

# OSCILLOSCOPIO DIGITALE

## Introduzione

L'oscilloscopio fa parte della classe degli strumenti nati per la rilevazione dell'andamento di un segnale elettrico nel tempo.

Il suo uso non è limitato alle sole grandezze elettriche, ma può essere esteso, attraverso opportuni trasduttori, a tutte le altre grandezze fisiche.

È sicuramente lo strumento più utilizzato nel campo elettronico.

Data la sua media complessità d'uso, richiede una precisa conoscenza delle sue potenzialità di misura, dei suoi limiti e delle sue caratteristiche costruttive.

Attraverso lo studio di questi aspetti, si apprezzerà il significato dei controlli disponibili nella maggior parte degli strumenti commerciali, e ci si potrà orientare in modo corretto sia alla sua scelta, sia al suo uso.

In questa unità didattica sarà esaminato l'oscilloscopio digitale, naturale sviluppo tecnologico e di prestazioni dell'oscilloscopio analogico.

## Principali caratteristiche di un oscilloscopio digitale

L'oscilloscopio digitale (**DSO**, *Digital Storage Oscilloscope*: Oscilloscopio a memoria digitale), si differenzia da quello analogico principalmente per il modo in cui avviene la memorizzazione del segnale da misurare.

In quello analogico, per memorizzare l'andamento nel tempo di un segnale si utilizza la persistenza luminosa dei fosfori del tubo a raggi catodici (CRT), colpiti da un fascio elettronico deviato da un sistema elettrostatico.

Come noto la persistenza del fosforo P31, deposto sul CRT di un normale oscilloscopio, è inferiore a 1 msec.; in alcuni casi si preferisce però a ricorrere ai CRT con fosfori P7 i quali offrono una persistenza maggiore che si aggira attorno a circa 300 msec.

Entrambi i tipi di fosforo rimangono illuminati per il tutto il tempo durante il quale il segnale è presente all'ingresso, ma non appena questo viene a mancare, la relativa traccia si estingue rapidamente se lo schermo monta i fosfori P31, o più lentamente se i fosfori sono di tipo P7.

Cosa succede, però, se il segnale si manifesta solo poche volte al secondo, o se il periodo del segnale è di parecchi secondi o, ancora peggio, se il segnale si manifesta una sola volta?

In questi casi è praticamente impossibile osservare il segnale con l'oscilloscopio analogico in quanto la breve permanenza della traccia sullo schermo non ne permette la valutazione.

In un oscilloscopio digitale si usa una memoria digitale che memorizza i campioni del segnale, prelevati attraverso un sistema di acquisizione dati, che utilizza un circuito sample/hold ed un convertitore analogico/digitale.

L'operazione di visualizzazione diventa indipendente dalla natura del segnale e condizionata solo dalle prestazioni e dalle modalità di acquisizione dei campioni.

Le principali differenze tra un oscilloscopio analogico ed uno digitale possono essere così riassunte:

- un oscilloscopio analogico opera in *tempo reale* su segnali analogici, quello digitale opera in *tempo reale e tempo equivalente* su segnali campionati;
- le forme d'onda acquisite da un oscilloscopio digitale possono essere messe a confronto con forme onda campione tenute come riferimento;
- l'oscilloscopio digitale permette l'esecuzione di misure totalmente automatiche;
- in un oscilloscopio analogico la post-elaborazione del segnale è limitata a poche operazioni elementari sui segnali (somma e differenza); in quello digitale è possibile effettuare qualsiasi elaborazione, anche di natura statistica, utilizzando sistemi a microprocessore di tipo generale o processori di segnale (DSP Digital Signal Processor);
- in un oscilloscopio analogico la restituzione dell'informazioni è limitato alla sola fotografia dell'immagine, visualizzata su un tubo a raggi catodici (CRT); in quello digitale è possibile trasferire, attraverso diverse interfacce di comunicazione digitali (RS232, IEEE488 e LAN) e supporti di memorizzazione magnetica (floppy disk), le informazioni di misura verso un elaboratore esterno, in grado di eseguire ulteriori analisi o archiviazioni;

L'oscilloscopio analogico è uno strumento prettamente elettronico; quello digitale, grazie all'utilizzo massiccio della tecnologia informatica, è attualmente un vero e proprio elaboratore dedicato all'acquisizione, visualizzazione, elaborazione e comunicazione delle informazioni relative alle misure su segnali di natura elettrica.

## Struttura e principio di funzionamento di un oscilloscopio digitale

Un oscilloscopio digitale si diversifica nella sua struttura, rispetto ad uno analogico, per la presenza di sezioni di acquisizione, memorizzazione e visualizzazione gestite da un sistema a microprocessore.

