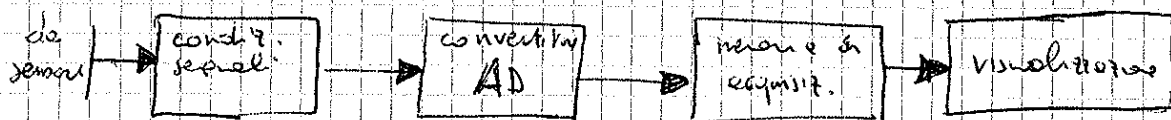


# OSCILLOSCOPI DIGITALI

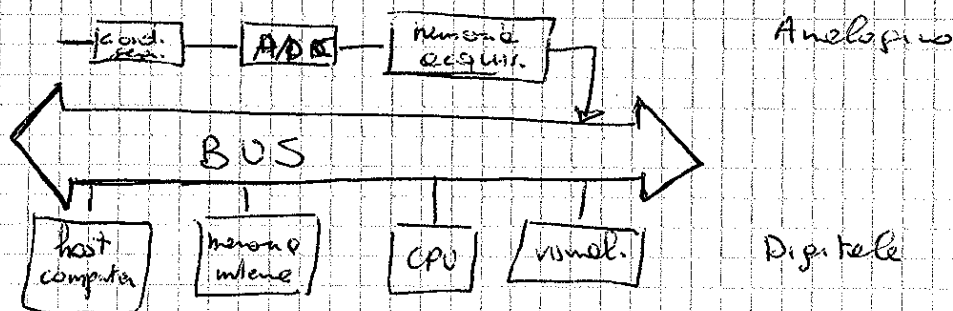
Ormai sono predominanti nelle fasce alte. Prodotti da 2 aziende HP e tectronics.



I convertitori non sono altro che voltmetri digitali.

Dalla memoria di acquisizione si possono mandare i dati in remoto.

Usando i sistemi di acquisizione dati si ha il fatto che non si acquisisce solo più un segnale alla volta, viene fotografato il segnale ad intervalli  $\delta$  uno dopo l'altro. Si elaborano i dati ottenuti per avere un'idea dell'evoluzione nel tempo del segnale. Per fare l'analisi temporale devono mettere in ballo le caratteristiche del convertitore AD. Inoltre bisogna analizzare gli algoritmi per capire come si è comportato il segnale tra una acquisizione e l'altra.



Condizionato (segnali analogici)

- attenuatore d'impedenza
- ground / AC/DC
- filtro

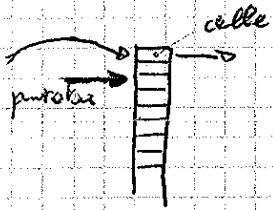
L'oggetto informatico più importante è la CPU. Naturalmente sono 3 o 5 (ma per schermo, scollegamento unico, ...)

La memoria è tipicamente allo stato solido, in alcuni casi anche tramite USB.

Naturalmente gli A/D C sono flash. Quali è la frequenza di campionamento? La frequente è costante perché se no ci sarebbero effetti parassiti sui convertitori. Se si hanno troppi campioni si buttano via.

Se polo di oscilloscopio con frequenza di campionamento di 1GHz vuol dire che compie ogni ns sempre.  
 L'oscilloscopio più veloce ha frequenze di campionamento di 4GHz.  
 Quelli standard di 100 MHz.

Memoria di acquisizione: memoria a stato solido.

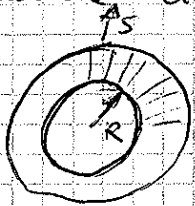


Viene innanzi e comprime nelle 1° celle libere ed il puntatore aumenta di 1.  
 Le memorie sono dell'ordine delle poche celle.

Se la memoria è piena l'oscilloscopio generalmente non acquisisce più. Esiste anche un puntatore di smorzamento che manda i dati acquisiti in BUS.

Le frequenze di riempimento che da 100MHz a GHz. Lo smorzamento in generale manda i campioni sullo schermo. A che frequenza vanno presi? Vanno presi ad una base dei MHz. Lo smorzamento è discontinuo. Vite più lento. Le celle di memoria dell'oscilloscopio sono veloci da scrivere e lente da leggere.

