



Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

Oscilloscopi numerici

Ing. Andrea Zanobini

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

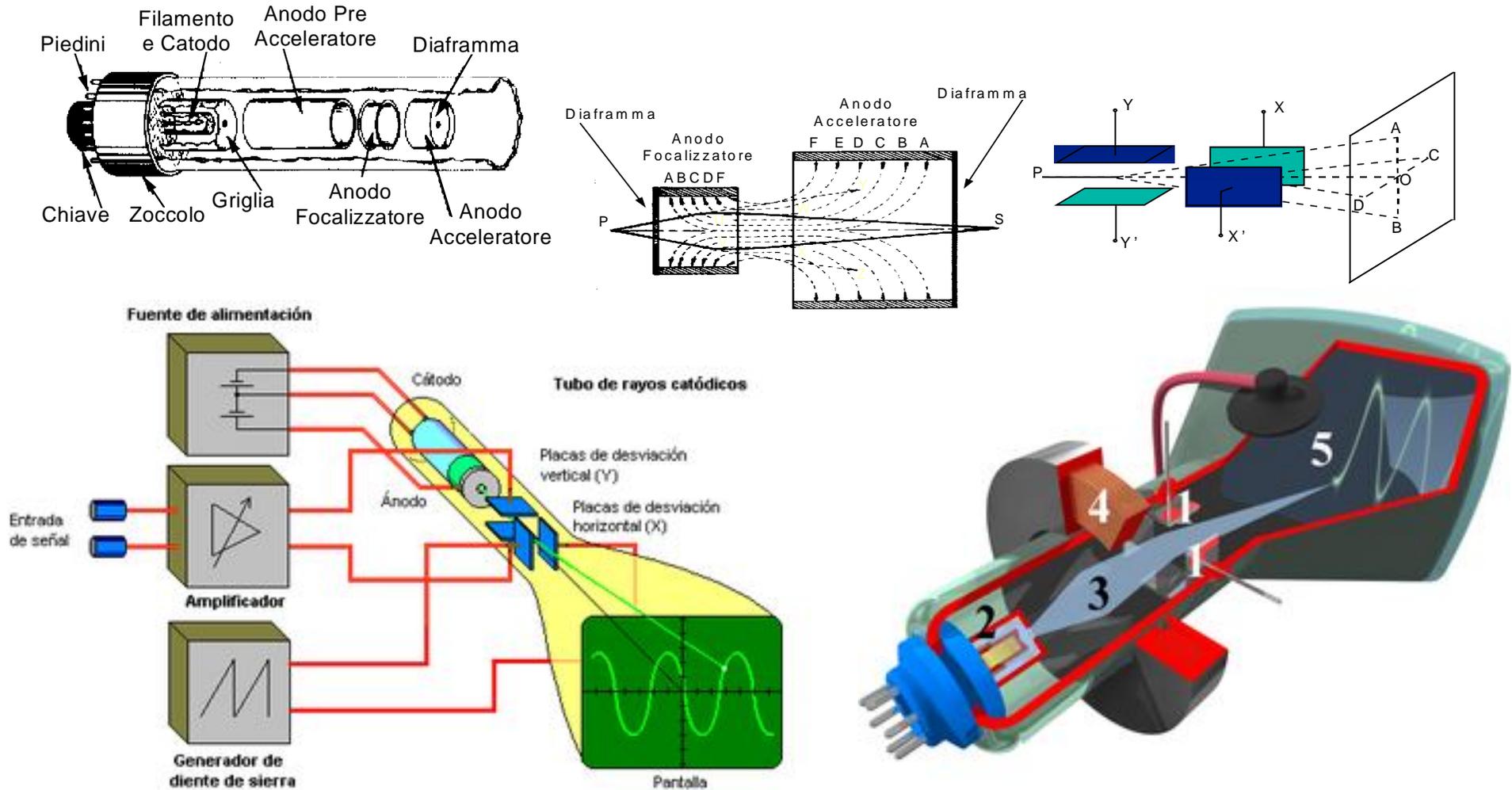
A.Zanobini - Misure Elettriche

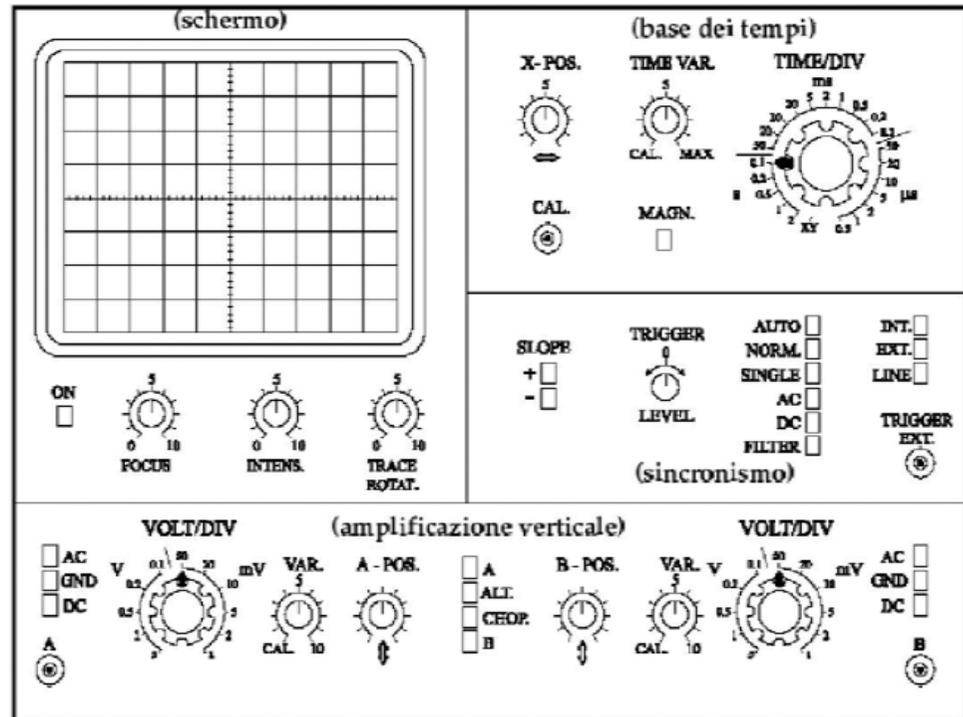
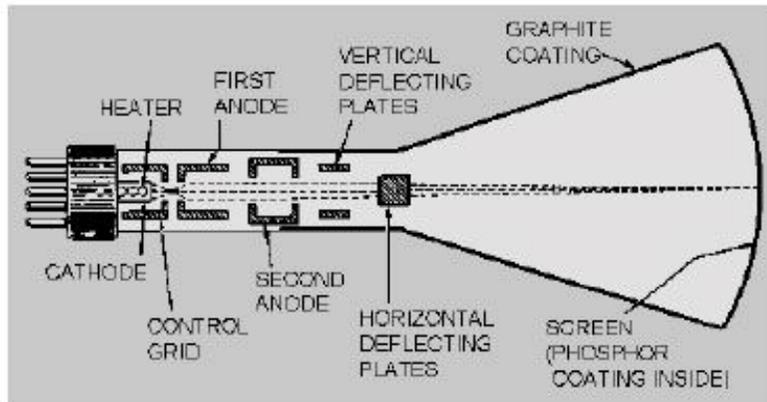
Maggio 2012

Contenuti:

1. Il buon caro vecchio oscilloscopio analogico
2. Struttura di uno strumento digitale (numerico) e di un Oscilloscopio (DSO)
3. Acquisizione e campionamento in tempo reale ed equivalente, sequenziale e casuale
4. Caratteristiche metrologiche
5. Sonde per il prelievo dei segnali