Attenuatore di ingresso, amplificatore verticale, generatore del trigger e della base dei tempi, sistema di visualizzazione (il CRT è sostituito da un display a cristalli liquidi paragonabile a un monitor ad alta risoluzione<sup>1</sup>) sono presenti in entrambi gli strumenti.

Nella figura 1 è riportato lo schema a blocchi di un generico oscilloscopio digitale.

<sup>1</sup> Nei DSO Tektronix serie 2000, ad esempio, lo schermo ha una diagonale da 145 mm. con risoluzione di 320x240 pixel.

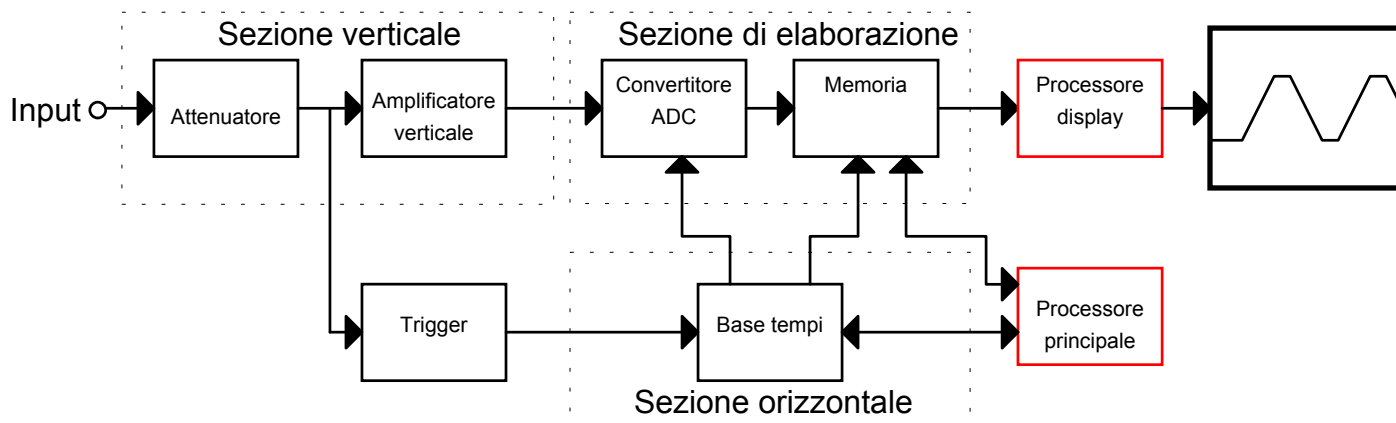


Figura 1

Il segnale, una volta oltrepassata la sezione verticale, è *campionato* ad intervalli di tempo regolari; ciò significa che i valori istantanei del segnale (o *campioni*) sono valutati da un *convertitore analogico-digitale* (ADC, da *Analog to Digital Converter*) il quale genera un codice binario corrispondente che rappresenta ognuna delle tensioni campione.

Si avranno pertanto tanti codici binari quanti sono i campionamenti eseguiti sulla tensione analogica del segnale di ingresso: questo processo è chiamato *digitalizzazione*.

I valori binari così ottenuti sono quindi immagazzinati in un banco di memoria digitale.

La *velocità* alla quale si prelevano i campioni è chiamata *frequenza di campionamento* (*sampling rate*); di essa viene solitamente indicato il massimo valore raggiungibile che, per strumenti per impieghi generali, può variare da 200 Mega-campioni al secondo (MS/sec) a 4 GS/sec<sup>2</sup>.

I dati immagazzinati nella memoria vengono in seguito utilizzati per ricostruire la forma d'onda sul display dell'oscilloscopio.

Se si considera quanto compreso tra il connettore d'ingresso e il monitor, in un DSO vi sono ben più componenti circuitali che non in un oscilloscopio analogico, perché la forma d'onda è dapprima stoccata in memoria e quindi rappresentata sul display; infatti, quanto si vede riportato sullo schermo è sempre una ricostruzione che parte da un insieme di dati acquisiti e non una visualizzazione diretta e continua del segnale applicato ai connettori d'ingresso.

La maggior parte degli oscilloscopi impiega convertitori ad 8 bit che sono in grado di descrivere un segnale in  $2^8 = 256$  livelli di tensione diversi; ciò permette una definizione di solito sufficiente per studiare i segnali ed effettuarne le misure.

In questo modo i passi di segnale più piccoli sono rappresentati ad una dimensione praticamente pari a quella dello spot del display.

La parola di uscita dell'ADC, rappresentante il valore di un campione di tensione, è formata da 8 bit; tale cifra è un parametro molto importante nella valutazione delle caratteristiche di un DSO, parametro noto come *risoluzione*.