Esiste la modalità di ricaptura dei campioni più vecchi. La memoria diventa circolare. Avviene uno scorrimento del segnale memorizzato.



I campioni smorzati vanno a finire sui circuiti di visualizzazione, in alcuni casi vanno in una memoria esterna RAM.

Conviene un oscilloscopio digitale o analogico? Omai si comprano solo più digitali. Hanno però il difetto di dare informazioni false.

L'oscilloscopio analogico fa vedere il segnale d'ingresso. Se si va troppo in alto con frequenza si vede il segnale distorto. L'oscilloscopio può far vedere in un'immagine che non esiste. Dato un segnale suff. complesso si può memorizzare lo schermo per far uscire un altro segnale. L'oscilloscopio non dice niente!!!

Circuiti di visualizzazione

Lo schermo dell'oscilloscopio digitale è come quello dello schermo televisivo. Il tubo a raggi catodici televisivo è simile a quello dell'osc. analogico. C'è la differenza che quello televisivo presta gli elettroni come elettromagnetici, che molto il tubo è più corto.

Nell'oscilloscopio analogico il fascio di elettroni viene pilotato dal segnale in ingresso per mezzo di amplificatori (più lungo rettangolo).

Il pilotaggio televisivo è di tipo raster. Il fascio di elettroni

segue sempre lo stesso percorso. De sinistra a destra per tutte le righe. Il percorso del fascio di elettroni è sempre lo stesso. Viene detto il quadro il tempo tra in alto a sinistra e in basso a destra. Un quadro viene percorso in 20 ms. (Negli USA 16 ms (60 Hz)) (Inoltre in Europa si usa un segnale interlacciato (il fascio percorre prima le righe pari, poi quelle pari)). Per tracciare le immagini si viene l'intensità del fascio usata come  $z$ . Per il colore si hanno 3 canali, uno per colore base (RGB). Ogni punto sul display è un pixel. Sogli oscilloscopi si possono avere immagini a colori. La banda di un oscilloscopio digitali dipende dal ADC, ma non dallo schermo. La risoluzione è ~~più~~ parte una cosa negli oscilloscopi.

**NB:** il monitor del PC percorre il quadro ad una frequenza diversa oggi si corre a frequenza di refresh di 100-200 Hz

Si hanno quindi 2 fasi distinte:

- acquisizioni dati.
  - visualizzazione.
- } in mezzo c'è la memoria digitale

Si può avere una memoria di massa, che deve essere veloce, ma non è critica.

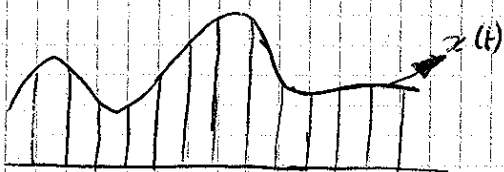
La memoria di acquisizione è un elemento di pregio dell'oscilloscopio.

Verifica di predisposizione: se cambiando la scala dei tempi il segnale varia coerentemente allora si è abbastanza certi che il segnale visto sia giusto.

### Acquisizione

Il convertitore è tipicamente a 8 bit (mentre solo un convertitore del 1%).

### Campionamento



Supponiamo che il campionamento sia istantaneo

$$x(t) \rightarrow x[nT_c]$$

$\rightarrow$  periodo di campionamento

Dal segnale campionato si interpolano i punti per ricostruire un segnale analogico. Si confronta il segnale ottenuto con quello originale. Se i segnali sono uguali l'informazione è rimasta.

(di Shannon)

Teorema fondamentale del campionamento: affinché sia verificata la ricostruzione del segnale deve essere soddisfatta 2 condizioni:

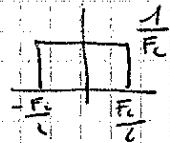
- 1) Il segnale originale deve essere limitato in banda (banda  $V_e$  <sup>in questo caso</sup>) e la frequenza più in alto della quale il segnale ha energie nulle) e la frequenza di campionamento deve essere almeno 2 volte la banda.