1. Oscilloscopi analogici (segnali periodici)



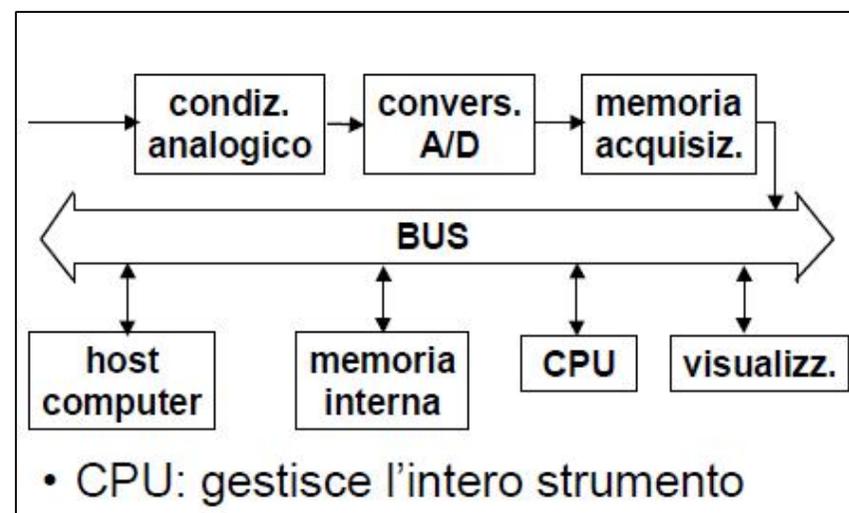
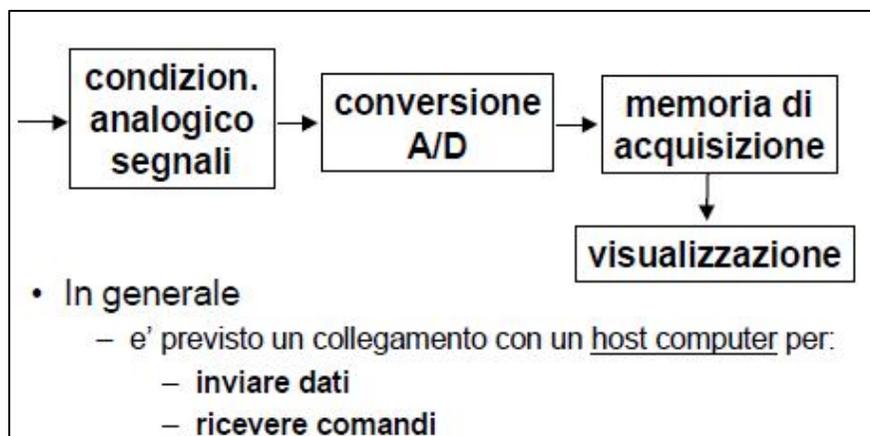


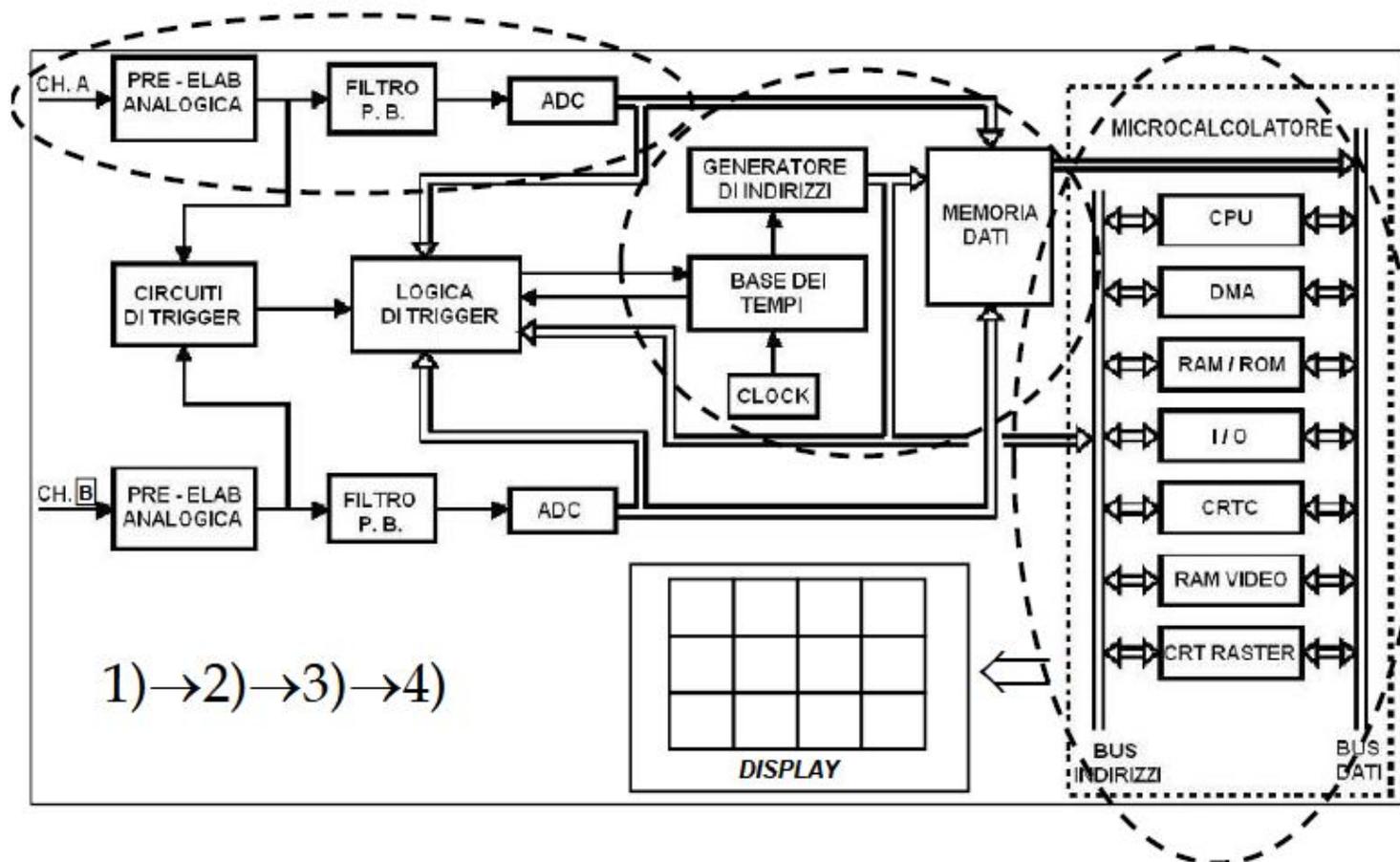
⇒ Oscilloscopi analogici swilab

2. Struttura di uno strumento digitale (numerico) e di un DSO (Digital Storage Oscilloscope)

Ai fini dell'**analisi temporale** dei segnali

- le caratteristiche fondamentali sono
 - 1) conversione A/D del segnale
 - 2) ricostruzione della forma d'onda dai campioni ottenuti





Sezione di conversione analogico-digitale e acquisizione di un DSO caratterizzata da:

1. Risoluzione dell' ADC
2. Massima frequenza di campionamento e conversione
3. La capacità (o profondità) massima della memoria, intesa come numero massimo di campioni memorizzabili

Schermo di un DSO



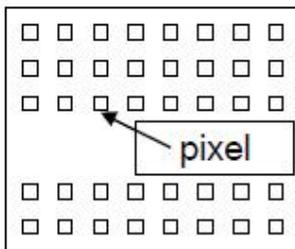
23

Presentazione

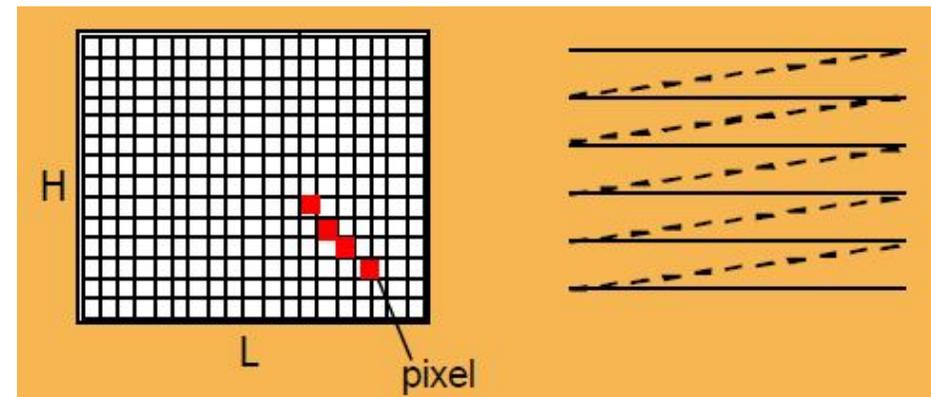
► Presentazione sullo schermo di:

- andamento temporale della porzione di segnale di interesse
- indicazioni alfanumeriche di parametri selezionati (sensibilità verticale e orizzontale, selezione di trigger ecc.)
- informazioni di misura di parametri del segnale (tensione, frequenza, intervalli di tempo ecc..)

