

Breve introduzione all' oscilloscopio digitale

*Laboratorio per l' Ottica II
Corso di Laurea in Ottica e Optometria
Università di Firenze
Vinci a.a. 2011-2012*

Indice

Principi generali	3
0.1. Misura di tensioni variabili nel tempo	3
0.2. L'oscilloscopio digitale	5
0.3. La banda passante	5
0.4. Frequenza di campionamento	6
0.5. Memory length	6
0.6. Il trigger	7
Bibliografia	8

Principi generali

L'oscilloscopio è uno strumento che consente di misurare una differenza di potenziale (ddp) variabile nel tempo. A differenza del multimetro digitale, che consente di misurare ddp costanti o al più variabili in modo sinusoidale e con ampiezza costante, l'oscilloscopio consente di effettuare misure su qualsiasi tipo di segnale dipendente dal tempo, sia esso ripetitivo in modo periodico o non ripetitivo. Esistono due grandi famiglie di oscilloscopi: quelli analogici e quelli digitali. Gli oscilloscopi analogici, universalmente diffusi a tutti i livelli (da quello amatoriale a quello scientifico) fino a pochi anni fa, sono stati oggi soppiantati da quelli digitali in virtù delle loro maggiori funzionalità. Nel nostro laboratorio si farà uso esclusivamente di oscilloscopi digitali. Vale la pena sottolineare che queste brevi note sono finalizzate a fornire alcune conoscenze fondamentali per poter utilizzare un oscilloscopio in laboratorio avendo una minima cognizione delle sue potenzialità. Una trattazione più completa e precisa esula dagli scopi di questo corso. Per chi volesse approfondire gli argomenti trattati, nella bibliografia sono segnalati alcuni tutorial disponibili online [1, 2, 3, 4].

0.1. Misura di tensioni variabili nel tempo

Il voltmetro di un multimetro digitale misura una differenza di potenziale statica, ovvero costante nel tempo, e dà come risposta un numero, corrispondente al valore della ddp presente in ingresso (o al più il valore della ddp efficace nel caso di un segnale di tensione alternato). L'oscilloscopio invece dà come risposta un grafico a due dimensioni della ddp in ingresso (asse y) in funzione del tempo (asse x). Un esempio di ddp con dipendenza sinusoidale dal tempo e a valor medio nullo è data dalla seguente espressione:

$$V(t) = V_0 \cos(2\pi ft + \phi)$$

dove t rappresenta il tempo mentre V_0 , f e ϕ sono costanti che rappresentano rispettivamente l'ampiezza (cioè il valore massimo o di picco), la frequenza e la fase del segnale di ddp in ingresso. Un'aspetto che è importante sottolineare è che generalmente gli oscilloscopi forniscono una misura di tensione che è sempre riferita al potenziale di terra. Quello che avviene è che l'elettrodo esterno delle connessioni BNC viene connesso alla terra direttamente attraverso il cavo di alimentazione. Si possono trovare anche oscilloscopi che possono misurare la tensione rispetto ad un potenziale di riferimento *floating* (ovvero svincolato da terra) ma questi costituiscono l'eccezione e non la regola. La figura 0.1.1 mostra un esempio di come appare una forma d'onda sinusoidale sullo schermo di un oscilloscopio digitale del modello in dotazione al laboratorio.

L'oscilloscopio si presenta con un pannello di controlli abbastanza più complicato di un semplice multimetro digitale, in conseguenza del numero più elevato di funzionalità offerte. I controlli essenziali sono le manopole per regolare le scale degli assi verticale ed orizzontale. Agendo sui controlli verticali si può variare la sensibilità della misura e si possono visualizzare sul monitor segnali con ampiezza variabile da pochi mV ad alcuni Volt. Agendo invece sui controlli dell'asse orizzontale si può scegliere di visualizzare il segnale su intervalli di tempo variabili o da pochi nanosecondi ad alcune decine di secondi. Si possono quindi visualizzare, ad esempio, segnali sinusoidali con frequenza variabile da un GHz fino a frazioni di Hertz. Generalmente sia l'asse

