------------|-------------------|
| n                                      | 2*pi*(n/128) | sin(2*pi*(n/128)) |
| 0                                      | 0.000        | 0.000             |
| 1                                      | 0.049        | 0.049             |
| 2                                      | 0.098        | 0.098             |
| 3                                      | 0.147        | 0.147             |
| 4                                      | 0.196        | 0.195             |
| 5                                      | 0.245        | 0.243             |
| 6                                      | 0.295        | 0.290             |
| 7                                      | 0.344        | 0.337             |
| 8                                      | 0.393        | 0.383             |
| 9                                      | 0.442        | 0.428             |
| 10                                     | 0.491        | 0.471             |
| 11                                     | 0.540        | 0.514             |
| 12                                     | 0.589        | 0.556             |
| 13                                     | 0.638        | 0.596             |
| 14                                     | 0.687        | 0.634             |
| 15                                     | 0.736        | 0.672             |
| 16                                     | 0.785        | 0.707             |
| 17                                     | 0.834        | 0.741             |
| 18                                     | 0.884        | 0.773             |
| 19                                     | 0.933        | 0.803             |
| 20                                     | 0.982        | 0.831             |
| 21                                     | 1.031        | 0.858             |
| 22                                     | 1.080        | 0.882             |
| 23                                     | 1.129        | 0.904             |
| 24                                     | 1.178        | 0.924             |
| 25                                     | 1.227        | 0.942             |
| 26                                     | 1.276        | 0.957             |
| 27                                     | 1.325        | 0.970             |
| 28                                     | 1.374        | 0.981             |
| 29                                     | 1.424        | 0.989             |
| 30                                     | 1.473        | 0.995             |
| 31                                     | 1.522        | 0.999             |
| 32                                     | 1.571        | 1.000             |
| 33                                     | 1.620        | 0.999             |
| 34                                     | 1.669        | 0.995             |
| 35                                     | 1.718        | 0.989             |
| 36                                     | 1.767        | 0.981             |
| 37                                     | 1.816        | 0.970             |

# Regolazione di frequenza e di fase



- Ciascuna **cella della memoria** in cui i campioni sono immagazzinati sarà localizzabile con uno **specifico indirizzo**.
- Gli **N indirizzi necessari** per localizzare ciascuno degli N campioni sono **salvati in un registro a k bit**, come **parola binaria di lunghezza k** ( $k = \log_2 N$ )

➤ L'**argomento della funzione periodica** sarà interpretabile una volta raccolto  $2\pi$  come un **puntatore alla locazione di memoria in cui si trova il relativo campione**.

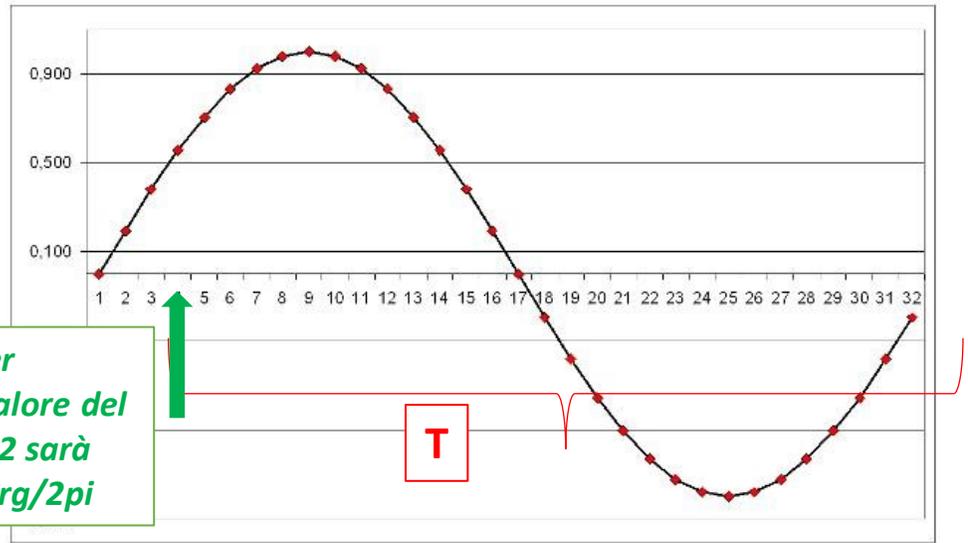
**OBIETTIVO:** argomento seno corrisponde a  $2\pi * (\text{INDIRIZZO})$

$$x(nT) = A_0 \sin(2\pi f_0 n T_S + \Phi_0) \xrightarrow[2\pi]{\text{RACCOLGO}} x(nT) = A_0 \sin\left[2\pi \left(f_0 T_S n + \frac{\Phi_0}{2\pi}\right)\right]$$