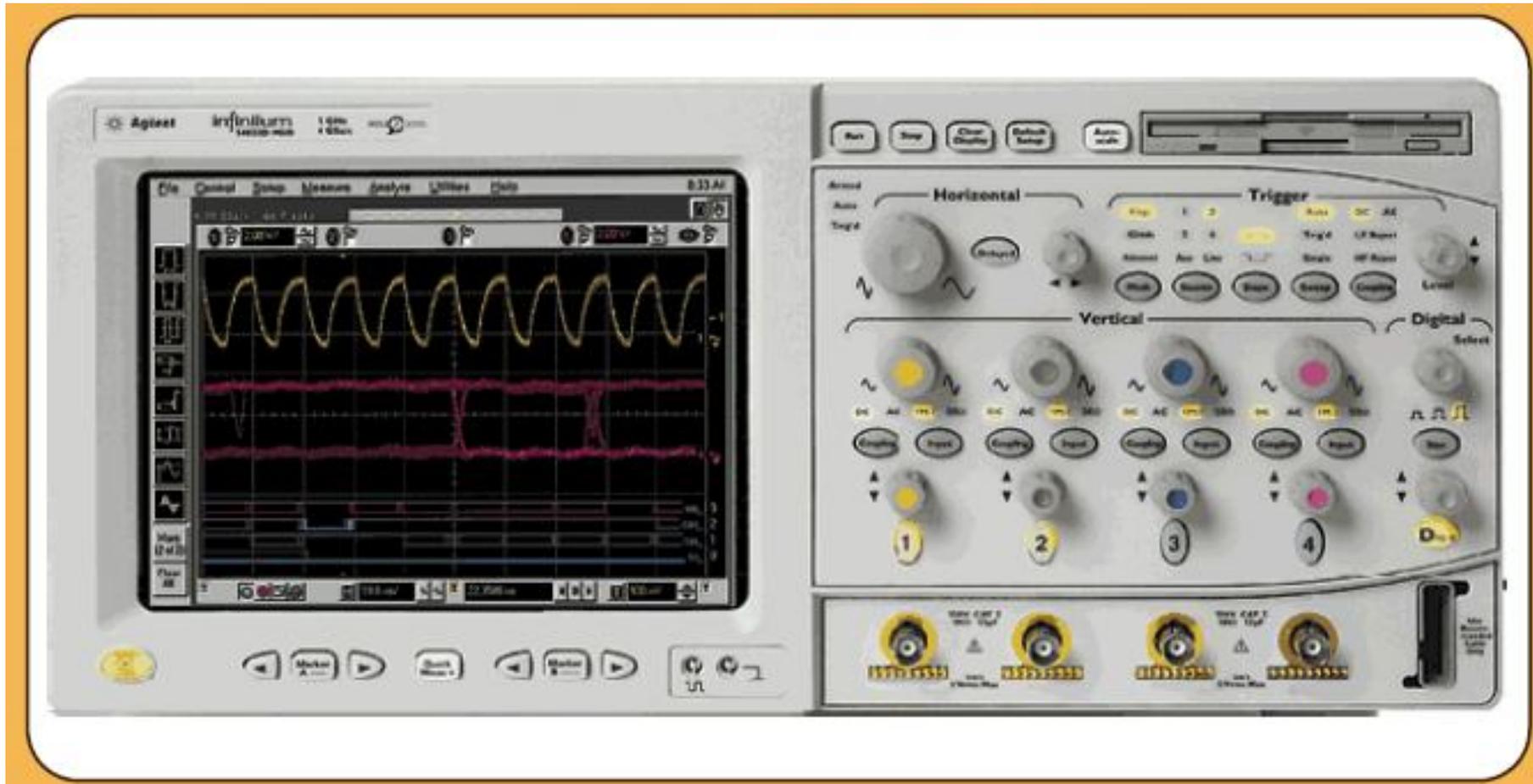
- I DSO impiegano tubi raster come i calcolatori e i televisori
- Lo schermo è una matrice di N_y righe per N_x colonne



Ogni Pixel è un'areola molto piccola di sostanze che eccitate da un fascio di elettroni di adeguata energia diventano luminose



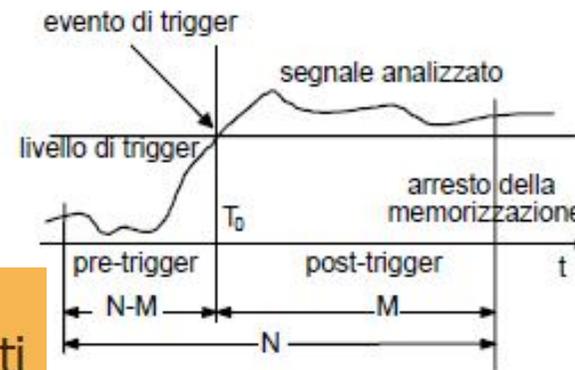
Oscilloscopio numerico



Trigger, Memorizzazione e strutture di un sistema di campionamento



La presenza della memoria consente di acquisire **anche campioni antecedenti** l'evento di trigger

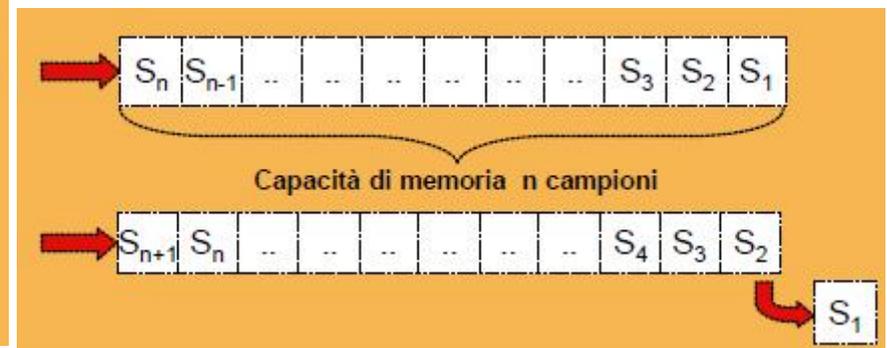


➤ L'evento di trigger determina **l'arresto dell'acquisizione** e il "congelamento" dei dati presenti in memoria

➤ Le memorie utilizzate sono ad alta velocità di scrittura (adeguata alla velocità del convertitore A/D)

➤ Esempio:

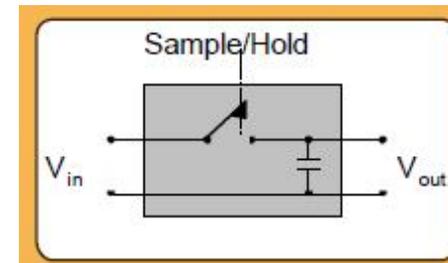
- frequenza di campionamento $f_s = 100\text{MHz}$
- ciclo di scrittura $t_{SC} < 10\text{ ns}$



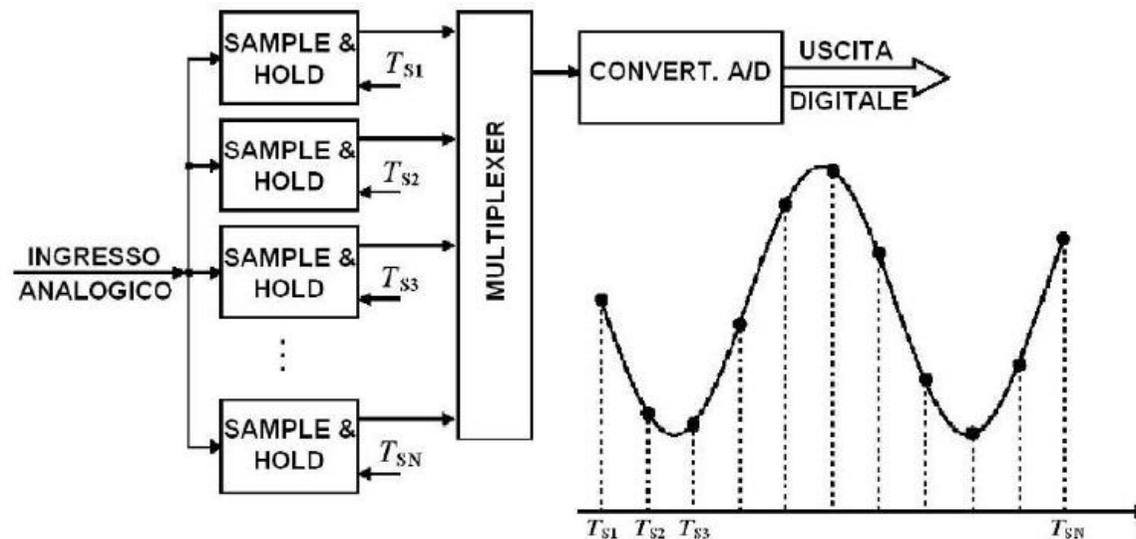
Oscilloscopi multicanali

- Tre possibilità
 - N condizionatori, multiplexer prima del convertitore, un solo ADC, una sola memoria
 - N blocchi di condizionamento, N ADC, una sola memoria
 - N blocchi di condizionamento, N ADC, N memorie