- 2) Per ricostruire deve usare un'operazione di tipo  $\frac{\sin x}{x}$ , in pratica

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT) \frac{\sin(\pi F_c (t-nT))}{\pi F_c (t-nT)}$$

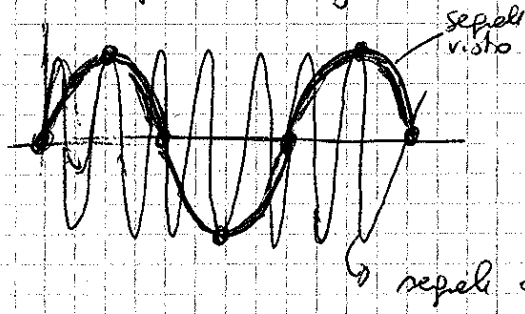
Valore 1 per il campione considerato (nimo campione) e 0 per tutti gli altri.

La trasformata di Fourier è un rettangolo



Per ricostruire si sommano punto per punto tutti i ricostruttori.

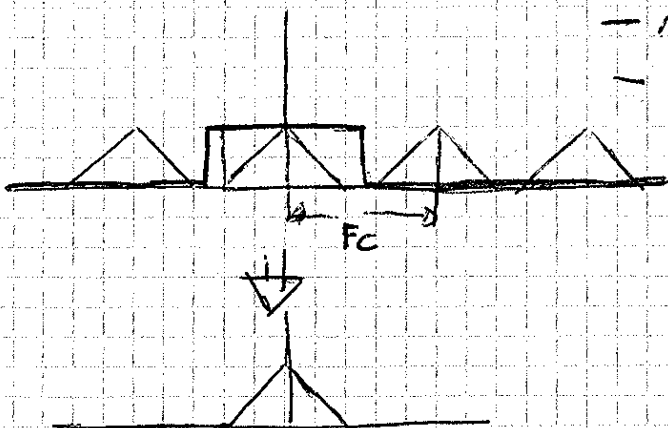
Se non rimborsano a campionare a frequenza 2 volte la banda si verifica il fenomeno dell'aliasing.



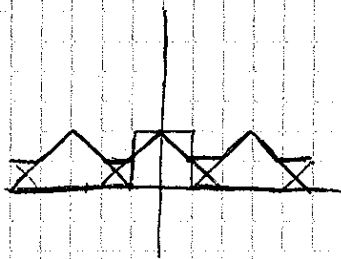
segnale sinusoidale - Per teo di Shannon campione e seno di 2 volte per periodo

Parlando in serie di Fourier: la trasformata di Fourier del segnale periodico ricostruito è uguale a quella del segnale originale, ma ripetuta con periodo pari a  $F_c$ .

Immaginiamo di campionare il segnale ad una frequenza  $F_c$  maggiore di  $2b$ . Noi otteniamo una serie del genere



- ricostruttore ottimo
- segnale in trasformata di Fourier

Controprove:

Il risultato è che possiamo avere segnali fino ad un max di 500MHz, se va bene.

Il teorema di Shannon non è applicabile nella realtà perché nessun segnale fisico è limitato in banda. Tuttavia per il teorema di Fourier si ha che per  $f \rightarrow \infty$  l'energia tende a 0.

Il teorema di Fourier dimostra che non esiste il moto perpetuo.

Quindi qualsiasi segnale campionato a qualunque segnale frequenza si ha l'aliasing - Bisogna che l'effetto dell'aliasing sia piccolo rispetto all'incertezza voluta.

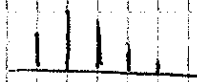
Per far sì che l'aliasing sia piccolo bisogna campionare ad una frequenza almeno 10 volte la banda (banda con significato come quella dell'oscilloscopio). Le ipotesi sono che il segnale varia più di 40dB per decade e che si vuole un'incertezza del 1% (se si vuole <sup>precisione</sup>  $1/10000$  serve freq.  $\approx 20000$  volte la banda).

Secondo ipotesi motivo bisogna avere ricostruttori da zero a infinito.

Quindi non esiste il ricostruttore ottimo. Si utilizzano 3 tipi di ricostruttori:

1)  $\phi$ -hold: zero questo non si ha campione, il valore del campione quando si campiona

Si chiama  $\phi$ -hold perché è sempre e tuo tempo quando esiste il campione.