➤ L'**indirizzo** della locazione di memoria corrispondente a n sarà quindi  $2^k \left(f_0 T_S n + \frac{\Phi_0}{2\pi}\right)$ , calcolato in modulo  $2^k$

| Indirizzo campione n | Argomento del seno |
|----------------------|--------------------|
| 0                    | 0                  |
| 1                    | $2 * \pi * (1/32)$ |
| 2                    | $2 * \pi * (2/32)$ |
| 3                    | $2 * \pi * (3/32)$ |
| 4                    | $2 * \pi * (4/32)$ |
| 5                    | $2 * \pi * (5/32)$ |
| 6                    | $2 * \pi * (6/32)$ |
| 7                    | $2 * \pi * (7/32)$ |
| 8                    | $2 * \pi * (8/32)$ |
| ...                  | ...                |
| 32                   | $2 * \pi$          |

Indirizzo per trovare il valore del seno di 4/32 sarà pari a  $32 * \arg / 2\pi$



Si vede quindi che l'espressione da utilizzare per calcolare l'indirizzo di un campione è del tipo

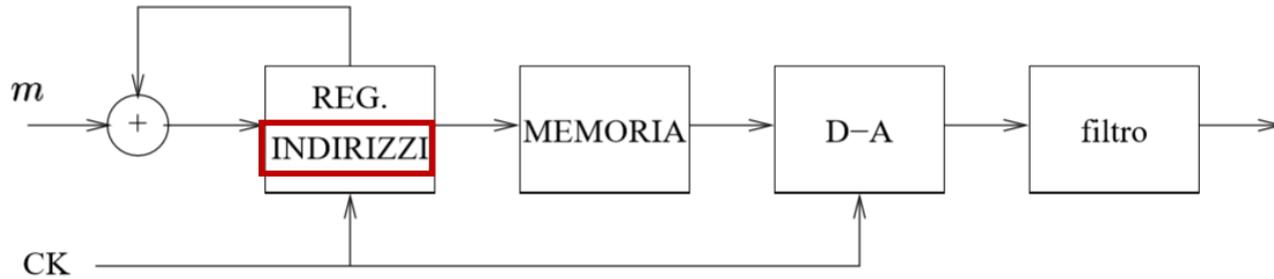
$$An + B \quad \text{dove } A = 2^k f_0 T_S \text{ e } B = 2^k \frac{\Phi_0}{2\pi};$$

il risultato del calcolo viene memorizzato in un registro a k bit.

# Regolazione di frequenza e di fase

## OPZIONE 1: Lettura tramite decimazione, 1 campione ogni m

$$An + B \quad \text{dove } A = 2^k f_0 T_S \text{ e } B = 2^k \frac{\Phi_0}{2\pi};$$