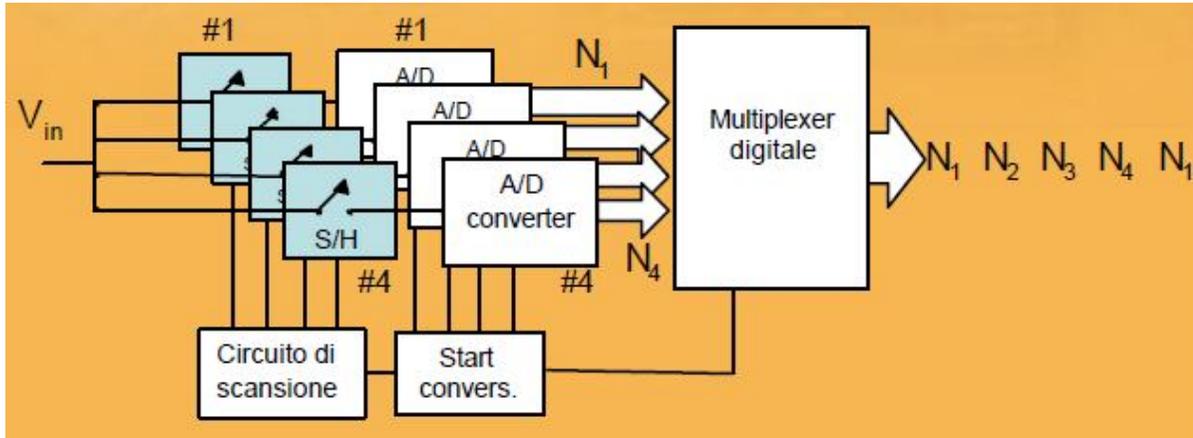
Durante tutto il tempo di conversione il misurando deve rimanere costante, ma ciò accade solo nel caso di D.C.



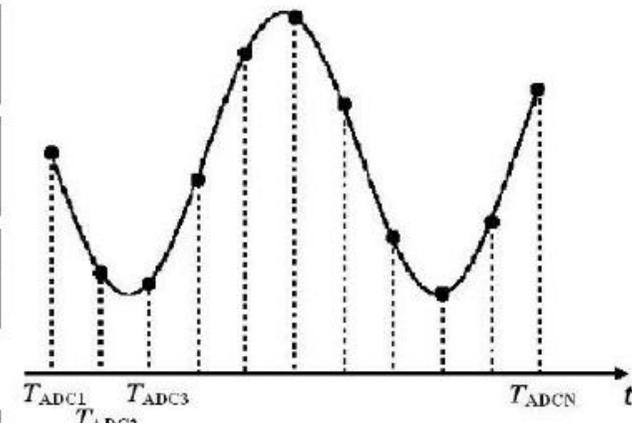
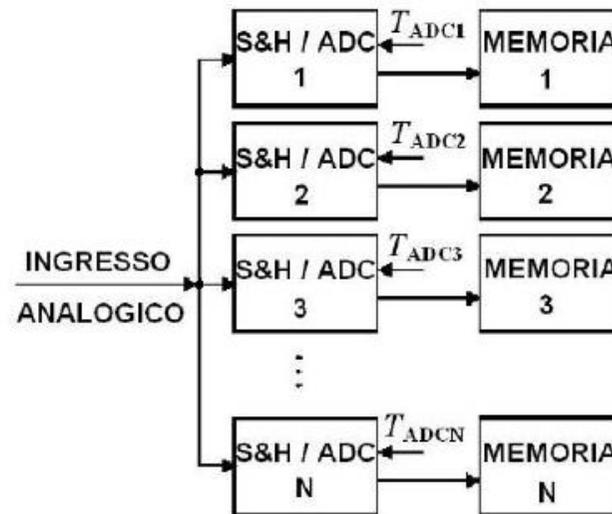
Struttura con singolo convertitore A/D in *multiplexing*



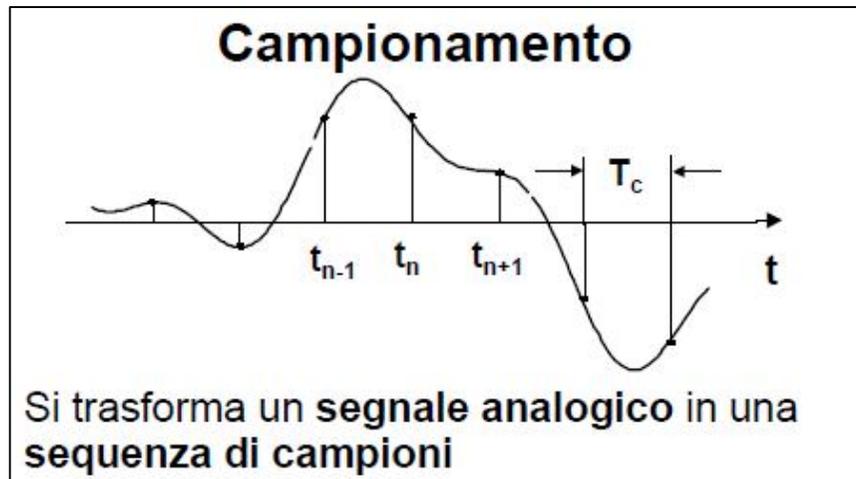
Strutture N ADC a una sola memoria o con N memorie



Campionamento e conversione a multiconvertitore



3. Acquisizione e campionamento



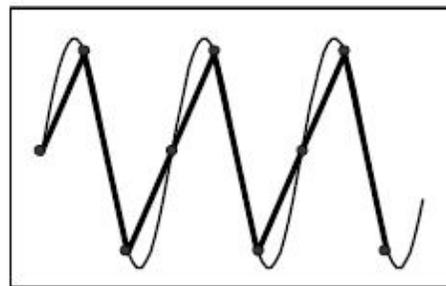
$x(t)$	\longrightarrow	$x[nT_c]$
$T_c =$ periodo di campionamento		$F_c = 1/T_c$
$F_c =$ frequenza di campionamento		

- quantizzazione
 - rappresentazione di un valore con numero finito di bit
- si introduce errore di quantizzazione
 - funzione del numero di bit

3.1 Campionamento in tempo reale- One shot – ($F_c > 10B$)

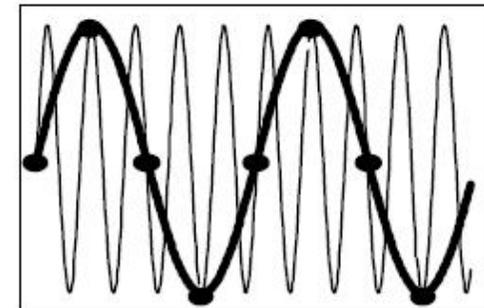
- Vale il Teorema di Shannon
 - se il segnale è limitato in banda, cioè con trasformata di Fourier $X(f) = 0$ per $f > B$
 - e se $F_c > 2B$
 - allora il campionamento non introduce perdita di informazione

$F_c < 2B$ \longrightarrow



Fenomeno dell'aliasing

Non soddisfare la condizione $F_c > 2B$ fa perdere informazione alla sequenza generando il fenomeno dell'aliasing



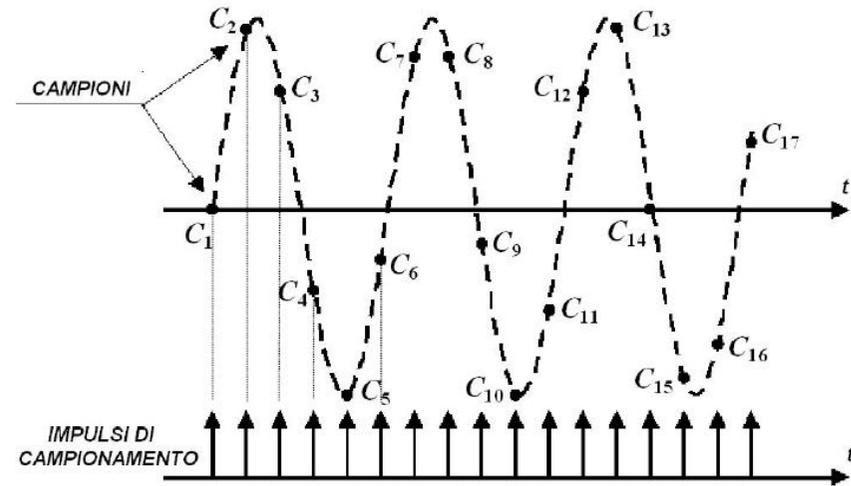
Intuitivamente: per evitare di attribuire i campioni disponibili ad un altro segnale è necessario aumentare la frequenza di campionamento