2) 1-hold: questo c'è un campione come il valore del campione e lo conserva fino a quando arriva il nuovo campione



3) 2-hold: interpola cinematicamente tra un campione e l'altro (ho bisogno di un campione nel futuro. Quindi il segnale ricostruito è in ritardo di un campione).

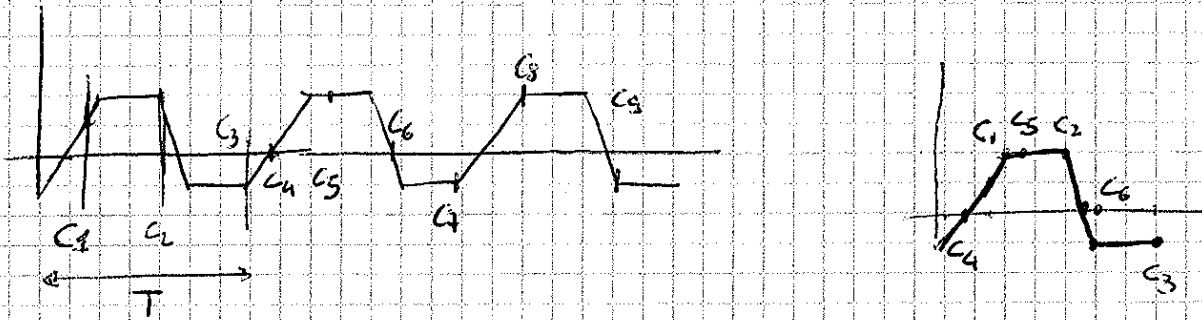


3) 4) 3-fold interpola con una parabola. È in uso di due capi.

I costruttori così non sono altro che una serie di forme di  $\frac{\sin x}{x}$ .

In un caso particolare si può usare un trucco per andare su in frequenza. Si basa sull'ipotesi che per i segnali ripetitivi l'oscilloscopio può usare un campionamento in tempo equivalente. Si può quindi superare lo scoglio del teorema di Shannon. Il trucco deriva dal fatto che il segnale si ripete tali e quali per più periodi successivi. (Possiamo prendere campioni in diversi periodi).

Ci deve essere un circuito di trigger che funzioni nello stesso modo di quello dell'oscilloscopio analogico. ~~Indipendente~~



Anzi tutto l'immagine solo dopo un certo numero di periodi.

Questo difetto è trascurabile perché è dell'ordine  $\mu\text{s}$ -ms.

Il campionamento è random perché da vedere i punti campionati sul display lo vede campione in modo casuale. Il limite di frequenza ed oggi è dato dal trigger ~~di 30-30 MHz~~. Un altro limite è la stima del delta tra il campionamento e l'istante di trigger. Il limite è dei 10-12 GHz.

Qualche oscilloscopio ha un campionamento sequenziale ~~che prende~~ ~~il campione~~ ~~periodo~~ (i punti campionati da un verso dx).

La descrizione matematica di questo algoritmo significa la diminuzione delle ~~semplici~~ <sup>sequenze</sup> del segnale. La condizione è che la frequenza di campionamento e quella del segnale devono essere prime tra di loro.

Il tempo

## Doppie base dei tempi e doppia traccia

Noi possiamo andare a fare ZOOM quanto vogliamo. Non esiste quindi:

1) doppie base tempi.

Per avere 2 canali noi hanno due memore, due convertitori. Idem per 4 canali.

Posso anche mettere un convertitore con multiplexer.

Il limite è la visualizzazione. Con schermo in bianco e nero 2-3 tracce. Con schermo a colori fino a un max di 16. Il Tuttavia il max è 4 tracce.

## Altri comandi del DSO (Oscilloscopio digitale)

- Average: media di 2 tracce
- Peak or Envelope: mostra max e min di tracce
- Cumulative: mostra tutte le tracce senza cancellare lo schermo.

## Opzioni di misure (come con CAVELA)

- FFT trasformate digitali di Fourier
- Cursor DV e DT
- Misure automatiche di tempo di salite, frequenza, periodo, spostato...

FFT: algoritmo di calcolo trasformate discrete di Fourier.

Le misure di tempo sono eseguite in automatico dall'oscilloscopio intero dell'oscilloscopio (Precisioni del  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ).