$$A = 2^k f_0 T_S = 2^k f_0 / f_S$$

$$f_0 / f_S = A / 2^k$$

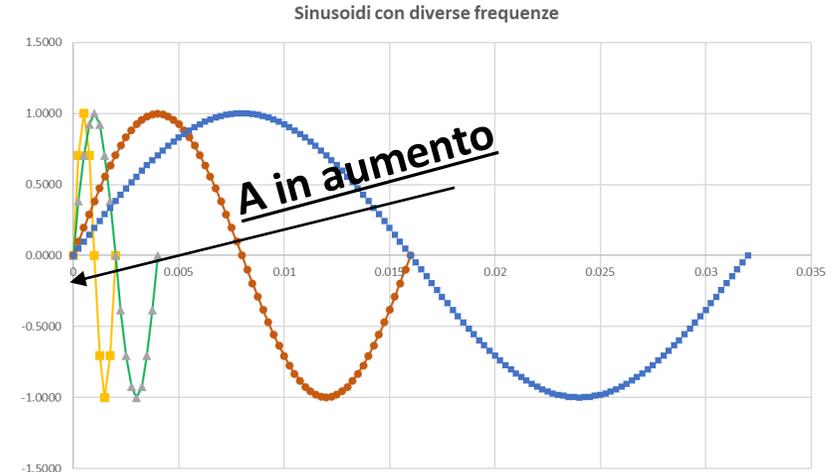
$$f_0 / f_S = A / N$$

- $f_0$  è sottomultiplo della frequenza di clock  $f_S$
- $2^k$  equivale al numero  $N$  di campioni in memoria
- l'indirizzo **A** indica correttamente il valore di un campione agli  $nT_S$  esatti

| Registro a k bit |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |

| Memoria a k bit |  |  |  |  |
|-----------------|--|--|--|--|
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |
|                 |  |  |  |  |

- La lettura non avviene sempre leggendo campioni contigui, ma uno ogni A a seconda del valore  $f_0 T_S$
- All'aumentare di A peggiora la qualità del segnale perchè per ogni periodo verranno presi un numero inferiore di campioni

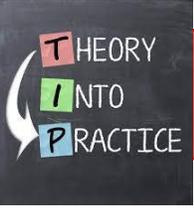


➤ Poichè  $f_0 / f_S < 1/2$  per il campionamento, allora  $A/N < 1/2$ .

➤ Il limite pratico per A è  $A_{max} = 1/4 N$

- minima frequenza sintetizzabile:  $f_{min} = \frac{f_{CK}}{N}$
- massima frequenza sintetizzabile:  $f_{max} = \frac{f_{CK}}{4}$
- risoluzione in frequenza:  $\Delta f = f_{min} = \frac{f_{CK}}{N}$ .

# Regolazione di frequenza: esempio 1



Si supponga di aver una frequenza di campionamento  **$f_s = 4000$  Hz**

e i campioni di un periodo di sinusoidi salvati in una memoria con  **$k=7$  bit**

## **PUNTO 1: Come sono salvati i campioni in memoria?**

Avendo a disposizione  $2^7=128$  locazioni indirizzabili, il periodo  $2\pi$  della sinusoidi viene diviso in 128 parti, e in ciascuna delle 128 celle della memoria sarà contenuto il valore di  $\sin(2\pi(n/128))$

## **PUNTO 2: Quali frequenze potremmo selezionare per ottenere dei veri indirizzi?**

La risoluzione sarà pari a  $f_s/2^k=4000/128= 31.25$  Hz . Tenendo conto dei limiti visti avremo quindi  $f_{\min}=31.25$  Hz;  $f_{\max}=1000$  Hz

## **PUNTO 3: Che passaggi seguono per generare una sinusoidi con una frequenza tra quelle definite?**

Supponiamo di voler generare una sinusoidi con  $f_0 = 500$  Hz e  $\phi_0 = 0$ ;

Risulterà quindi  **$f_0 T_s = 0.125$**  e **A intero**  $=2^k * f_0 * T_s = 16$

La sequenza dei valori assunti  $A_k$  dal registro a 7 bit con  $A=16$  sarà:

0            16            32            48            64            80            96            112            128

E questo equivale a selezionare 1 campione ogni 16

Si noti come **l'incremento tra due successivi campioni risulti uniforme**, grazie al fatto che ***A*** in questo esempio sia intero. Il campione contenuto nell'indirizzo di memoria calcolato corrisponde esattamente a uno degli istanti  $nT_s$

(si veda file excel per trattazione estesa)

