

Oscilloscopio: primo impatto

francesco.fuso@unipi.it; <http://www.df.unipi.it/~fuso/dida>

(Dated: version 3 - FF, 8 novembre 2015)

Questa breve nota vorrebbe aiutarvi ad avere un primo impatto sereno, e non traumatico, con l'oscilloscopio, uno strumento tanto diffuso e potente quanto ricco di funzioni e, almeno inizialmente, un po' complicato da usare.

I. ASPETTI GENERALI

L'oscilloscopio (o oscillografo) è senz'altro uno strumento che, ancora più di altri, va usato più con la testa che con le mani. La ricchezza di funzioni che ogni oscilloscopio possiede rende difficile capire tutto di primo acchito, ed è sicuramente necessario un periodo di training per evitare di cadere in trabocchetti e impiegare in modo corretto lo strumento in funzione delle necessità della misura. La lettura del manuale è utile, ma spesso non basta per avere un'idea chiara di cosa lo strumento sta facendo o di come debba essere impostato per l'analisi richiesta. In questa nota si fa riferimento al modello di oscilloscopio di uso più frequente in laboratorio (Isotech ISR-6051, o equivalente): si tratta di uno strumento analogico (oggi è molto frequente trovare oscilloscopi digitali, che hanno un principio di funzionamento diverso, ma un modo di operazione simile) a due canali (due ingressi, CH1, CH2) con banda passante di 50 MHz. Potrete trovare altri modelli: tutti si comportano in maniera simile e hanno comandi analoghi; addirittura il layout dei comandi, cioè la disposizione di manopole e pulsanti sul pannello, raggruppati per funzioni, è spesso molto simile.

Alcune norme generali da seguire, più o meno banali, sono elencate qui di seguito.

- Gli ingressi dell'oscilloscopio, cioè i canali, sono fatti per ricevere, o misurare, delle *differenze di potenziale* (quindi non intensità di corrente, o altro). Tipicamente la resistenza di ingresso di questi canali è 1 Mohm, eventualmente abbassabile ponendo una resistenza esterna in parallelo (tipicamente da 50 ohm, lo vedrete al prossimo anno!).
- Gli ingressi sono *riferiti a massa*, cioè la differenza di potenziale è sempre misurata rispetto a massa. La massa è la scatola metallica dell'oscilloscopio, a sua volta collegata alla terra dell'impianto elettrico tramite il cordone di alimentazione.
- In conseguenza del punto precedente, per eseguire misure con l'oscilloscopio occorre assicurarsi che il punto del circuito sotto analisi che si vuole usare come riferimento per il potenziale sia collegato alla massa dell'oscilloscopio, o alla terra dell'impianto elettrico. State attenti: ci sono due banane di ingresso all'oscilloscopio, ma lo strumento *non* misura la d.d.p. tra queste due banane (che si riferiscono ai due canali di cui lo strumento è dotato)!
- Piccola nota: il problema di cui sopra è accentuato nel nostro laboratorio, che è il paese delle banane. In realtà i connettori di ingresso degli oscilloscopi sono "a due poli" (segnale e massa), essendo connettori coassiali di tipo BNC normalmente collegati a cavi coassiali che portano sia segnale che massa (ne ripareremo in seguito).
- Anche senza alcun collegamento a un circuito, scoprirete che l'oscilloscopio "vede" sempre, o quasi, qualcosa. Infatti la banda passante dello strumento gli permette di essere sensibile ai campi a radiofrequenza che sono normalmente nell'ambiente (i cavi di ingresso, le banane, l'eventuale vostra manina e dunque il vostro corpo sono delle belle antenne che captano questa radiofrequenza). Questi segnali fanno parte di quello che generalmente si chiama *rumore* e si ritrovano, almeno in parte, anche quando si fanno delle misure, specie se ad "alta frequenza". Altri rumori importanti e difficilmente eliminabili sono quelli a 50 Hz, o armoniche, legati all'oscillazione periodica della corrente alternata che fluisce nell'impianto elettrico. Questa corrente crea dei campi magnetici oscillanti, che si "accoppiano" facilmente ai fili in ingresso allo strumento di misura (questo tipo di rumore si chiama spesso *rumore di pick-up*).
- In conseguenza del punto precedente, per garantirsi che all'ingresso dell'oscilloscopio non sia presente alcun segnale occorre collegare l'ingresso stesso a massa. Questo può essere fatto premendo il tasto GND del canale, o dei canali, di interesse, che esegue questa connessione internamente allo strumento.
- L'operazione di cui sopra è rilevante per il seguente motivo. Come descriveremo in seguito, l'oscilloscopio permette di fare una rappresentazione di un segnale (tipicamente dipendente dal tempo) attraverso un grafico, che è quello che si vede sullo schermo. Come ogni grafico, occorre determinare l'origine, cioè lo zero. Per quanto riguarda l'asse verticale, la determinazione dello zero deve essere fatta *separatamente* dalle misure, in genere *prima* di queste, ponendo l'ingresso a massa (vedi sopra) e muovendo la manopola POSITION del canale, o dei canali, in uso finché la traccia non coincide con una posizione da voi prescelta della graticola che appare sullo schermo. La linea orizzontale corrispondente a questa posizione sarà lo zero della vostra misura.