Maggiore sarà il numero di bit in uscita dall'ADC, più piccolo sarà il particolare di segnale che potrà essere osservato nella forma d'onda anche se, di pari passo, vi sarà un incremento del costo dell'apparecchiatura.

### Base tempi e risoluzione orizzontale

Nell'oscilloscopio a memoria digitale, il compito del circuito di scansione orizzontale è quello di assicurare che i campioni siano acquisiti ognuno al momento opportuno.

L'insieme dei campioni che costituiscono una forma d'onda si chiama *record*; quest'ultimo è caratterizzato da un parametro, la *lunghezza di registrazione*, che indica il numero di elementi presente nel record.

In genere un DSO configura 500 campioni su tutto l'asse orizzontale (*lunghezza di registrazione* = 500), disposti con una risoluzione orizzontale di 50 campioni per divisione<sup>3</sup>.

Pertanto, l'intervallo di tempo tra due campioni consecutivi può essere calcolato come segue:

$$\text{intervallo di campionamento} = \text{settaggio base tempi (sec/div)} / \text{numero di campioni} \quad (1)$$

Per un settaggio della base tempi di 1 msec/div, con 50 campioni per divisione, l'intervallo di campionamento risulta essere:

$$\text{intervallo di campionamento} = 1 \text{ msec} / 50 = 20 \mu\text{sec}$$

La velocità di campionamento risulta, naturalmente, il reciproco dell'intervallo di campionamento:

$$\text{velocità di campionamento} = 1 / \text{intervallo di campionamento} \quad (2)$$

Riepilogando:

- il numero di campioni rappresentato sul display è fisso;
- settando la velocità della base tempi si stabilisce anche la velocità di campionamento.

<sup>2</sup> 1 Mega =  $1 \cdot 10^6$ ; 1 Giga =  $1 \cdot 10^9$ .

<sup>3</sup> Il che significa che l'asse orizzontale ha una lunghezza di  $500/50 = 10$  divisioni.

La velocità di campionamento specificata per un particolare strumento è quindi valida solo per un preciso settaggio della base dei tempi: per esempio, quando quest'ultima viaggia lentamente (con fattori dell'ordine del sec/div) saranno impiegate basse velocità di campionamento.

Considerando un oscilloscopio dotato di una frequenza massima di campionamento di 1GS/s, la velocità massima alla quale può operare la base tempi è pari a:

$$\begin{aligned}\text{minimo fattore SEC/DIV} &= 50 \text{ campioni} \cdot \text{intervallo di campionamento} \\ &= 50 / \text{velocità di campionamento} \\ &= 50 / (1 \times 10^9) \\ &= 0.05 \text{ ns/div.}\end{aligned}$$

L'acquisizione dei segnali alla massima frequenza di campionamento è consigliata solamente per questo fattore dei SEC/DIV; se tale velocità fosse utilizzata per qualsiasi altra impostazione della base tempi, ne potrebbero derivare problemi di ricostruzione delle forme d'onda.

Considerando, ad esempio, di analizzare un segnale sinusoidale avente frequenza 1 KHz, visualizzandone un periodo sullo schermo, si potrebbe impostare la velocità della base tempi a 100  $\mu\text{sec/div}$ .

Se l'acquisizione avvenisse alla massima frequenza di campionamento, per avere una visualizzazione completa del periodo dovrebbero essere memorizzati  $1 \cdot 10^6$  elementi, cifra che va abbondantemente in conflitto con la lunghezza di registrazione pari a 500.

In realtà nel DSO il campionamento avviene ogni  $100 \cdot 10^{-6} / 50 = 2 \mu\text{sec}$  (ciò garantisce il rispetto del teorema di Shannon) per un totale di 500 punti acquisiti.

### Frequenza massima catturata e criterio di Shannon

Quando furono effettuati i primi tentativi di digitalizzazione dei segnali, uno studio rivelò che la frequenza di campionamento del segnale doveva avere un valore almeno doppio di quello della frequenza più alta contenuta nel segnale sotto esame.

Questo principio, noto come *teorema del campionamento di Shannon*, fu sviluppato con lo scopo di ottimizzare le applicazioni nel campo delle comunicazioni, ma ben si adatta anche alle specifiche richieste dagli oscilloscopi digitali.

Osservando figura 2a, si può notare che già con una frequenza di campionamento doppia rispetto a quella del segnale sotto esame sembrerebbe possibile ottenere sufficienti informazioni su quest'ultimo<sup>4</sup>: la sua ricostruzione porterebbe, infatti, ad una forma d'onda visualizzata sul display abbastanza simile al segnale originale (figura 2b).

In effetti, non è tutto così semplice come sembra a prima vista.