# Regolazione di frequenza: esempio 1

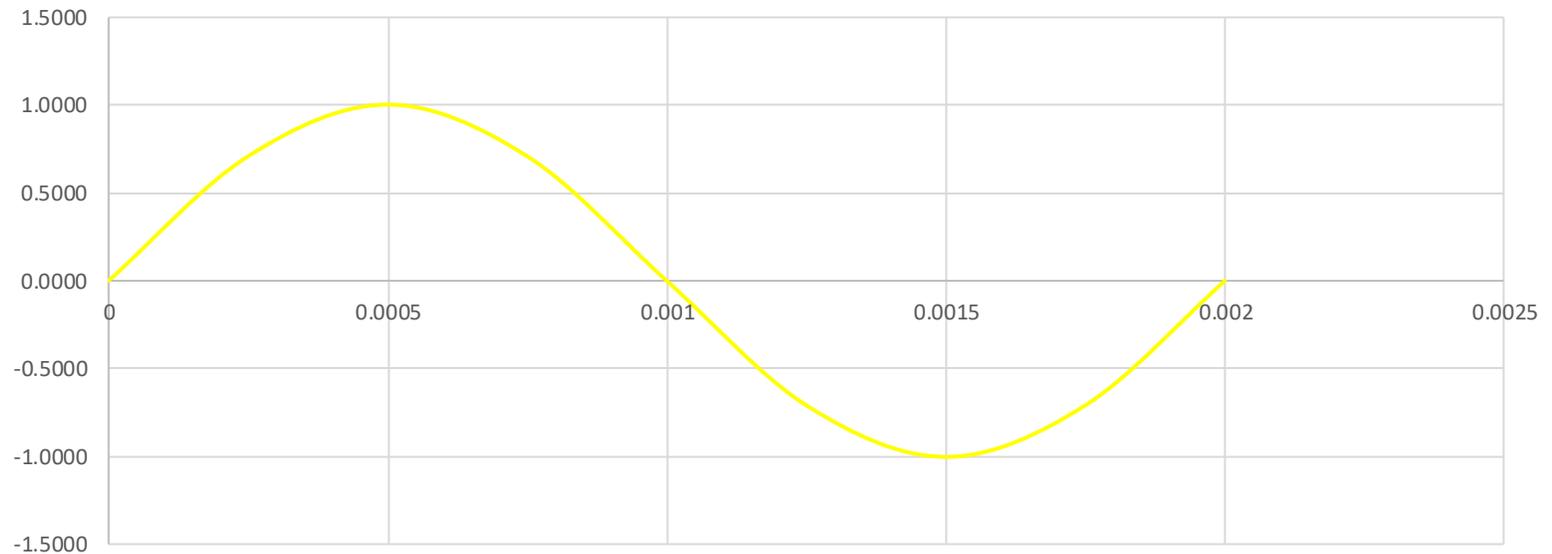


MORIA CON 2^7 CAMPIONI IN UN PERIO

| n  | $2^*pi*(n/128)$ | $sin(2^*pi*(n/128))$ |
|----|-----------------|----------------------|
| 0  | 0               | 0.0000               |
| 1  | 0.04908739      | 0.0491               |
| 2  | 0.09817477      | 0.0980               |
| 3  | 0.14726216      | 0.1467               |
| 4  | 0.19634954      | 0.1951               |
| 5  | 0.24543693      | 0.2430               |
| 6  | 0.29452431      | 0.2903               |
| 7  | 0.3436117       | 0.3369               |
| 8  | 0.39269908      | 0.3827               |
| 9  | 0.44178647      | 0.4276               |
| 10 | 0.49087385      | 0.4714               |
| 11 | 0.53996124      | 0.5141               |
| 12 | 0.58904862      | 0.5556               |
| 13 | 0.63813601      | 0.5957               |
| 14 | 0.68722339      | 0.6344               |
| 15 | 0.73631078      | 0.6716               |
| 16 | 0.78539816      | 0.7071               |
| 17 | 0.83448555      | 0.7410               |
| 18 | 0.88357293      | 0.7730               |
| 19 | 0.93266032      | 0.8032               |
| 20 | 0.9817477       | 0.8315               |
| 21 | 1.03083509      | 0.8577               |
| 22 | 1.07992247      | 0.8819               |
| 23 | 1.12900986      | 0.9040               |
| 24 | 1.17809725      | 0.9239               |
| 25 | 1.22718463      | 0.9415               |
| 26 | 1.27627202      | 0.9569               |
| 27 | 1.3253594       | 0.9700               |
| 28 | 1.37444679      | 0.9808               |
| 29 | 1.42353417      | 0.9892               |
| 30 | 1.47262156      | 0.9952               |
| 31 | 1.52170894      | 0.9988               |
| 32 | 1.57079633      | 1.0000               |
| 33 | 1.61988371      | 0.9988               |
| 34 | 1.6689711       | 0.9952               |
| 35 | 1.71805848      | 0.9892               |
| 36 | 1.76714587      | 0.9808               |