- Analogamente, il fattore di scala del grafico deve essere aggiustato secondo necessità. A questo scopo, almeno per quanto riguarda l'asse verticale, l'operazione si compie agendo sulle manopole (a scatti) VOLT/DIV, dove div sta per *divisione*, che sarebbe il lato di un quadretto della graticola riportata sullo schermo.
- Occhio: le regolazioni prescelte sono specificate mediante apposite scritte che compaiono sullo schermo (in alto o in basso). Identificatele per bene: dovete arrivare al punto di saper interpretare *tutto* quello che sta scritto sullo schermo! In modo simile, dovete capire tutto quello che sta scritto sul pannello, senza dubbi e incertezze. Inoltre state attenti alle spie del pannello stesso, che non stanno lì a far nulla, ma servono per segnalare qualcosa. In particolare le lucine rosse che talvolta si accendono vogliono dire che dovete fare attenzione alla scelta dei parametri di funzionamento che state utilizzando.
- L'oscilloscopio, come descriveremo meglio in seguito, serve soprattutto per *visualizzare* dei segnali (d.d.p.) dipendenti dal tempo, cioè verificare la loro forma (detta anche, in alcuni contesti, *forma d'onda*). Tuttavia esso viene spesso impiegato per fare misure (di d.d.p. o di intervalli temporali, per esempio). La precisione delle misure è generalmente piuttosto bassa: nello strumento in uso in laboratorio, l'incertezza di calibrazione è generalmente del 3% e ad essa va sommata (in genere in quadratura) l'incertezza di lettura dovuta allo spessore della traccia non trascurabile, un po' come quando si fanno misure da un grafico disegnato con una matita non particolarmente fine. Dunque è normale che le misure fatte con un oscilloscopio abbiano barre di errore non trascurabili.
- L'oscilloscopio è uno di quegli strumenti che non amano essere spenti spesso. Esso infatti deve "termalizzare" affinché le tolleranze di calibrazione siano rispettate. Ricordatevene, ma ricordate anche di evitare che lo strumento resti acceso con un bel punto luminoso fisso sullo schermo, come si può ottenere operando in modalità X-Y, o Y-X (vedremo poi di cosa si tratta) senza collegare niente agli ingressi. Nel caso, riducete la luminosità dello schermo agendo sull'apposita manopola INTENS.
- Cosa ovvia, ma va detta: è severissimamente vietato giocherellare con calamite e magneti dalle parti dello schermo dell'oscilloscopio, che potrebbe essere danneggiato in modo irreparabile!

II. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio di funzionamento dell'oscilloscopio può essere compreso facendo riferimento a una descrizione che

probabilmente avete conosciuto alle scuole superiori, o che potete trovare facilmente in rete con tanto di belle figurine. Questa descrizione semplice semplice si attaglia perfettamente alla descrizione degli oscilloscopi analogici, come quello che usate quest'anno.