3.1 Campionamento in tempo reale, rappresentazione per punti e interpolazione

➤ Segnale da visualizzare **non ripetitivo (transitorio)**

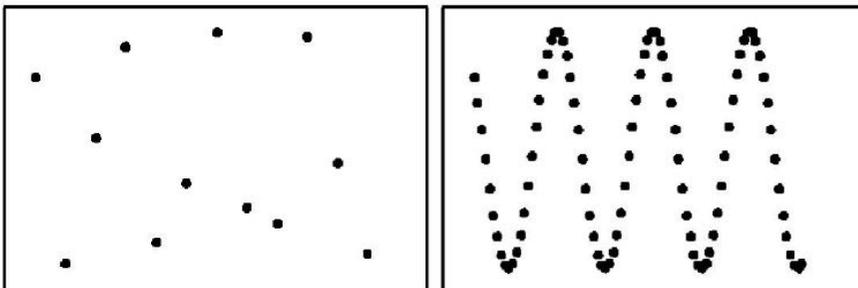
- il campionamento deve avvenire in **tempo reale** (campionamento "real-time")

➤ Il filtro anti aliasing all'ingresso viene inserito per **limitare la banda del segnale**



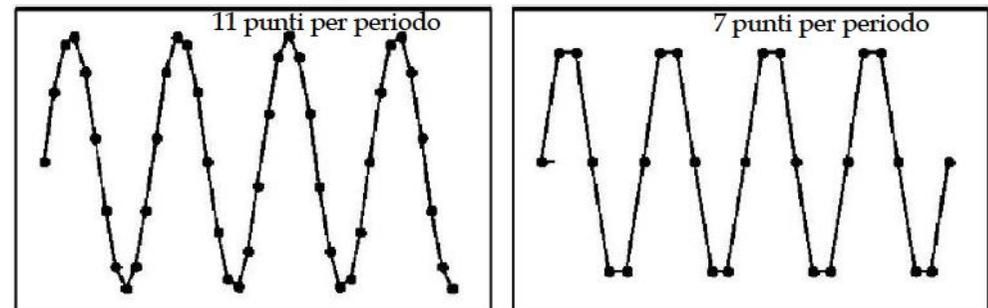
La sequenza dei dati acquisiti rispetta la sequenza temporale dei punti della forma d'onda che evolve sull'asse dei tempi

Aliasing percettivo



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

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



3.2 Campionamento in tempo equivalente – ($F_c < 10B$)

Quindi ...

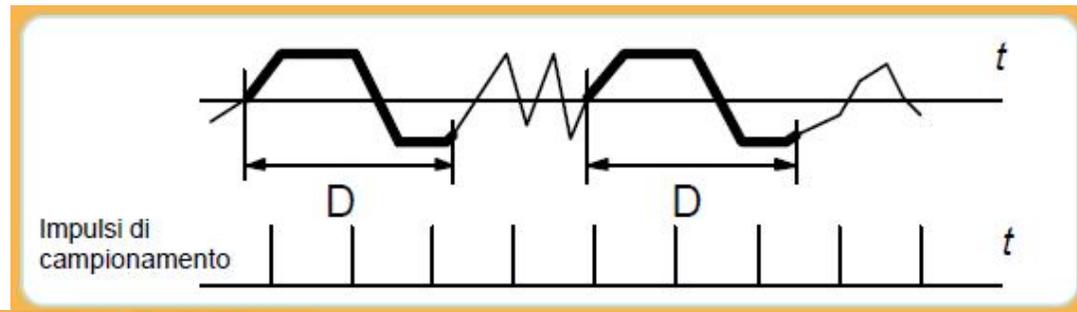
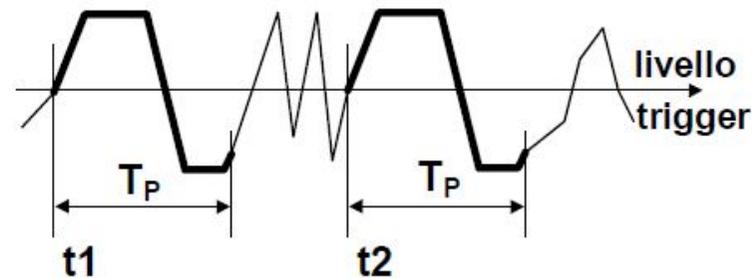
- Non è *in generale* possibile osservare segnali con contenuto in frequenza superiore a $F_c/2$
- La massima frequenza di campionamento di un oscilloscopio è un parametro fondamentale nella definizione del costo dello strumento

Però ...

- Se i segnali sono ripetitivi (gli oscilloscopi analogici lavorano solo con segnali ripetitivi !!) si può ricorrere al
 ‘campionamento in tempo equivalente’
- Il segnale viene ricostruito prendendo ‘opportunamente’ alcuni campioni da ogni spazzolata

➤ Segnale **ripetitivo**

- Si **sfruttano le successive ripetizioni** per acquisire i campioni necessari



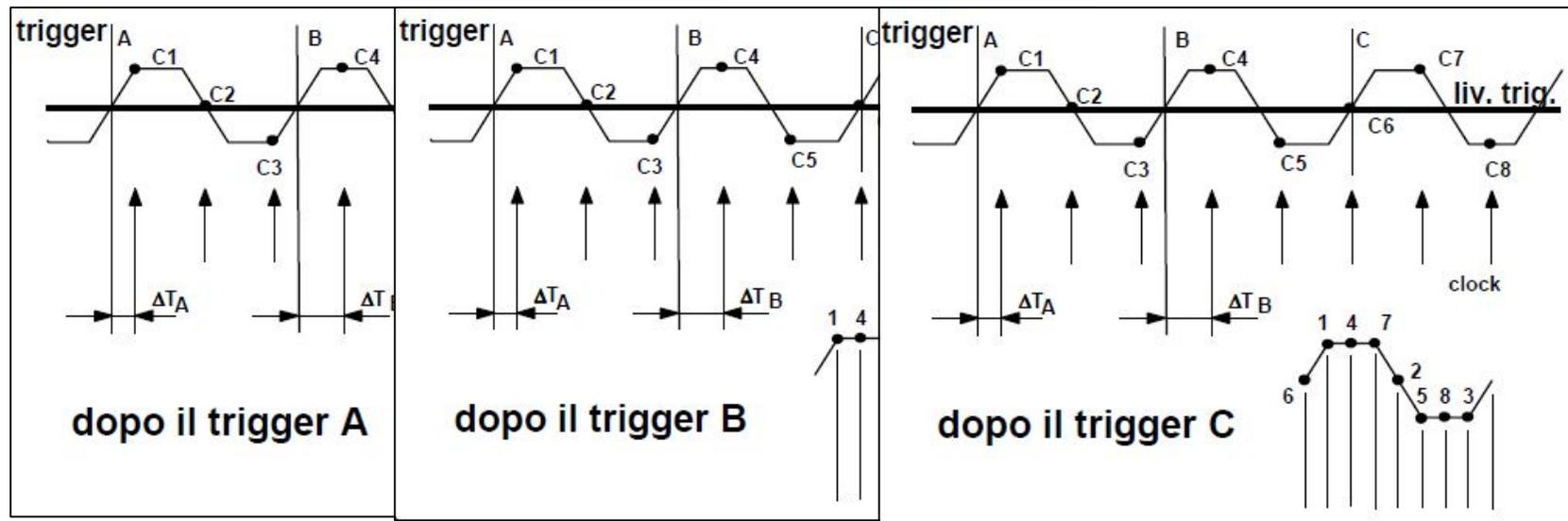
➤ È ovviamente necessaria la **stazionarietà** del segnale

➤ Se il segnale non è stazionario la ricostruzione che si effettua in base ai campioni acquisiti può essere notevolmente errata

Campionamento per segnale ripetitivo

Modalità di campionamento

- Campionamento **sequenziale**
- Campionamento asincrono o **casuale** (random)