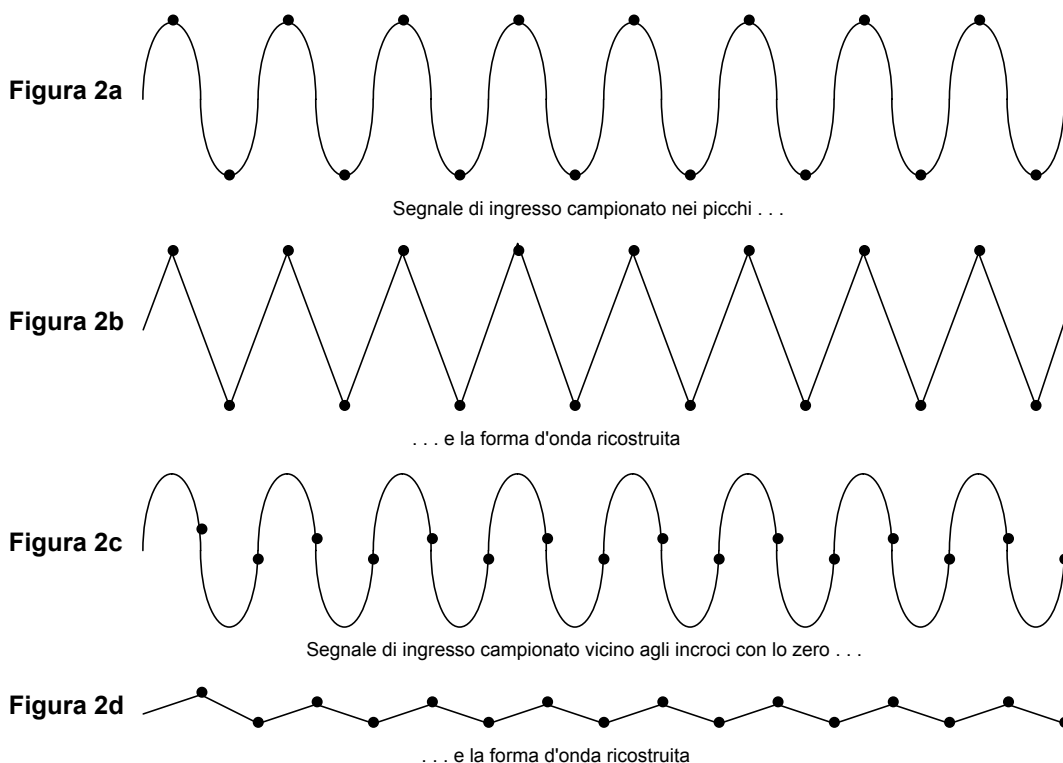
Si supponga, infatti, che i campioni siano prelevati alla medesima frequenza del caso precedente, ma in momenti leggermente diversi e non in corrispondenza dei picchi del segnale (figura 2c).

In queste condizioni, la ricostruzione della forma d'onda del segnale è totalmente errata, o addirittura completamente persa.

Infatti, nel caso in cui i campioni siano prelevati attorno al passaggio del segnale per lo zero, risulta impossibile ricostruire il segnale di partenza in quanto tutti i campioni rilevati offrono un valore prossimo a zero.

Come mostra la figura 3, tre campioni per ciclo non sono affatto sufficienti ad assicurare la fedeltà con la quale viene riprodotto il segnale.

Questi problemi scompaiono ottimizzando la regola imposta dal teorema di campionamento: s'impone che per ottenere una descrizione dettagliata del segnale siano necessari almeno dieci campioni per ciclo.



<sup>4</sup> La frequenza, ad esempio.

Da ciò deriva, ad esempio, che per un oscilloscopio con una velocità di campionamento massima di 1 GS/s, la frequenza massima che il segnale deve avere per essere analizzato accuratamente è di 100 MHz.

A questo valore si perviene considerando che per campionare correttamente il segnale occorre prelevare 10 elementi in un suo periodo. Poiché il minimo valore dell'intervallo di campionamento è pari a

$$1 / \text{frequenza massima di campionamento} = 1 / 1 \text{ GS} = 1 / 1 \cdot 10^9 = 1 \text{ nsec}$$