Elemento chiave è il tubo a raggi catodici. Questo non è altro che un tubo di vetro, in cui è stato fatto il vuoto e di cui una faccia è lo schermo, al cui interno si trova una sorgente di elettroni costituita da un filamento riscaldato per effetto Joule e fatto di un materiale (tungsteno) in grado di liberare elettroni per effetto termionico. Questi elettroni vengono accelerati da una d.d.p. dell'ordine della decina di kV in modo da arrivare con grande energia cinetica sullo schermo sotto forma di un fascio molto collimato (di sezione *ideamente* "puntiforme"), detto *pennello elettronico*. Lo schermo è ricoperto di un materiale a base di fosforo che si illumina dove è colpito dal pennello elettronico. Inoltre il meccanismo di produzione della luce (fosforescenza) fa sì che l'illuminazione resti attiva per un certo tempo (*persistenza*), per cui se il pennello si sposta sullo schermo l'occhio può, in certe condizioni, vedere una *traccia*, cioè una linea continua, pur in presenza di spostamenti molto rapidi.

All'interno del tubo a raggi catodici sono collocate due coppie di placchette metalliche, collegate all'esterno del tubo. Queste coppie di placchette formano dei campi elettrici (in prima approssimazione come condensatori ad armature piane e parallele) il cui scopo è quello di *deflettere* il pennello elettronico. Infatti esse sono disposte in modo che il pennello ci passi attraverso; la geometria, poi, è scelta in modo da provocare deflessioni in due direzioni ortogonali, che chiameremo orizzontale e verticale, oppure X e Y. Queste sono proprio le direzioni della rappresentazione grafica che si vede sullo schermo dell'oscilloscopio. In buona sostanza, il pennello elettronico si comporta come un pennino che scrive su un supporto (lo schermo al fosforo) che automaticamente si cancella dopo un periodo piuttosto breve. La scrittura della traccia è quindi continuamente rinnovata sullo schermo.

La Fig. 1, tratta da <http://www.hit.bme.hu/papay/edu/Ana/Scope.htm>, riporta uno schema di massima del tubo catodico e dà indicazioni sul suo funzionamento quando l'oscilloscopio è fatto funzionare in modalità Y-t (poi vedremo di cosa si tratta).

Grazie a diversi accorgimenti costruttivi e progettuali, si fa in modo che la deflessione sia proporzionale all'intensità del campo elettrico generato dalle coppie di placchette, cioè alla *differenza di potenziale* che vi è applicata. Dunque la posizione di impatto del pennello elettronico sullo schermo, cioè la posizione del punto illuminato, dipende in maniera pressoché proporzionale dalla coppia di differenze di potenziale applicata sulle placchette di deflessione lungo X e lungo Y.

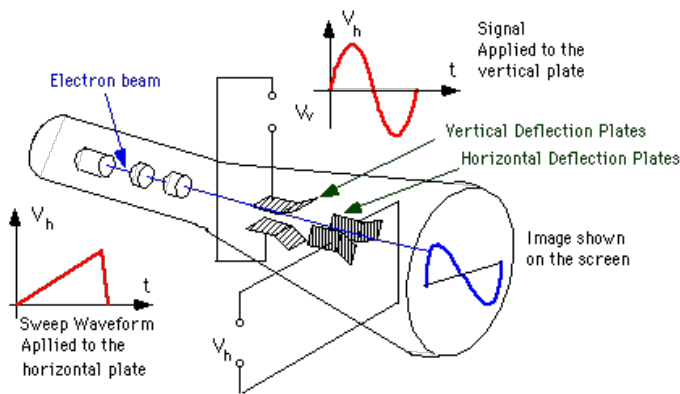


Figura 1. Schema di massima del tubo catodico.