3.2 Campionamento sequenziale in tempo equivalente

Sequential sampling

- Il convertitore viene comandato per campionare il segnale con ritardi crescenti rispetto all'istante di trigger
- Si 'baratta' velocità di campionamento con il tempo di attesa prima di avere il risultato
- Può essere realizzato anche con campionamento casuale (random sampling)

- Si genera un **riferimento sincrono** col segnale mediante il blocco di trigger (trigger pulse)
- Si preleva un campione ad ogni ripetizione del segnale con ritardo $k\Delta t$ rispetto all'istante di trigger (k intero=numero d'ordine del campione)

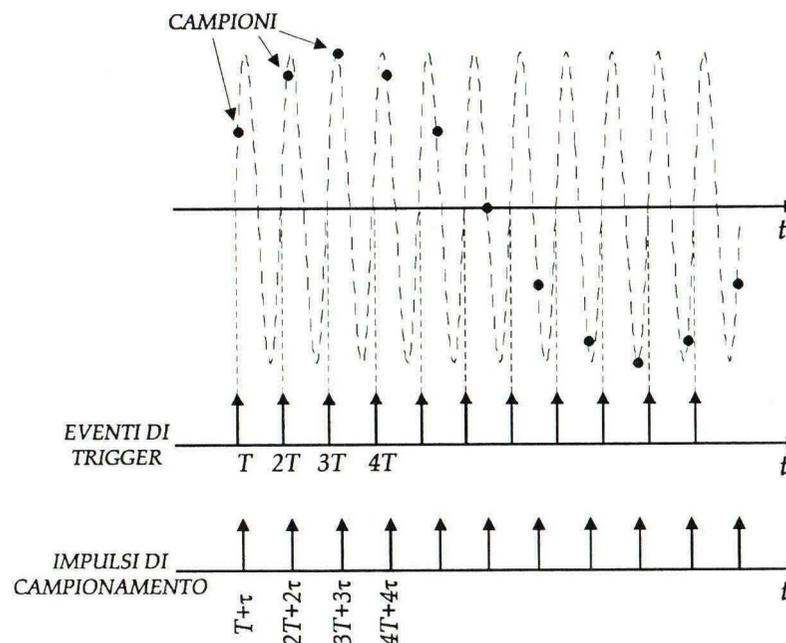
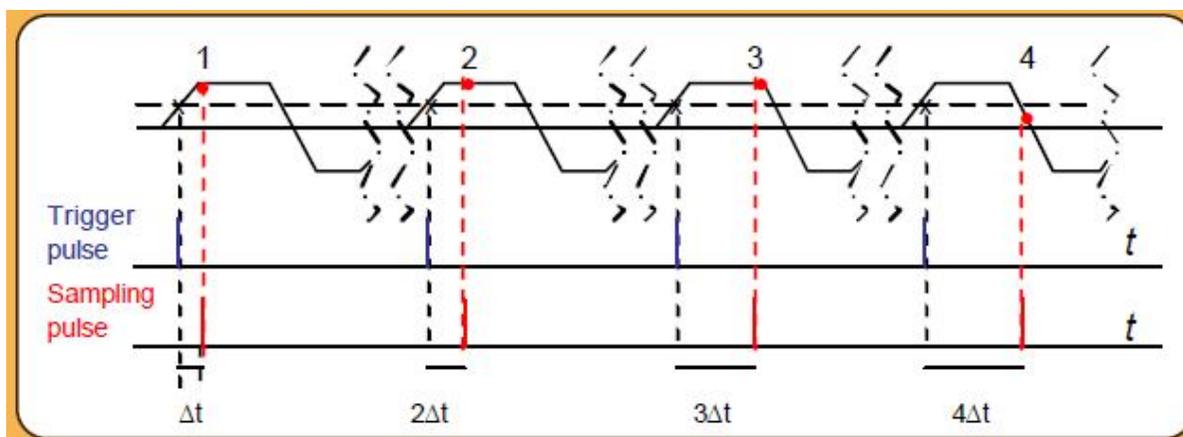
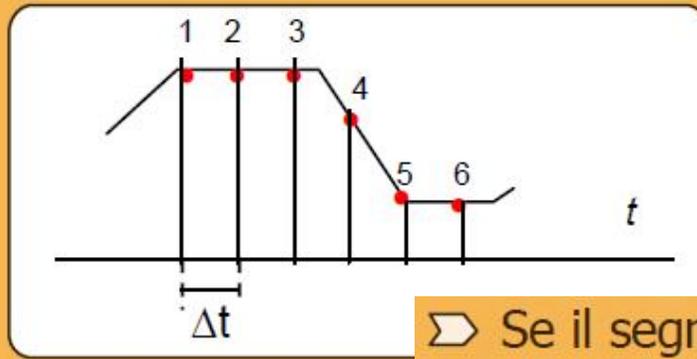


Fig. 3.2.8 Esempio di campionamento sequenziale in tempo equivalente. Il ritardo con cui si attiva il campionatore viene aumentato di un intervallo di tempo τ ad ogni evento di *trigger*.



3.2 Campionamento sequenziale in tempo equivalente

- I campioni accumulati sono in ordine **sequenziale** a distanza Δt lungo la porzione di segnale acquisita
- La frequenza di campionamento equivalente **$f_{eq} = 1/\Delta t$ deve essere sufficientemente elevata per rispettare Nyquist ($f_{eq} > 2B$)**



- Se il segnale ha frequenza di ripetizione molto elevata si può prelevare **un campione ogni M ripetizioni** del segnale

➤ Inconvenienti:

- acquisizione **lenta** (una porzione di durata **$M\Delta t$** richiede **M ripetizioni**)
- **non** è possibile acquisire porzioni del segnale **precedenti** l'evento di trigger (i campioni sono tutti successivi all'impulso di trigger)

Conclusione modalità sequenziale

- Tale tecnica **non viene** normalmente **utilizzata nell'oscilloscopio digitale**
- Si utilizza in particolari strumenti **analizzatori** di forme d'onda per **frequenze molto elevate**
- Quando occorre una elevata accuratezza nella conversione A/D