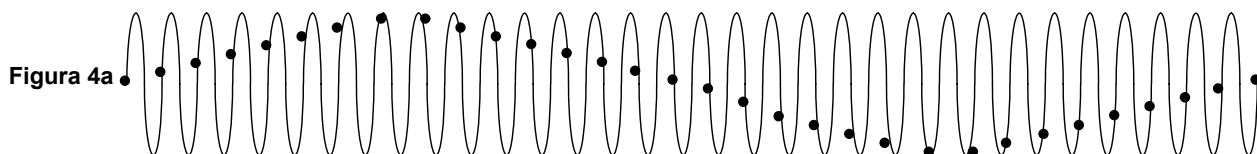
deriva che il minimo periodo che può assumere il segnale sotto analisi è pari a

$$10 \cdot \text{intervallo minimo di campionamento} = 10 \text{ nsec}$$

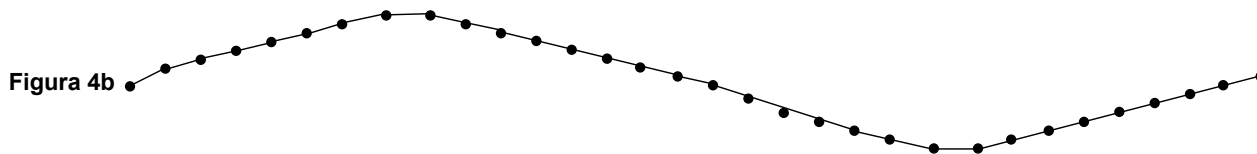
da cui si ottiene che la frequenza del segnale è pari a

$$\text{frequenza} = 1 / \text{periodo} = 1 / 10 \cdot 10^{-12} = 100 \text{ MHz}$$

Non sempre però nell'utilizzo di un DSO è garantita l'acquisizione di almeno 10 campioni ogni ciclo del segnale incognito poiché, come precedentemente descritto, la velocità di campionamento dipende dall'impostazione dei SEC/DIV: in figura 4 ne è evidenziato un tipico esempio.



Segnale di ingresso e punti di campionamento; frequenza di campionamento troppo bassa . . .



. . . e la ricostruzione del segnale di aliasing

In questo caso l'intervallo di campionamento è tale che si prelevano campioni successivi da cicli diversi della forma d'onda, ed ogni nuovo campione è acquisito con un intervallo di tempo leggermente più lungo rispetto al punto di passaggio del segnale per lo zero.

Se ora si va a ricostruire, mediante questi campioni, la forma d'onda risultante, si ottiene ancora una sinusoide che però possiede una frequenza totalmente diversa da quella del segnale d'ingresso !

Questo fenomeno è conosciuto come **aliasing** e offre una frequenza sbagliata, pur se in molti casi il segnale di **aliasing** riporta l'andamento della forma d'onda corretta e, spesso, persino con la giusta ampiezza.

La presenza di **aliasing** può essere stabilita almeno in due modi, che mirano a verificare se intervengono modifiche drastiche nella struttura della forma d'onda visualizzata quando:

- si ruota la manopola SEC/DIV, cambiando così l'intervallo di campionamento;
- si seleziona la modalità di rilevamento *di picco* (descritta a pagina 6).

Per prevenire questo fenomeno, il costruttore di solito indica nel manuale d'uso dello strumento una tabella che elenca le basi tempi da utilizzare per evitare l'**aliasing**, considerando la massima frequenza che il segnale può assumere con quel settaggio dei SEC/DIV; di seguito è riportato un esempio (fonte *Tektronix*, serie 2000).

Base tempi (SEC/DIV)	Campionamenti per secondo	Componente a frequenza massima* <sup>5</sup>
da 25 a 250,0 ns	2 GS/s	200,0 MHz*
500,0 ns	500,0 MS/s	200,0 MHz*
1,0 µs	250,0 MS/s	125,0 MHz*
2,5 µs	100,0 MS/s	50,0 MHz*

<sup>5</sup> \* = Larghezza di banda ridotta a 6 MHz con una sonda 1X.

5,0 $\mu$ s	50,0 MS/s	25,0 MHz*
10,0 $\mu$ s	25,0 MS/s	12,5 MHz*
25,0 $\mu$ s	10,0 MS/s	5,0 MHz
50,0 $\mu$ s	5,0 MS/s	2,5 MHz
100,0 $\mu$ s	2,5 MS/s	1,25 MHz
250,0 $\mu$ s	1,0 MS/s	500,0 kHz
500,0 $\mu$ s	500,0 kS/s	250,0 kHz
1,0 ms	250,0 kS/s	125,0 kHz
2,5 ms	100,0 kS/s	50,0 kHz
1,0 ms	50,0 kS/s	125,0 kHz
10,0 ms	25,0 kS/s	125,0 kHz
25,0 ms	10,0 kS/s	5,0 kHz
50,0 ms	5,0 kS/s	2,5 kHz
100,0 ms	2,5 kS/s	1,25 kHz
250,0 ms	1,0 kS/s	500,0 Hz
500,0 ms	500,0 S/s	250,0 Hz
1,0 s	250,0 S/s	125,0 Hz
2,5 s	100,0 S/s	50,0 Hz
5,0 s	50,0 S/s	25,0 Hz
10,0 s	25,0 S/s	12,5 Hz
25,0 s	10,0 S/s	5,0 Hz
50,0 s	5,0 S/s	2,5 Hz

## Metodi di campionamento e di ricostruzione

### Campionamento in tempo reale

La digitalizzazione del segnale come finora descritta è denominata *acquisizione in tempo reale* o *campionamento in tempo reale* (figura 5).