A. Modo di operazione X-Y

In prima battuta, l'oscilloscopio è quindi un aggregato che permette di visualizzare su uno schermo un punto le cui coordinate sono proporzionali a due tensioni (entrambe riferite a massa, ricordate!). Questa è effettivamente una modalità di operazione dell'oscilloscopio, cosiddetta X-Y (o anche Y-X), in cui canale 1 e canale 2 dell'oscilloscopio accettano la coppia di tensioni che rappresentano, a meno di fattore di scala e origine, le coordinate del punto che si ottiene sullo schermo. Ad essa si accede premendo il tasto X-Y, la cui azione è segnalata da un'indicazione in basso a destra dello schermo (per modelli diversi tasto e indicazione, qui e altrove, sono diversi, ma non troppo). Dato che si tratta di una rappresentazione grafica, è chiaro che origine e fattore di scala del grafico possono essere variati agendo sui comandi dello *stadio di ingresso* secondo quanto specificato nella sezione successiva.

L'utilità di avere uno strumento che grafica una coppia di tensioni vi sarà chiara con l'uso (vedrete presto qualche sorta di "figura di Lissajous"). Qui anticipiamo qualcosina, partendo dalla constatazione che analizzare in questo modo due d.d.p. costanti (due *segnali continui*) non è molto eccitante, dato che si ottiene un punto. Però, come sapete, il mondo è fatto di *segnali variabili*, o segnali tout-court, cioè di tensioni che variano nel tempo, e un caso particolarmente interessante, anche se non esaustivo, è quello dei segnali che dipendono armonicamente dal tempo. Vi ricordate di sicuro come si scrivono le proiezioni sugli assi cartesiani del moto di un punto che percorre una traiettoria circolare: si tratta di due funzioni posizione che vanno con il tempo come il coseno e il seno, cioè di due funzioni "armoniche" (il termine non è molto corretto, si intende qui tipo seno o coseno) *sfasate* nel tempo tra loro di un termine costante pari a $\pi/2$. Non ci vuole molto a rendersi conto che, se lo sfasamento è a un angolo diverso, allora la circonferenza di deforma in un'ellisse, in cui l'orientazione degli assi minore e maggiore, misurata rispetto alle direzioni cartesiane, dipende proprio dallo sfasamento. Analogamente non è difficile rendersi conto che se lo sfasamento non c'è, o vale

π (o suoi multipli interi), allora l'ellisse collassa in una retta. Detto a parole tutto suona convincente, e forse lo sarà ancora di più se e quando svolgerete un esercizio con Python finalizzato proprio a "simulare" quello che si può osservare con l'oscilloscopio. Questo esercizio sarà l'oggetto di un'apposita nota.

Spesso in laboratorio si ha la necessità di misurare, o stimare, lo sfasamento tra due segnali alla stessa frequenza (e coerenti fra loro). In questi casi l'uso dell'oscilloscopio in modalità X-Y permette di analizzare il problema in maniera immediata, soprattutto se lo scopo è quello di verificare la presenza o meno di uno sfasamento (si ha sullo schermo un'ellisse, o un cerchio, a seconda dello sfasamento e del *fattore di scala* della rappresentazione, oppure una retta). Lo vedrete in qualche esperienza pratica.

III. STADIO DI INGRESSO

Lo stadio di ingresso è quello che "condiziona" (manipola elettronicamente) le tensioni in ingresso a CH1, CH2 prima di mandarle alle placchette di deflessione. Le funzioni dello stadio di ingresso sono molteplici. Qui mi limito a segnalare le più importanti, che riguardano non solo la modalità X-Y ma anche quella Y-t di cui tratteremo in seguito.