(continua...)

| frequenza fs/8   |       |       |               |          |                          |         |                  |        |
|------------------|-------|-------|---------------|----------|--------------------------|---------|------------------|--------|
| f0               | T0    | f0Ts  | $A=2^k*f0*Ts$ | Sequenza | INDIRIZZI $2^k*f0*Ts *n$ | nTs     | $n(2*pi*f0*nTs)$ |        |
| 500              | 0.002 | 0.125 | 16            | 0        | 0                        | 0       | 0.0000           | 0.0000 |
|                  |       |       |               | 1        | 16                       | 0.00025 | 0.7071           |        |
| $f0/fs=m/N$      |       |       | $A/N$         | 2        | 32                       | 0.0005  | 1.0000           |        |
| $N=2^k$          |       |       | 0.125         | 3        | 48                       | 0.00075 | 0.7071           |        |
| $500/4000=1/8$   |       |       |               | 4        | 64                       | 0.001   | 0.0000           |        |
| $m=f0/fs*2*k$    |       |       |               | 5        | 80                       | 0.00125 | -0.7071          |        |
| $m=500/4000*128$ |       |       |               | 6        | 96                       | 0.0015  | -1.0000          |        |
| $m=16$           |       |       |               | 7        | 112                      | 0.00175 | -0.7071          |        |
|                  |       |       |               | 8        | 128                      | 0.002   | 0.0000           |        |



# Regolazione di frequenza e di fase

Si vede quindi che l'espressione da utilizzare per calcolare l'indirizzo di un campione è del tipo

$$An + B \quad \text{dove } A = 2^k f_0 T_S \text{ e } B = 2^k \frac{\Phi_0}{2\pi};$$

il risultato del calcolo viene memorizzato in un **registro a k bit**.

- Si osservi però che tale valore si può effettivamente considerare un **indirizzo di memoria soltanto se A e B sono numeri interi**.
- Questo **determina la risoluzione con cui si possono impostare i valori di fase e frequenza**, valori per cui A e B saranno effettivamente interi.

Si ha quindi:   $\Delta\Phi = \frac{2\pi}{2^k} \quad \Delta f = \frac{1}{2^k T_S} = \frac{f_S}{2^k}$

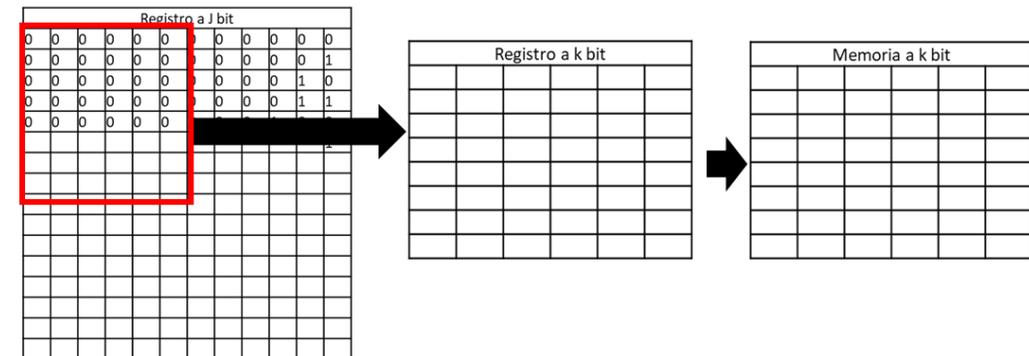
**Per risolvere questa limitazione nella  
MAGGIOR PARTE DEI GENERATORI...**

per non limitare la possibilità di scelta della frequenza viene aggiunto un registro con j bit >> k bit in modo da consentire di rappresentare anche la parte decimale degli indirizzi ottenuti dopo la scelta dei parametri, dopo di che per trovare l'indirizzo giusto si prenderà solo la parte intera, compiendo comunque un'approssimazione limitata con  $f_S$  molto elevate