Tutti i campioni sono acquisiti in un ordine stabilito, lo stesso in cui essi appaiono sul display dell'oscilloscopio ed un solo impulso di trigger dà il via all'acquisizione totale.

In questa modalità e purché la frequenza del segnale in esame sia inferiore a  $\frac{1}{2} \cdot \text{frequenza massima di campionamento}$ , l'oscilloscopio acquisisce un numero di campioni molto maggiore di quelli strettamente necessari alla visualizzazione accurata della forma d'onda: questo è il solo metodo capace di catturare segnali di natura impulsiva.

Quando invece è necessario misurare segnali con frequenza prossima o superiore al limite posto dal teorema del campionamento, il numero di punti campionati per traccia può essere limitato ed insufficiente per una corretta visualizzazione. In questo caso si ricorre a una diversa soluzione.

### Campionamento in tempo equivalente

Il campionamento in tempo equivalente aumenta la capacità di visualizzazione di segnali ad alte frequenze, sfruttando la ricostruzione di una forma d'onda attraverso cicli diversi.

Questo metodo è applicabile quando i segnali da analizzare sono *ripetitivi*, per cui la stessa configurazione di segnale viene ripetuta ad intervalli regolari.

In presenza di tali segnali, l'oscilloscopio è in grado di ricostruire la forma d'onda partendo da gruppi di campioni acquisiti nei cicli successivi del segnale: un nuovo gruppo di campioni viene quindi ottenuto ad ogni nuovo impulso di trigger.

Si tratta di un modo operativo denominato *campionamento in tempo equivalente* (figura 6).

Dopo ogni impulso di trigger, l'oscilloscopio acquisisce e memorizza una piccola porzione del segnale, per esempio corrispondente a quattro campioni, ad una frequenza fissa e dipendente dal campionatore.

Ad un successivo impulso di trigger, ritardato rispetto al precedente di un tempo  $\Delta T$  inferiore rispetto all'intervallo di campionamento, è eseguito un ulteriore prelievo di altri quattro campioni che vanno ad occupare postazioni vuote della memoria presenti tra quelle riempite nel corso della precedente scansione.

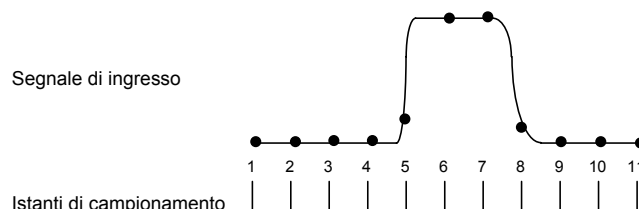


Figura 5

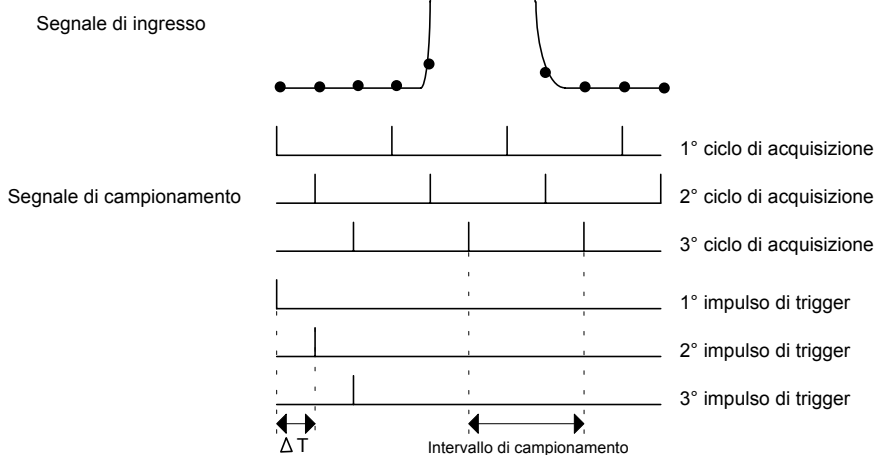


Figura 6

Questa sequenza procede finchè, dopo un certo numero d'impulsi di trigger, si completa l'area di memoria con tutte le informazioni sufficienti per ricostruire sul display la forma d'onda.