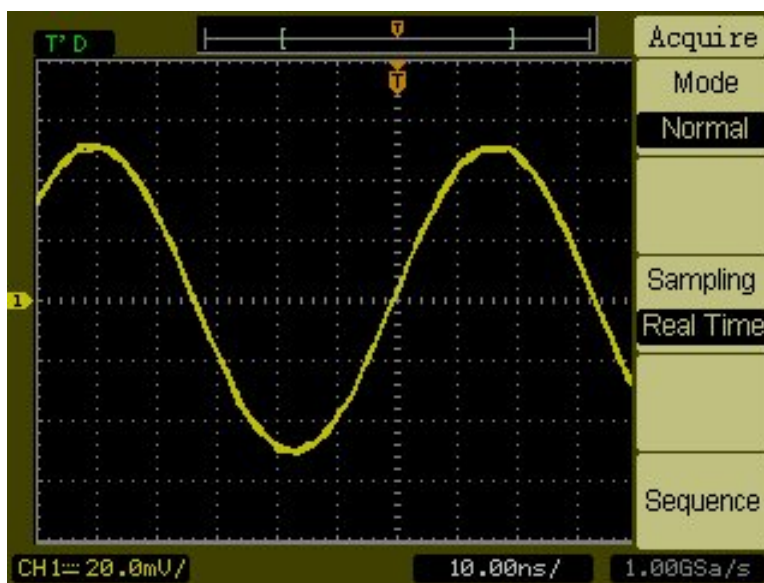


FIGURA 0.1.1. Forma d'onda sinusoidale così come appare sullo schermo dell'oscilloscopio Agilent DSO3062A, in uso nel laboratorio.

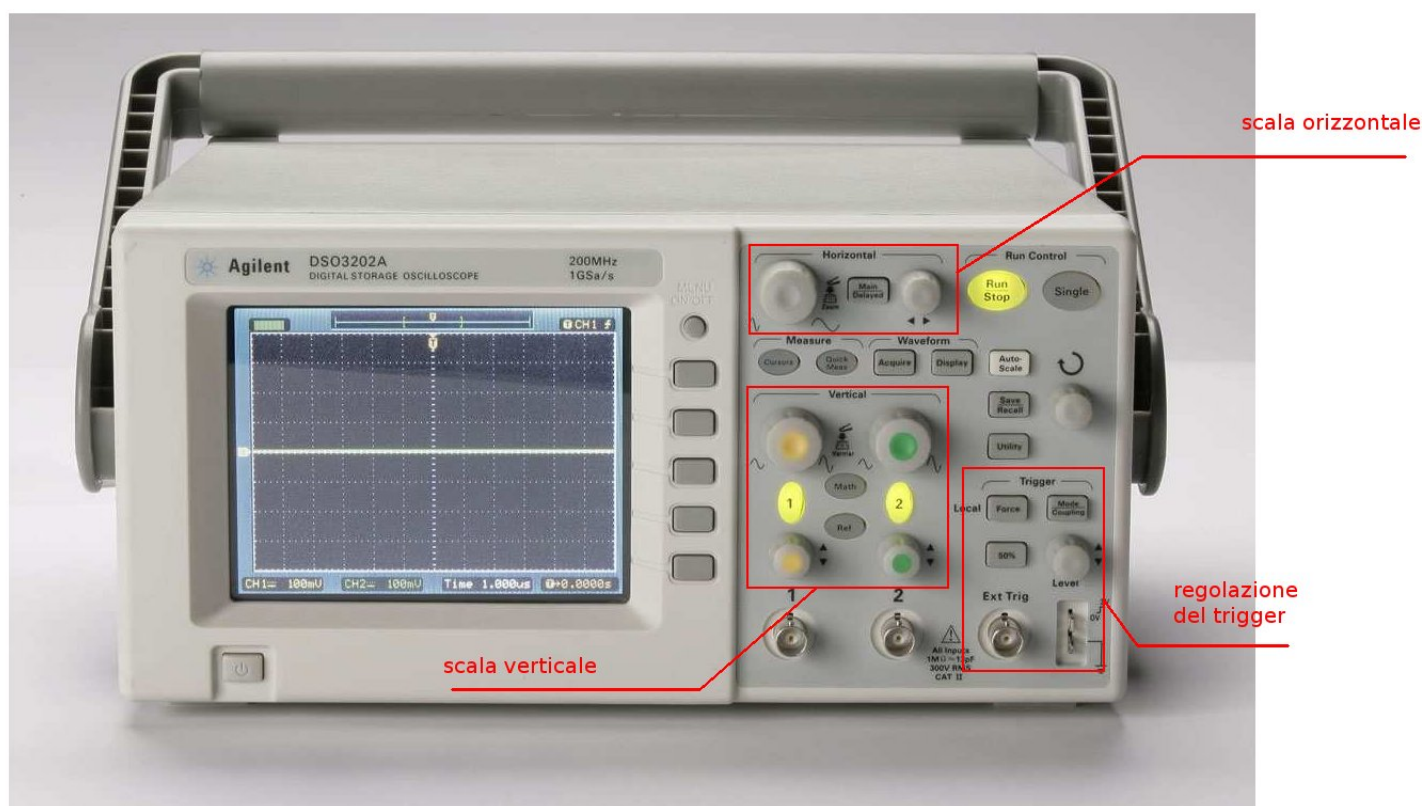


FIGURA 0.1.2. Aspetto del pannello frontale dell'oscilloscopio Agilent DSO3062A, in uso nel laboratorio. Il riquadro sulla sinistra corrisponde al monitor, mentre l'area sulla destra è dedicata ai pulsanti e manopole dei controlli.