- frequenza di clock:  $f_{CK} = 40$  MHz;
- numero di bit del P.I.R.:  $N = 48$ ;
- profondità di memoria: 16k locazioni ( $P = 14, 2^P = 16384$ );
- risoluzione  $\Delta f = f_{CK}/2^N \simeq 142$  nHz (la risoluzione dichiarata è  $\Delta f = 1$   $\mu$ Hz);

Questo metodo semplificato limita la possibilità di scelta della frequenza generata  
dovendo essere  $f < f_S/2 < (2^k \Delta f)/2 < 2^{k-1} \Delta f$   
ad un insieme di  $2^{k-1}$  valori diversi  
vincolandola al dimensionamento della memoria che contiene i campioni;

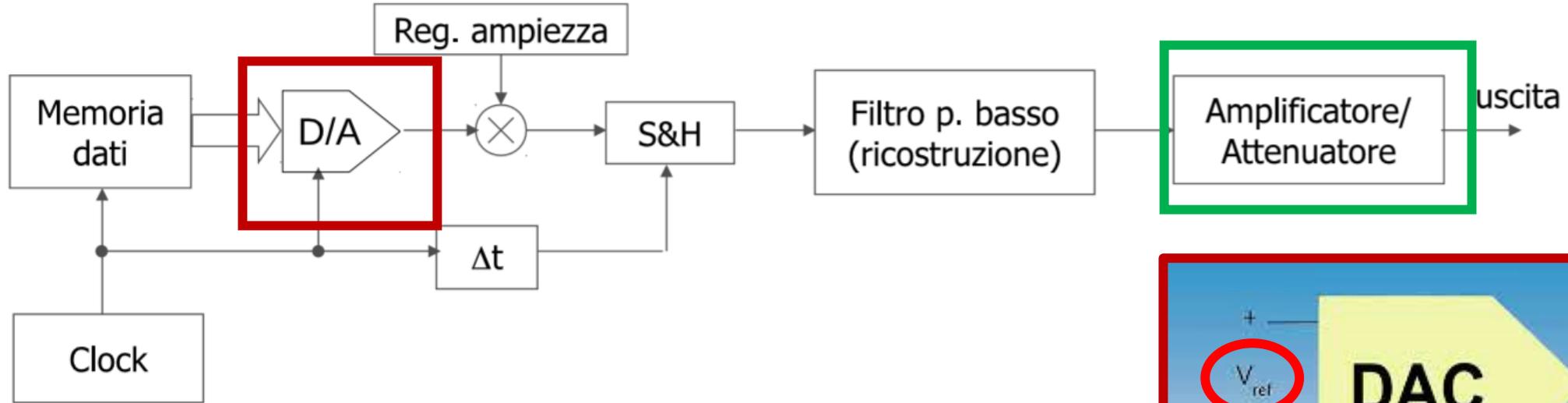
## OPZIONE 2: Utilizzo di registro aggiuntivo con $j \gg k$



Esempio  
intuitivo →

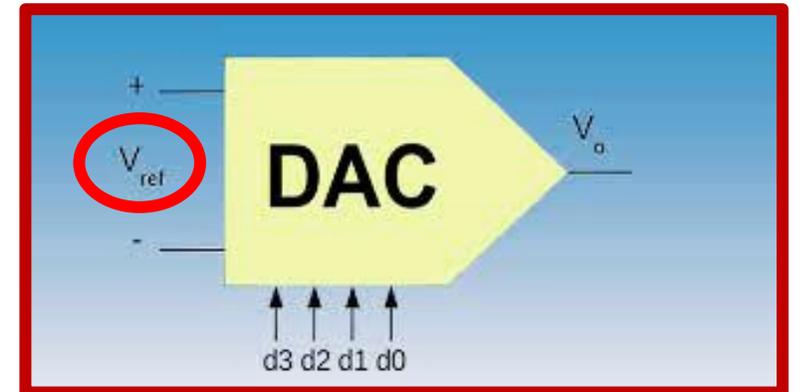
| Registro<br>jbit | Registro<br>kbit |
|------------------|------------------|
| 32.2             | 32               |
| 32.4             | 32               |
| 32.6             | 32               |
| 32.8             | 32               |
| 33               | 33               |
| 33.2             | 33               |
| 33.4             | 33               |
| 33.6             | 33               |
| 33.8             | 33               |
| 34               | 34               |
| 34.2             | 34               |
| 34.4             | 34               |
| 34.6             | 34               |
| 34.8             | 34               |
| 35               | 35               |