Il metodo del campionamento in tempo equivalente mette così lo strumento in condizione di operare come se possedesse una velocità di campionamento virtuale molto più alta rispetto alla velocità di campionamento reale del digitalizzatore. Per esempio, si consideri un DSO con un settaggio della base tempi di 5 ns/div, che configura 50 campioni per divisione. La velocità di campionamento equivalente può essere ricavata determinando l'intervallo di tempo di campionamento come dalla formula 1

$$\text{intervallo di campionamento} = 5 \text{ nsec} / 50 = 0.1 \text{ nsec}$$

da cui si ottiene (formula 2)

$$\text{velocità di campionamento equivalente} = 1 / 0.1 \text{ nsec} = 1 / 0.1 * 10^{-9} = 10000 \text{ MS/s} = 10 \text{ GS/s}$$

Tale cifra indica la velocità di campionamento che dovrebbe essere necessaria per ottenere un identico tempo di risoluzione, nel caso in cui fosse utilizzato il campionamento in tempo reale.

La velocità di campionamento in tempo equivalente è molto più elevata di quella in tempo reale oggi come oggi raggiungibile.

## Controlli di acquisizione negli oscilloscopi digitali

### Modalità di campionamento

In un oscilloscopio digitale è possibile impostare una serie di controlli per personalizzare la *modalità di acquisizione* del segnale; questa definisce il tipo di digitalizzazione, mentre l'impostazione della base tempi influenza l'intervallo e il livello dei dettagli nell'acquisizione.

Sono di solito disponibili diverse modalità di acquisizione.

#### Sample (Modo campionato)

L'oscilloscopio campiona il segnale ad intervalli regolari e pari all'intervallo di campionamento, fino a costruire una forma d'onda; nella maggior parte dei casi quest'impostazione permette di rappresentare i segnali con accuratezza.

Tuttavia, questa modalità è insensibile a rapide variazioni del segnale che possono intercorrere tra un campionamento e il successivo: questa situazione può creare l'effetto di *aliasing* (descritto in precedenza), con la conseguente perdita degli impulsi stretti.

In casi simili, è necessario utilizzare la modalità di rilevamento di *picco* per acquisire i dati.

#### Rilevamento di picco

L'oscilloscopio rileva i valori massimo e minimo del segnale di ingresso per ogni intervallo di campionamento ed utilizza tali valori per visualizzare la forma d'onda; in tal modo, l'oscilloscopio è in grado di acquisire e visualizzare gli impulsi stretti che potrebbero altrimenti non essere rilevati nella modalità *sample* (figura 7).

I picchi sono rilevati siccome in realtà, indipendentemente dal fattore SEC/DIV impostato, il convertitore lavora sempre alla massima velocità possibile e i valori letti, immagazzinati in un'apposita sezione di memoria, sono trattati dal microprocessore con un algoritmo di ricerca del valore massimo e minimo.

Per sua natura, questa modalità operativa risulta piuttosto sensibile a catturare il rumore casuale sovrapposto al segnale utile.

#### Alta risoluzione

È una modalità operativa analoga al modo a rilevamento di picco.

Sui campioni presenti all'interno dell'intervallo di campionamento, acquisiti alla massima velocità dal convertitore, viene calcolato il valore medio che si utilizza per costruire un punto di rappresentazione sul display.

Il risultato di quest'operazione produce una riduzione del rumore.

#### Modo media

Nel modo media, l'oscilloscopio memorizza un punto durante ogni intervallo di campionamento, come nel modo *sample*.

In questo caso, sui punti della forma d'onda che provengono da acquisizioni consecutive, viene calcolata la media aritmetica per produrre l'andamento finale da visualizzare.

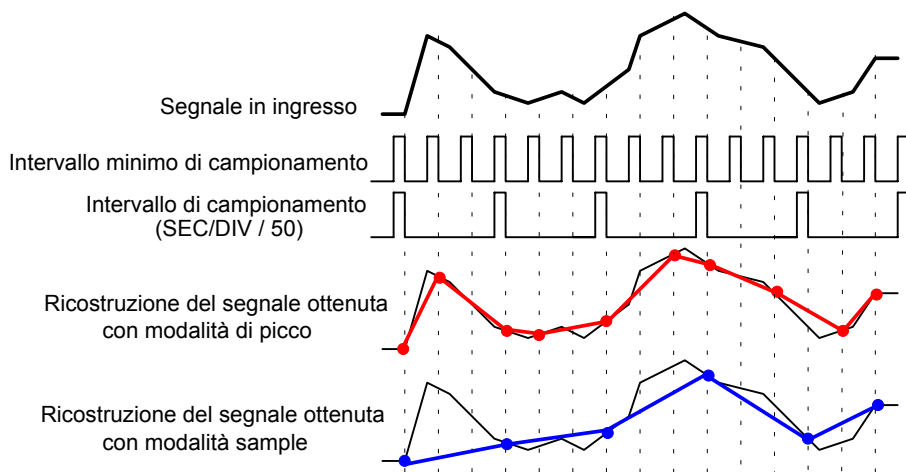


Figura 7



Questa modalità riduce il rumore presente sul segnale di ingresso, senza limitare la sua banda, ma richiede che il segnale sia periodico.