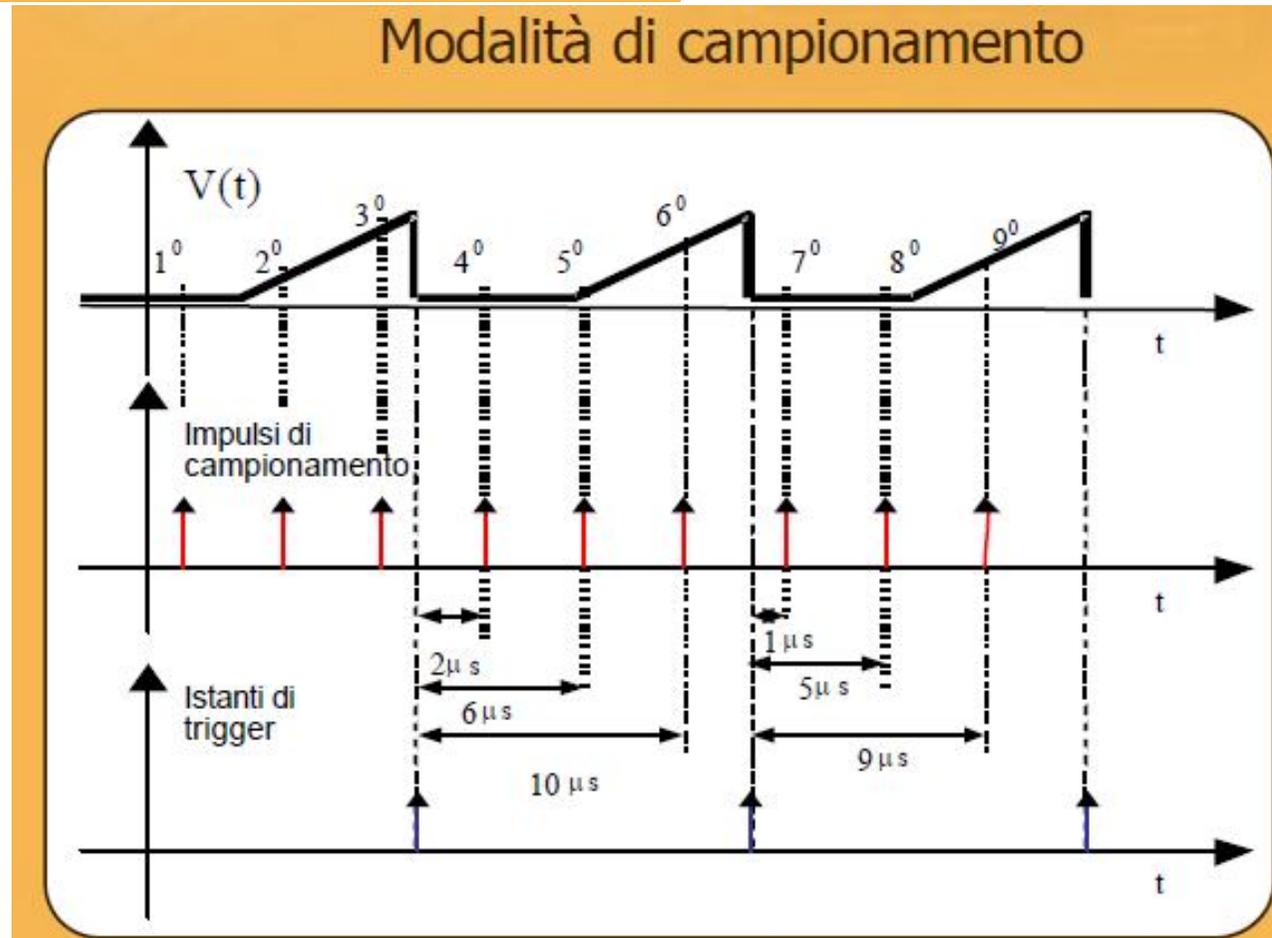
40

- Vantaggi:
 - convertitore A/D lento meno costoso
 - convertitore A/D accurato

3.3 Campionamento casuale in tempo equivalente

➤ Tecnica **adottata in tutti gli oscilloscopi digitali**

➤ Si acquisisce ad una **frequenza fissa f_s** (generalmente la massima possibile)



3.3 Campionamento casuale in tempo equivalente

➤ I campioni acquisiti nelle successive ripetizioni **sono riordinati in memoria in ordine temporale crescente** rispetto all'evento di trigger

➤ Poiché f_s **non è correlata** con gli istanti di trigger nelle successive ripetizioni i campioni sono con **ottima probabilità diversi dai precedenti**

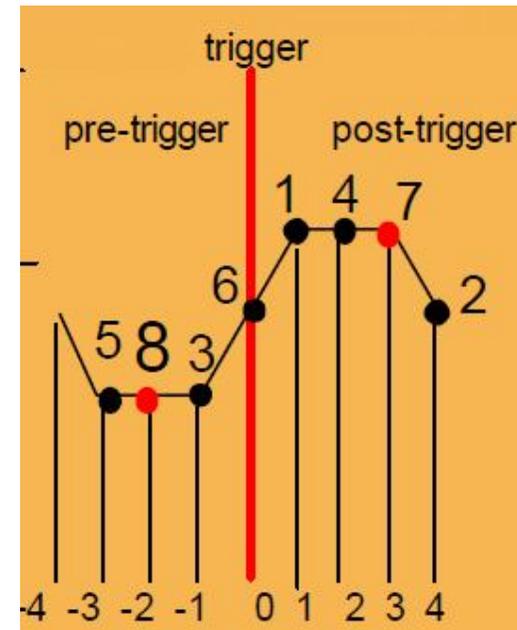
➤ Fissata la porzione **PV di segnale ripetitivo** da ricostruire con **N campioni**

➤ Ogni campione rappresenta un tratto di segnale di durata

$$PV / N \rightarrow \text{time slot}$$

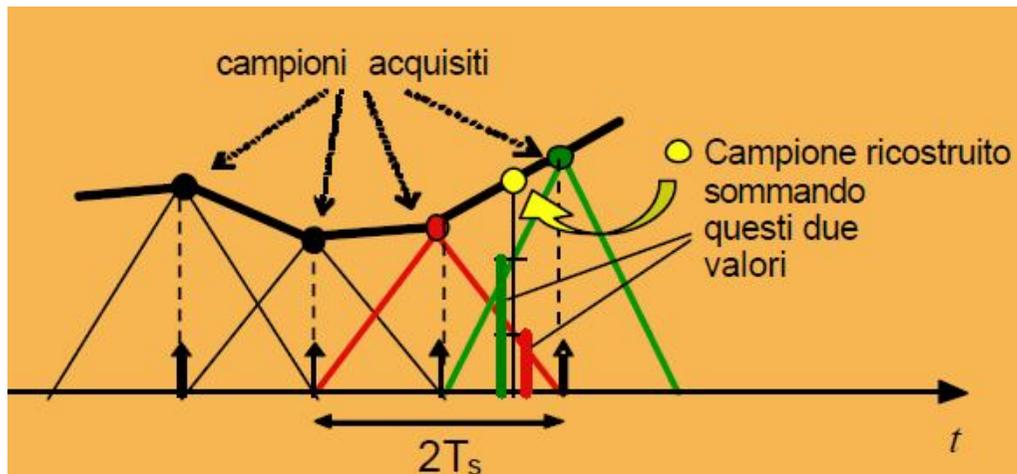
➤ Si misura **il ritardo** fra ogni evento di **trigger** ed il campione successivo

➤ Si **individua il time slot** di appartenenza di ogni campione acquisito



Visualizzazione

- Sullo schermo sono disponibili N_V pixel
- La memoria di acquisizione contiene N_I campioni
 - Se $N_I > N_V$ si deve effettuare una ulteriore selezione
 - Se $N_I < N_V$ si deve ‘interpolare’

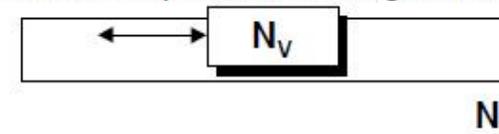


Processo di interpolazione

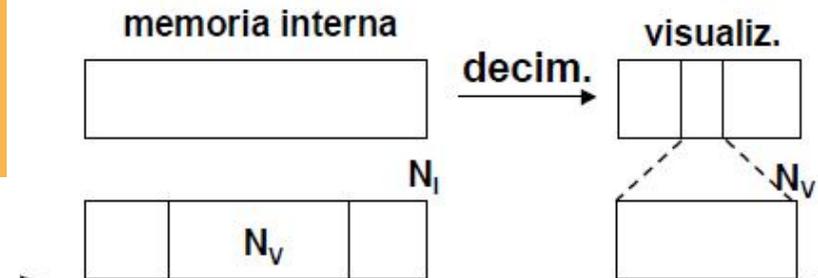
- ▷ I campioni acquisiti **non** sono generalmente **sufficienti** a rappresentare l'immagine con una traccia continua
- ▷ Occorre **aggiungere ulteriori campioni** per completare il numero di **pixel** necessari
- ▷ L'**interpolazione** consiste nella integrazione dei campioni negli intervalli di tempo in cui mancano quelli acquisiti

Visualizzazione $N_I > N_V$

- si può traslare la porzione di segnale visualizzata



- si può ingrandire parte del segnale (ZOOM)



4. Caratteristiche metrologiche (Banda, Risoluzione Accuratezza)

Banda passante (real time)

▷ In modalità di campionamento **real-time**, dipende dalla **massima frequenza F_{Smax}** di campionamento utilizzata

Banda passante (ripetitivo)

▷ In modalità di campionamento di **segnali ripetitivi**, la banda passante dell'oscilloscopio B_{RIP} è **molto più elevata di quella dichiarata per operazioni in tempo reale**, e $B_{RIP} \gg F_{Smax}$

Risoluzione verticale

▷ Il numero di bit del convertitore A/D definisce la **risoluzione teorica** verticale dell'oscilloscopio numerico

Caratterizzazione dei valori temporali

- Con unico parametro
 - time base accuracy: 0.005% del valore letto
- Come somma di due termini
 - $\Delta t = \pm[\% \text{ valore letto} + \text{valore fisso}]$