# Regolazione di ampiezza



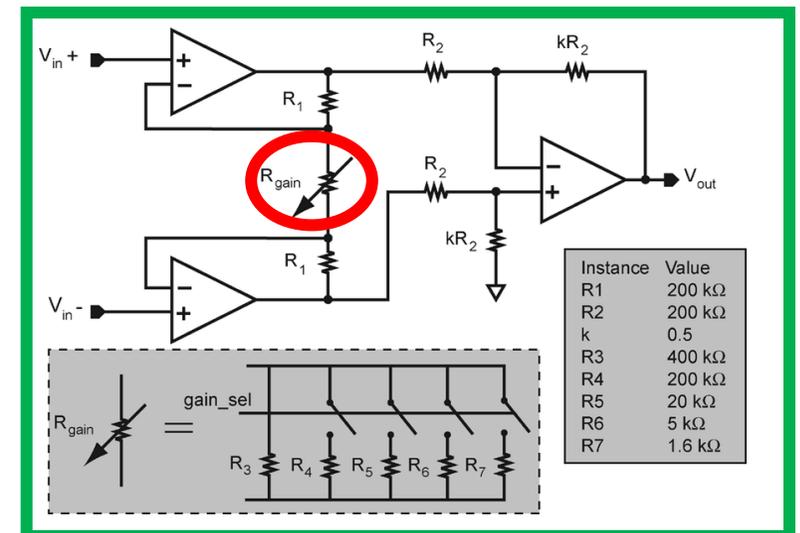
## METODO 1

utilizzando un convertitore digitale-analogico con tensione di riferimento regolabile (multiplying DAC)



## METODO 2

utilizzando, a valle del DAC, attenuatori e/o amplificatori programmabili.



**N.B. Spesso per dare una migliore possibilità di regolazione sono impiegati entrambi i metodi.**

## GENERALITÀ E

- Prendendo come caso più comune e completo quello dell'**oscilloscopio digitale**, gli elementi chiave della sua **parte analogica** sono i canali di ingresso, la sezione di sincronismo e le sonde di collegamento, mentre gli elementi chiave della **parte digitale** sono la sezione di acquisizione, la memoria e la sezione di visualizzazione.

## SCHEMI FUNZIONALI

## PARTE ANALOGICA:

- Ciascun **canale di ingresso** è costituito da un insieme di circuiti di cui è possibile variare le impostazioni, nello specifico: circuiti di accoppiamento (in DC per segnali in continua e in AC, con capacità di accoppiamento, per segnali alternati), amplificatori programmabili e attenuatori.
- L'**impedenza di ingresso** si può rappresentare con il parallelo di una resistenza di valore standard  $R_i = 1 \text{ M}\Omega$  ed una capacità  $C_i$  nell'ordine di decine di pF, valori che assicurano alle basse frequenze modulo coincidente con  $R_i$  e all'aumentare della frequenza dei segnali diminuzione sensibilmente dell'impedenza totale proporzionale alla frequenza. Il **fattore di scala verticale** dello strumento è determinato dal *guadagno  $G(f)$  complessivamente introdotto dagli stadi del canale di ingresso, descrivibile* in termini di risposta in frequenza. Esso determina una banda passante, finita, che dipende dalle caratteristiche dei circuiti che lo compongono, e un tempo di salita minimo misurabile legato da una relazione di proporzionalità inversa alla banda passante.

## 1) CANALE DI INGRESSO

## 2) SEZIONE DI SINCRONISMO

- Il **blocco di sincronismo** ha la funzione di garantire stabilità e appropriata visualizzazione della parte di interesse del segnale. Costituito da un circuito che sfrutta: amplificatore differenziale, comparatore, derivatore e limitatore per generare impulsi in corrispondenza di segnali utili. Necessario modificare adeguatamente il comando di holdoff per assicurare stabilità di visualizzazione.