verticale che quello orizzontale sono suddivisi in intervalli o *divisioni* (nel nostro caso 10 divisioni per l'asse orizzontale e 8 per quello verticale). La scala selezionata per l'asse orizzontale è indicata in secondi per divisione, quella dell'asse verticale in Volt per divisione. In figura 0.1.2 è mostrato il pannello frontale del modello di oscilloscopio che è in uso nel laboratorio.

0.2. L'oscilloscopio digitale

Lo schema a blocchi di un oscilloscopio digitale (Digital Storage Oscilloscope, DSO) è riportato in figura 0.2.1. Il segnale in ingresso viene campionato, ovvero ne viene acquisito il valore in vari istanti di tempo. I valori acquisiti vengono convertiti in formato digitale da un convertitore analogico-digitale (ADC, Analog-to-Digital Converter) e memorizzati nella memoria del microprocessore interno. La forma del segnale viene quindi ricostruita sullo schermo per consentire all'operatore di effettuare le misurazioni. Sono possibili anche operazioni di elaborazione dei dati acquisiti prima della visualizzazione; si possono ad esempio eseguire medie, ricerche di valori di picco, integrazione di segnali ed altre operazioni atte ad estrarre informazioni di interesse. In genere la digitalizzazione del segnale in ingresso avviene ad 8 bit. Il che vuol dire che si hanno $2^8 = 256$ possibili valori del segnale in ingresso che possono essere discriminati (si dice in questo caso che il range dinamico è 256). Questo vuol dire che la sensibilità dello strumento è $1/256$ del valore di tensione corrispondente all'intera estensione verticale dello schermo. I parametri essenziali che determinano il livello delle prestazioni di un oscilloscopio digitale sono la banda passante (*bandwidth*), la frequenza di campionamento (*sampling rate*) e la memoria (*memory length*).