Accuratezza statica verticale

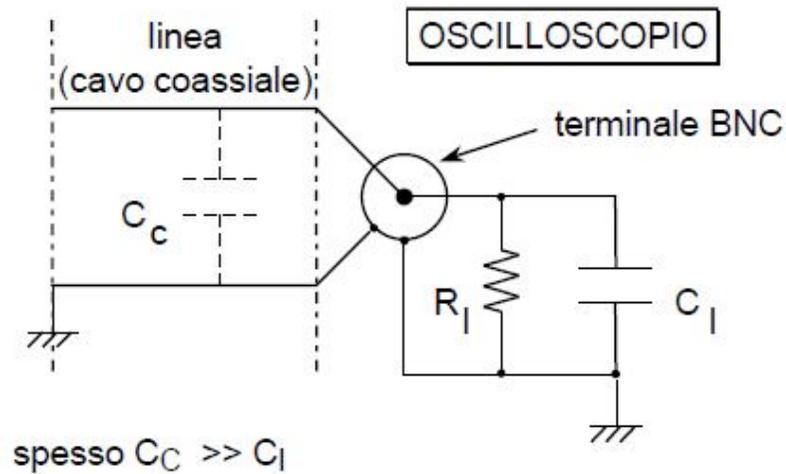
- Diverse possibilità
 - Parametro unico: esempio DC accuracy < + 2% full scale; incertezza costante: meglio lettura prossima al fondo scala
 - Formula binomia: % fondo scala + quantità fissa; A coefficienti V/div più elevati quota fissa trascurabile A coefficienti V/div più bassi determinante la quota fissa

▷ Oppure può essere espressa in (**+ % fondo scala + quantità fissa**), per esempio: **DC accuracy < (+1% FS + 100mV)**

▷ Per esempio:

time base accuracy = [0.005% of reading + 100 ps]

Sonde



Sonde: media frequenza

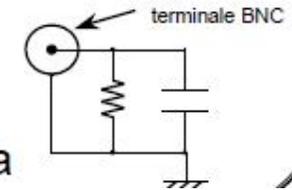
resistenza di ingresso elevata riduce l'effetto di carico (che produce attenuazione del segnale)

reattanza capacitiva varia con la frequenza

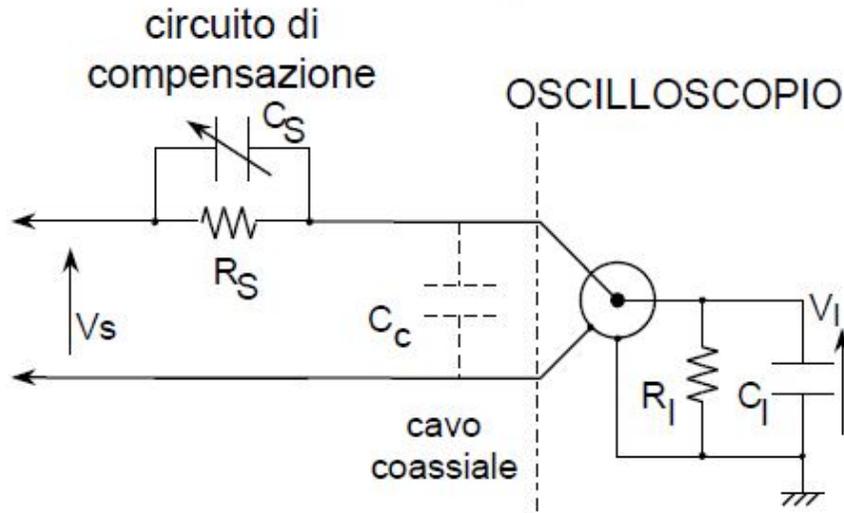
- resistenza R_1 (1 - 10 M Ω)
- capacità C_1 (decine di pF)

- rotazione di fase
- distorsione del segnale visualizzato

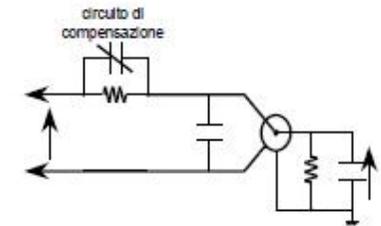
R e C: limitazione di banda



Sonde Compensate



$$C_P = C_1 + C_C$$



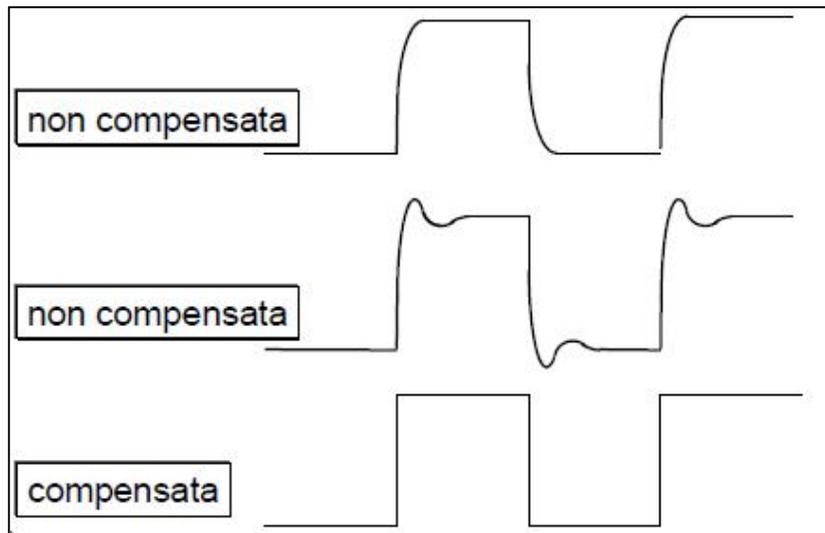
$$V_I = V_s \cdot \frac{\frac{R_I}{1 + j\omega R_I C_P}}{\frac{R_s}{1 + j\omega R_s C_s} + \frac{R_I}{1 + j\omega R_I C_P}}$$

- se $R_I C_P = R_S C_S$

$$V_I = V_S \cdot \frac{R_I}{R_S + R_I}$$

si ha un legame non dipendente dalla frequenza

- $R_S = 9R_I \Leftrightarrow$ attenuazione pari a 10
- resistenza di carico elevata ($10R_I$) in parallelo ad una capacità molto piccola



In pratica

per compensare una sonda, ossia per soddisfare la condizione:

$$R_I C_P = R_S C_S$$

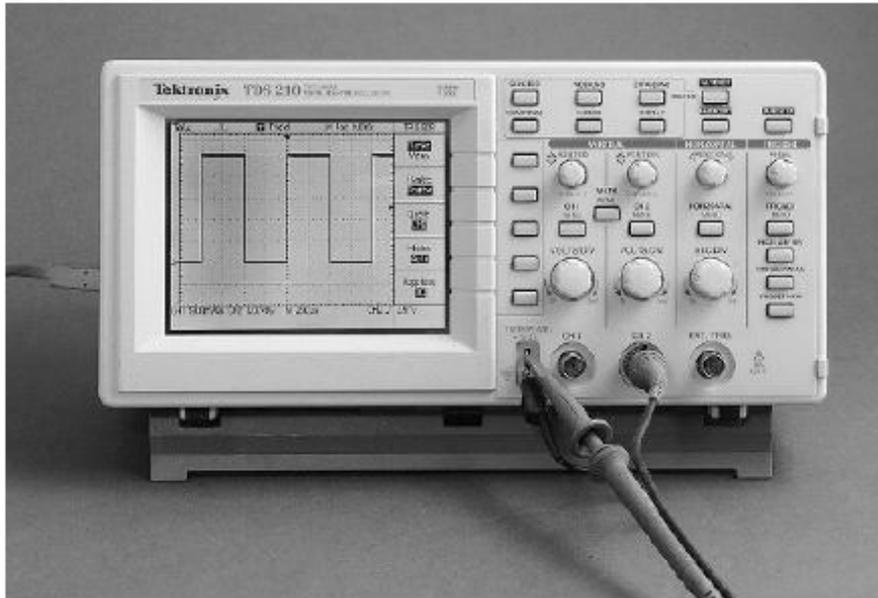
si usa come segnale di test un'onda quadra fornita dall'oscilloscopio

Consiglio pratico:

- se si cambia sonda, oppure oscilloscopio,
è buona norma
verificare la compensazione della sonda

Oscilloscopio reale e simulato

Oscilloscopio Digitale



Tektronix TDS 210:
8 bit, 1 GSa/s, $B=60$ MHz
2 canali, display monocrom.
misure automatizzate...



Interfacce di comun.:
seriale (RS-232),
parallela (Centronics)
GPIB (IEEE-488)

⇒ **labview, swilab**

Riferimenti Bibliografici

- ✓ Bava, Galzerano, Norgia, Ottoboni, Svelto: **Misure Elettroniche di Laboratorio**, Pitagora Editrice Bologna
- ✓ Pisani: **Misure Elettroniche - Strumentazione Elettronica**, Politeko Edizioni
- ✓ Offelli, Petri: **Lezioni di Strumentazione Elettronica**, CittàStudiEdizioni