## 3) SONDE PASSIVE

- Una **sonda passiva compensata nasce con lo scopo di ridurre l'errore di misure, minimizzando l'effetto di carico**.
- E' composta da un **puntale**, che contiene una **rete passiva di compensazione realizzata (parallelo  $R_p$  e  $C_p$ )**, da un cavo coassiale e da una **capacità di regolazione**. Il valore di  $R_p$  è determinato dal fattore di attenuazione per il quale la sonda è stata progettata; il valore di  $C_{comp}$  è variabile e deve essere regolato in modo da realizzare effettivamente la condizione di compensazione, in quanto il valore  $C_i$  di ingresso all'oscilloscopio non è garantito con stabilità e ripetibilità.

## PARTE DIGITALE:

### 1) ACQUISIZIONE

- **Schema funzionale di un DSO:** rispetto alla raffigurazione analogica, il **blocco di acquisizione e visualizzazione** è suddiviso in molteplici blocchi a causa dell'elaborazione numerica. In particolare riconosciamo una struttura di acquisizione simile ai sistemi DAQ (campionatore e ADC) con l'aggiunta di una memoria più complessa e di un sistema di visualizzazione basata su tecnologia raster.

- Il **sistema di acquisizione** è basato su convertitori analogico-digitali ad alta velocità, ciascun canale completamente distinto dagli altri (no multiplexer), con una profondità di memoria per canale pari ad  $N$  campioni. La regolazione del **fattore di scala orizzontale** dello strumento stabilisce l'intervallo di osservazione  $T_w$  presentato sullo schermo dell'oscilloscopio. Poiché il numero di campioni osservati comunque risulta limitato dalla profondità di memoria, attenzione a possibile aliasing introdotto a  $T_w$  molto grandi.

### 2) MEMORIA

- La **memoria di acquisizione** fa da punto di congiunzione tra il processo di acquisizione, caratterizzato dalla necessità di trasferire i dati ad alta velocità e quello di elaborazione, nella quale processori dedicati servono sia ad implementare algoritmi di misura, sia a convertire i dati in un formato grafico adatto alla visualizzazione.

### 3) VISUALIZZAZIONE E ELABORAZIONE

- La visualizzazione avviene generalmente su uno schermo digitale, con scansione dello schermo per righe successive (**raster scan**) e le informazioni necessarie a costruire l'immagine sono **contenute in una memoria grafica**, organizzata come **matrice di pixel**, che contiene per ogni cella informazioni riguardo: posizione, intensità ed eventualmente colore.

- La **creazione dell'immagine** grafica può richiedere a seconda delle scelte effettuate sul fattore di scala orizzontale di una decimazione dei campioni, che può avvenire o in modo uniforme o attraverso specifiche funzioni che sono in grado di estrarre informazioni caratteristiche del segnale. Le tre principali sono la rilevazione di picco, di inviluppo e lo smoothing.

## GENERATORI A SINTESI DIGITALE: GENERALITÀ E SCHEMA FUNZIONALE

- I **generatori di segnali** costituiscono una delle categorie più importanti nell'ambito della strumentazione elettronica di misura e collaudo, in grado di generare segnali con determinate e ripetibili caratteristiche in frequenza e ampiezza.
  - Si parla di generatori a sintesi digitale per tutti quegli strumenti in cui i relativi campioni siano **memorizzati in tabelle precostruite**, in modo da rendere **più rapide ed immediate semplici variazioni** come quella della frequenza fondamentale o dell'ampiezza di un segnale.
- 

## REGOLAZIONE PARAMETRI DEL SEGNALE

- La **regolazione di frequenza e di fase** consiste nello stabilire correttamente gli indirizzi a cui andare a leggere i campioni già immagazzinati nella memoria. L'indirizzo dipende dalla scelta della frequenza di campionamento e dalla frequenza che si vuole assegnare.
  - La **regolazione di ampiezza** viene realizzata generalmente in due modi: utilizzando un convertitore digitale analogico con voltaggio di riferimento regolabile e utilizzando amplificatori e attenuatori opportunamente programmati a valle della conversione digitale-analogica.
-