### Posizione di trigger

Negli oscilloscopi analogici ogni scansione della base tempi è attivata da un impulso di trigger; di conseguenza, il comportamento del segnale può essere studiato solamente dall'istante in cui avviene l'impulso di trigger in poi.

In alcune applicazioni, però, la parte della forma d'onda che interessa non si trova immediatamente dopo il livello che provoca un trigger valido, bensì prima.

Situazioni come queste richiedono che l'oscilloscopio sia dotato di una capacità di osservazione **pre-trigger**, vale a dire che nel momento in cui avviene la visualizzazione provocata dall'evento principale, vi sia anche la possibilità di vedere cosa avviene immediatamente prima in modo da poter osservare nei dettagli il fenomeno.

Ad esempio, se s'intende trovare la causa di un'anomalia del circuito di prova, si può regolare il trigger sull'anomalia e prolungare il periodo di **pre-trigger** fino alla cattura dei dati precedenti l'irregolarità; quindi è possibile analizzare i dati di **pre-trigger** e presumibilmente trovare la causa del malfunzionamento.

Gli oscilloscopi digitali possono permettere la **visualizzazione pretrigger** poiché processano costantemente il segnale, indipendentemente dal fatto se sia stato ricevuto un segnale di trigger oppure no.

### Avvio e arresto dell'acquisizione

Uno dei maggiori vantaggi degli oscilloscopi digitali è la loro capacità di memorizzare forme d'onda per una visualizzazione successiva<sup>6</sup>.

Ci sono in genere uno o più pulsanti sul pannello frontale che consentono di arrestare ed avviare l'acquisizione, in modo da analizzare le forme d'onda a piacimento.

Può inoltre essere necessario che l'oscilloscopio arresti automaticamente l'acquisizione, dopo che è stata completata la collezione di un set di campioni relativi ad una forma d'onda: questa caratteristica è in genere detta **single sweep** ed i suoi controlli sono in genere associati agli altri controlli dell'acquisizione oppure a quelli di trigger.

### Metodi di campionamento

Negli oscilloscopi digitali che possono utilizzare sia il metodo di campionamento in tempo reale, sia quello in tempo equivalente, già descritti, sono presenti dei controlli che permettono di selezionare il metodo da utilizzare.

Questa scelta non fa differenza per le impostazioni che prevedono alti valori della base dei tempi (segnali lenti), ma ha effetto solo per segnali molto veloci, che non possono essere campionati così velocemente da memorizzare i dati richiesti in una sola scansione.

## Parametri caratteristici di un oscilloscopio digitale

Oltre ai parametri già analizzati nella trattazione inerente all'oscilloscopio analogico (validi anche per un DSO), in questo paragrafo vengono definiti alcuni parametri tipici di un DSO.

### Frequenza di campionamento (**Sample Rate**).

Indica il numero massimo di campioni per secondo che possono essere acquisiti, ed è in genere espressa in MegaSample per secondo (MS/s) o in GigaSample per secondo (GS/s).

Quanto maggiore è la frequenza di campionamento, tanto migliore è la precisione con cui possono essere visualizzati i più piccoli dettagli dei segnali più veloci.

Anche il valore minimo della frequenza di campionamento può essere importante, nel caso in cui si debbano visualizzare segnali particolarmente lenti per lunghi periodi.

La frequenza di campionamento varia con i cambiamenti apportati al controllo orizzontale SEC/DIV, in modo da mantenere costante il numero di campioni contenuti nei dati memorizzati relativi ad una scansione.

### Risoluzione dell'ADC (**ADC Resolution** o **Vertical Resolution**).

Indica la precisione con cui il convertitore analogico - digitale (ADC) può convertire la tensione d'ingresso in un valore digitale, ed è espressa come numero di bit del convertitore.

Maggiore è il numero di bit, maggiore è la precisione ottenuta; particolari tecniche di elaborazione dei dati possono migliorare ulteriormente la risoluzione effettiva.

### Lunghezza di registrazione (**Record Length**).

Indica il numero di punti della forma d'onda memorizzabili.

Il valore massimo della lunghezza di registrazione è influenzato dalla capacità della memoria presente nell'oscilloscopio; proprio da questa caratteristica deriva che il parametro è solitamente espresso in Byte o Kbyte.

<sup>6</sup>Indicativamente un DSO può immagazzinare un numero di tracce che va da 2 a 200.