Del fatto che l'oscilloscopio può fare le trasformate di Fourier nasce l'enciclopedia di spettro (non è altro che un DSO che è specializzato nel calcolo delle trasformate di Fourier). Ha potente software e potente  $\mu P$ . L'altro figlio dell'oscilloscopio digitale è l'enciclopedia di stati logici. (Non si visualizzano le tracce, ma lo codifica in bit). Serve per analisi segnali digitali (Esempio dei BUS).

Questi canali possono essere interpretati. Sullo schermo possono comparire i caratteri che pensano. Se interpretiamo i caratteri come istruzioni posso mettere un programma di disassembler. Questo è il sistema più semplice per capire come è fatto il programma. L'enciclopedia di stati logici è utile per capire il funzionamento del  $\mu P$  e dello Mother board.

Un'altro figlio del DSO è lo sniffer.

# Oscilloscopio multicanale

3 possibili soluzioni:

1) N condizionatori, multiplexer, un ADC, una memoria.

Ci sarà un attenuatore e amplificatore, e dei filtri nel condizionatore.

Non c'è motivo per mettere il multiplexer a monte del condizionatore.

2) N condizionatori, N ADC ed una sola memoria

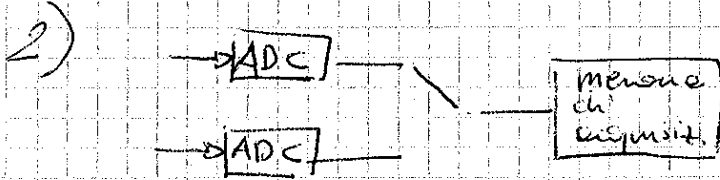
3) N condizionatori, N ADC ed N memorie



Il funzionamento ricorda vagamente il funzionamento CHOPPED.

- La frequenza di campionamento è  $\frac{F_c}{n}$  con n il numero di canali.

- I campioni tra i canali sono trattati temporalmente. Molto spesso si vuole fare il confronto tra i due canali. Se si fa il ritardo di fase si ha un ritardo di  $\frac{T_c}{2}$ .

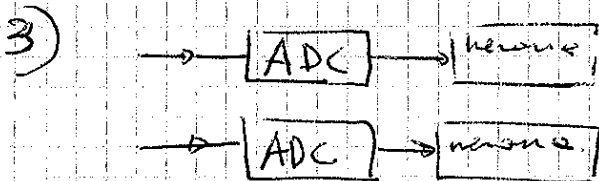


Il periodo di acquisizione del segnale è  $T_c$ .

Si hanno problemi di intasamento della memoria. Nonostante

vien usato con una memoria da 1 campione che viene poi trasferita

nella memoria di acquisizione, la memoria deve essere molto veloce il doppio rispetto alla memoria per 1 solo convertitore.



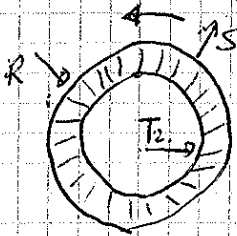
Soluzione più cara e più bullata che si può avere.



## Circuiti di trigger

Sugli oscilloscopi analogici si basava su livello e pendente del segnale. Si vedeva il segnale solo dopo il trigger. (Si poteva vedere sull'estremità sinistra l'istante di trigger).

Ne gli oscilloscopi digitali il trigger si basa sempre su livello e pendenza. Avranno anche le possibilità del post-trigger. Inoltre l'oscilloscopo digitale permette di creare dei triggerings piuttosto sofisticati.



Supponiamo che il trigger punti su un campione. Il post-trigger prende i campioni successivi al punto di trigger.

Possiamo anche prendere il campione prima del trigger.

Quindi posso spostare il l'istante di trigger da sx a dx. (Passo avanti e indietro o a dx dello schermo). Negli

oscilloscopi più raffinati si può portare l'istante di trigger fuori dallo schermo. Oggi la concorrenza si fa sulle opzioni:

- applicativi software. Es. verificare la presenza di glitch e spikes. In alcuni casi è possibile che il programma si è fermato direttamente dall'utente.
- trigger: sempre più raffinati. Ad esempio 2 livelli di trigger uno di livello ed uno di abilitazione. Oppure trigger su più canali es. canale 1: livello<sup>o</sup> post, canale 2: zero logic. Si può dare un trigger impostato da un pattern. Esempio dopo che il canale ha avuto una sequenza di zero e di uno do l'abilitazione del trigger su un canale. Idem per sapere cosa accade prima di una sequenza di bit. Possiamo anche mettere un pattern su più canali. È possibile impostare delle condizioni logiche che si basano sulla matematica binaria. Si può scegliere anche l'antivivello del trigger.