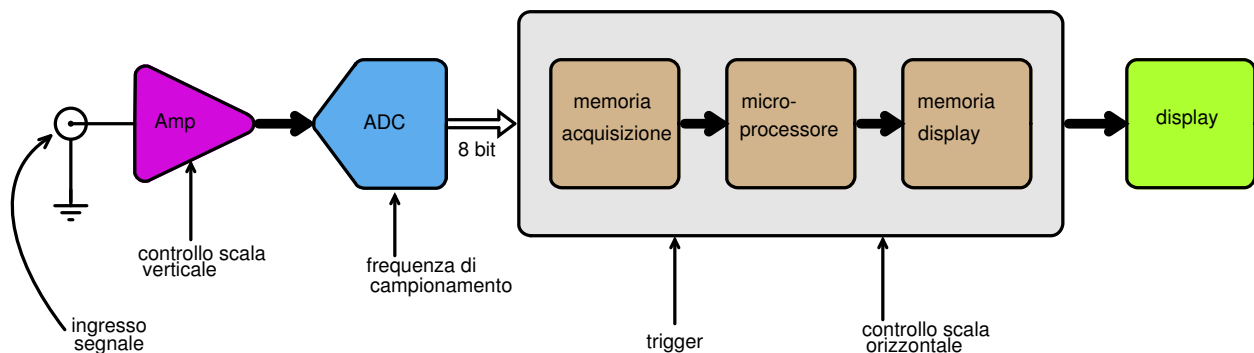


FIGURA 0.2.1. Schema a blocchi dell'oscilloscopio digitale

0.3. La banda passante

La "banda passante analogica" di un oscilloscopio definisce la massima componente di frequenze che l'oscilloscopio riesce a visualizzare correttamente [2]. Tale valore è determinato dalla banda passante dell'amplificatore all'ingresso dell'oscilloscopio. È importante notare che convenzionalmente la banda passante di un oscilloscopio è definita come la frequenza alla quale un segnale sinusoidale in ingresso viene attenuato di un fattore $1/\sqrt{2}$, ovvero a circa il 71% della sua vera ampiezza (corrispondente al punto a "-3"). Nel caso si desideri una precisione di misura superiore al 30% è quindi necessario dotarsi di uno strumento la cui banda passante sia almeno 4 o 5 volte maggiore della massima componente di frequenza che si intende misurare. Un'altro aspetto da tenere in considerazione è che per riprodurre fedelmente un evento singolo (quindi non periodico) con un tempo di salita (rise time) molto rapido occorre un oscilloscopio con una ampiezza di banda molto elevata. Ciò è conseguenza del fatto che un evento rapido contiene componenti di Fourier ad alta frequenza. Si può considerare come regola approssimata che la ampiezza di banda necessaria per riprodurre fedelmente un segnale con un tempo di salita Δt e dell'ordine di $1/\Delta t$. Ovviamente

il prezzo degli oscilloscopi sale in maniera molto rapida all' aumentare della banda passante, per cui spesso si deve cercare un ragionevole compromesso.

0.4. Frequenza di campionamento

La frequenza di campionamento (o *sampling rate*) è il numero di valori che l'oscilloscopio è in grado di acquisire per unità di tempo. Essa viene normalmente espressa in milioni o miliardi di campioni al secondo (MSa/s o GSa/s). In generale per stabilire qual è la frequenza di campionamento necessaria per acquisire un determinato segnale ci si può riferire al *teorema di Shannon o del campionamento*: un segnale di durata t e composto da frequenze completamente contenute nell' intervallo di banda B può essere perfettamente ricostruito senza perdita di informazione se viene campionato ad una frequenza f_c tale che:

$$f_c \geq 2 \cdot B \cdot t$$

Ad esempio, la frequenza di campionamento standard per i CD musicali è 44100 Hz. Ciò significa che il segnale audio registrato può contenere frequenze da 0 a 22 kHz (più un piccolo margine di sicurezza).

Nel caso dell' oscilloscopio si deve tenere conto che la banda passante è definita come la frequenza alla quale il segnale è ridotto di un fattore $1/\sqrt{2}$. Ciò significa che si hanno componenti del segnale non trascurabili anche a frequenze superiori alla massima banda passante. In pratica si può dire che per riprodurre una certa forma d'onda è necessaria una frequenza di campionamento tale da acquisire almeno 4 o 5 punti per ogni periodo di oscillazione del segnale [4]. Avremo cioè una banda passante effettiva data da:

$$BW_{eff} = \frac{\text{Sampling rate}}{k}$$

dove k è una costante che può assumere valori da 2 a 5, a seconda del tipo di segnale da misurare (ad esempio se si tratta o no di un segnale periodico) e della precisione richiesta.

0.5. Memory length

L'ultimo parametro importante da tenere presente è il massimo numero di punti che il microprocessore dell' oscilloscopio è in grado di tenere in memoria. Tale numero è indicato in inglese come *memory length* (oppure anche *memory depth* o *record length*). Tale valore deve essere tenuto in considerazione in quanto in un oscilloscopio un elevato *sampling rate* deve essere accompagnato da una memoria sufficiente per poter immagazzinare tutti i punti acquisiti. In particolare, si ha una relazione di proporzionalità tra *sampling rate* e *memory length*:

$$\text{Sample rate} = \frac{\text{Memory length}}{T}$$

dove T è l'intervallo di tempo corrispondente all' intero asse dei tempi. Ad esempio, se si acquisisce un segnale con una scala orizzontale di 100 $\mu\text{s}/\text{div}$ (quindi con un asse dei tempi di 1 ms) usando uno strumento con una memoria di 1 K (1000 punti) avremo un limite superiore per il *sampling rate* pari a $1000/1\text{ms} = 1\text{M Sa/s}$, e quindi una *bandwidth* effettiva di 200 kHz (considerando l'espressione 3.1 con $k = 5$) e questo varrà anche nel caso in cui l'oscilloscopio che stiamo usando consenta nominalmente ampiezza di banda e frequenza di campionamento molto maggiori. Con gli stessi settaggi sull' asse dei tempi e una memoria di 10 K oppure 100 K avremo invece, rispettivamente, un *sample rate* di 10 MSa/s oppure 100 MSa/s (ovvero una ampiezza di banda di 2 MHz oppure 20 MHz).