Sull'oscilloscopio digitali c'è il pulsante reset che fa vedere una traccia sullo schermo.



## Specifiche DSO

I parametri non sono sempre definiti in modo rigoroso e non accettati da tutti i costruttori.

Inoltre è difficile la valutazione delle prestazioni ed il confronto tra oscilloscopi diversi.

- Bit equivalenti: le cause di errore attribuite ad un convertitore A/D ideale con un numero di bit inferiore a quello del convertitore reale. Incertezza dell'oscilloscopio. I bit equivalenti di risoluzione non sono sempre interi.

- Bande passante: le bande del segnale d'ingresso espresse con la frequenza di taglio superiore  $F_{max}$  (attenuazione di  $-3dB$ ).

Può essere riferita a:

- campionamento one-shot. (0 m tempo reale)
- campionamento casuale. (0 m tempo equivalente).

È un'informazione sotto la quale può essere usata in termini d'incertezza.

Può anche essere data la funzione di trasferimento con una funzione del 1° ordine.

esempio:  $20 \log_{10} \frac{1}{\sqrt{1+(0,5)^2}} \cong 1dB$  per  $F_s = 0,5 F_{max}$

- Frequenza di campionamento

- campionamento one-shot
- tempo equivalente

esempio:  $BW = 1GHz$ ,  $F_s = 20 \text{ MS/s}$ ,  $F_{req} = 20 \text{ GS/s}$

samples (sample)

- Accuratezza statica verticale

- diverse possibilità:

- parametro unico: DC accuracy  $< 2\%$  full scale

- formule binomiali:  $\% \text{ errore} + \text{quantità fissa}$

- altre informazioni:

- gain accuracy  
- DC offset accuracy

- Specifiche ore orizzontali

• unico parametro: time based accuracy ordine  $0,005\%$  del valore letto

• somma di 2 termini:  $\Delta t = \pm [\% \text{ valore letto} + \text{valore fisso}]$ .

N.B. le misurazioni di tempo sono molto accurate.

Nell'oculoscopio digitale i comandi esistono in digitali formato info al microprocessore. Il pannello non è più direttamente operativo. Si usano spesso i KNOB, una sorta di mouse con cui si predispongono base dei tempi, ... Si usano molte dei MENÙ con tecnica delle soft key: tasti che cambiano significato a seconda del punto in cui si trovano nel programma.

## AUTOMAZIONE di SISTEMI di MISURA

Quanto è il caso di automatizzare un processo di misura?  
Se dobbiamo eseguire misurazioni più e più volte e fare misure complesse. Possono essere misurazioni in cui bisogna far lavorare assieme decine di strumenti.

I casi hanno alcune problematiche comuni:

- riduzione errore umano (noia, complessità operativa)
- elevata quantità di dati da gestire
- necessità di ottenere rapidamente i risultati
- necessità di immagazzinare i dati e di appropriata presentazione degli stessi.

Un sistema automatico di misura (C.A.M.) è un insieme di apparecchiature che elaborano tra loro e sono in grado di eseguire un processo di misurazione.

DUT: sistema misurato (device under test).

- il DUT va stimolato.
- Ricevere e misurare le grandezze fisiche con il minimo intervento dell'operatore.
- Elaborazione e memorizzazione dei dati sperimentali.
- Suggerire modifiche o esatte il processo in funzione dei dati ottenuti.

## VANTAGGI

- riduzione errore umano
- maggior velocità
- possibilità di auto-calibrazione
- correzione automatica di errori sistematici.
- trattamento ed elaborazione dati sperimentali.
- memorizzazione dati e presentazione in tempi brevi ed in forma opportuna
- anche se ha costi iniziali maggiori può risultare più economico (costo di diminuzione del personale).