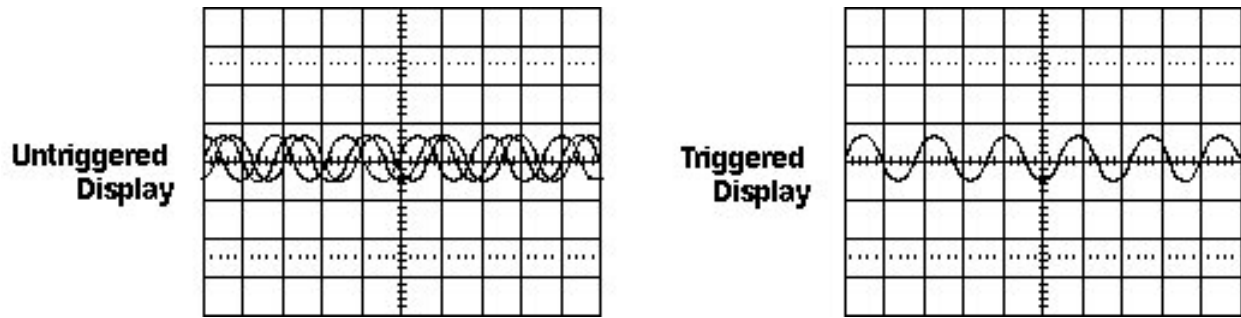


FIGURA 0.6.1. Acquisizione di una forma d'onda con trigger non sincronizzato (*Untriggered*, sulla sinistra) e sincronizzato (*Triggered*, sulla destra).

0.6. Il trigger

Il circuito di trigger di un oscilloscopio ha lo scopo di fare partire la memorizzazione (e quindi la visualizzazione) del segnale in ingresso all'istante voluto, permettendone una chiara visualizzazione (in inglese *trigger* è il grilletto della pistola). L'opportuna regolazione del circuito di trigger permette di visualizzare in modo stabile un segnale ripetitivo, o di catturare la parte voluta di un segnale non ripetitivo. Negli oscilloscopi moderni esistono vari tipi di trigger, ma quello fondamentale è il trigger a *livello di soglia* (*edge trigger*). In questa modalità la traccia sullo schermo inizia quando il segnale in ingresso supera un determinato valore, selezionabile mediante l'opportuna manopola. Si può anche selezionare la direzione, o pendenza (*slope*), con la quale il segnale supera il valore di soglia di trigger: pendenza positiva (*positive slope*) se la soglia viene superata mentre il segnale sta crescendo, pendenza negativa (*negative slope*) se la soglia viene superata mentre il segnale sta decrescendo. In figura 0.6.1 è illustrata l'importanza del circuito di trigger per la visualizzazione di un segnale ripetitivo. La regolazione del circuito di trigger offre solitamente varie opzioni. Una che si ritrova in tutti gli oscilloscopi è la scelta della *sorgente* del trigger (*source*), vale a dire la scelta del segnale su cui si vuole sincronizzare la traccia. Ad esempio si può scegliere di visualizzare un segnale presente sull'ingresso numero uno (canale uno, indicato con CH1), e sincronizzare la partenza della traccia sul segnale presente sul canale 2 (in questo caso la *sorgente* del trigger è CH2), oppure si può sincronizzare il trigger utilizzando un segnale riportato su un ulteriore ingresso denominato EXT (*external trigger*). In questo caso il segnale riportato all'ingresso EXT è utilizzato come *sorgente* del trigger ma non viene visualizzato sullo schermo. Oltre al modo di trigger a soglia, presente in tutti gli oscilloscopi, gli oscilloscopi digitali più evoluti hanno una serie di modi di trigger specializzati che non erano presenti negli apparecchi analogici, e che li rendono strumenti estremamente flessibili e adatti alla rivelazione di segnali di qualsiasi tipo. Questi modi di trigger possono rispondere a determinate caratteristiche del segnale di ingresso, rendendo ad esempio possibile, in un segnale costituito da una serie di impulsi, rivelare la presenza di un impulso di durata inferiore a quella aspettata. Questa condizione sarebbe impossibile da rivelare con il semplice trigger a livello di soglia.

Bibliografia

- [1] Agilent Technologies, “Ten Things to Consider When Selecting Your Next Oscilloscope”, On-line Application Note 1490 (<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-0552EN.pdf>)
- [2] Tektronix, “Understanding oscilloscope bandwidth, rise time and signal fidelity”, On-line Technical Brief (<http://www.tektronix.com>)
- [3] Pico Technology Ltd, “What to Look for When Choosing an Oscilloscope”, On-line tutorial (http://www.picotech.com/applications/oscilloscope_tutorial.html)
- [4] Yokogawa Electric Corporation, “How does the sample rate of a Digital oscilloscope affect the bandwidth?”, On-line Tutorial (http://www.yokogawa.com/tm/pdf/tutorial/tm-tutorial_01.pdf)