- Fattore di scala.** Modificare il fattore di scala della rappresentazione significa agire sul "guadagno" (cioè amplificazione o attenuazione) del segnale in ingresso. Il fattore di scala si modifica con la manopola a scatti VOLT/DIV (ogni canale ne ha una), che è calibrata in V per divisione (lato del quadretto della graticola). La sensibilità massima è tipicamente dell'ordine di qualche mV/div e le divisioni sono una decina. Occhio: se il fattore di scala è sbagliato, ad esempio eccessivamente alto o basso, allora può essere che il punto disegnato dal pennello elettronico vada fuori schermo o sembri non muoversi dal punto che avete stabilito come origine. Dunque, se "non vedete nulla", pensate all'eventualità che il fattore di scala (e anche l'offset, di cui tratteremo fra poco) sia aggiustato male.
- Scalibratura.** Normalmente il fattore di scala è calibrato entro la precisione fornita dal costruttore. Il fattore di scala si legge sullo schermo (ogni canale ha la propria indicazione!). In certi casi può essere utile "scalibrare" la scala, ad esempio per ottimizzare la "dinamica di rappresentazione". Per scalibrare, nel modello di oscilloscopio preso qui a riferimento occorre premere sulla manopola della scala: si accende una bella spia rossa e ruotando la manopola di può modificare la scalibratura. Al posto del fattore di scala, sullo schermo compare un punto interrogativo, dato che non è più possibile conoscere il fattore di scala stesso (è scalibrato!).

- **Offset di scala.** Come già ampiamente scritto, l'oscilloscopio si comporta basilarmente come uno studente che deve disegnare un grafico su carta millimetrata. Oltre alla scala, bisogna stabilire la posizione dell'origine. Tecnicamente questo viene fatto aggiungendo una tensione costante (*offset*) a quella che si vuole visualizzare. L'operazione si compie agendo sulle manopole (non a scatti e un po' più piccole di quelle del fattore di scala) che si chiamano **POSITION**. Ce ne è una per canale e inoltre un'altra per la posizione orizzontale. La posizione dell'origine si determina rispetto a un punto (o una retta orizzontale, vedi dopo) della graticola sullo schermo. Quando si determina la posizione dell'origine è necessario assicurarsi che non ci siano segnali in ingresso, cioè è necessario premere il pulsante **GND** (sta per ground) del canale corrispondente. Questo fa comparire un simbolino di terra, o di massa, sullo schermo, vicino all'indicazione della sensibilità verticale. Occhio! Solo dopo aver fatto questa operazione è possibile stabilire il valore della tensione (riferita a massa) che si sta misurando, che è rappresentata dalla distanza, positiva o negativa, in divisioni o frazioni di divisione, del punto, o linea, che si osserva rispetto al punto, o linea, che avete stabilito essere l'origine.

- **Coupling.** Vicino al pulsante **GND** ce ne è uno con scritto **AC/DC**. Non si tratta del nome di un noto gruppo musicale, da me non molto amato, ma di un pulsante che cambia il comportamento dello stadio di ingresso. In **DC** (compare un segno = sullo schermo in basso a sinistra accanto all'indicazione della scala) l'ingresso del canale è accoppiato direttamente alle placchette di deflessione (**DC** significa *direct current*, cioè corrente continua). In **AC** si interpone un filtro (scopriremo essere un filtro "passa alto" che ha una "frequenza di taglio" molto bassa, tipicamente dell'ordine dell'Hz) che taglia, cioè elimina, la componente continua, cioè che non varia nel tempo, del segnale che si sta osservando. Nella pratica, questo filtro è realizzato interponendo un condensatore fra segnale e ingresso dell'oscilloscopio. Il condensatore, infatti, blocca la componente costante nel tempo del segnale. La possibilità di accoppiamento **AC** è estremamente utile, dato che spesso i segnali sono fatti da una parte continua e da una oscillante sovrapposta a questa. Se l'interesse è nella componente oscillante, è inutile dare peso a quella continua. Ciò permette di ottimizzare in maniera molto semplice la sensibilità della misura.

IV. MODO DI OPERAZIONE Y-T

Come dice il suo nome, di norma l'oscilloscopio è usato per visualizzare dei segnali oscillanti, cioè dipenden-

ti dal tempo (transienti o segnali periodici che siano). La capacità di visualizzare transienti veloci dipende in primis dalla banda passante dello strumento. Se questa vale 50 MHz, come nel modello di riferimento, allora si può essere confidenti di poter visualizzare transienti su una scala di poche centinaia di nanosecondi (nelle nostre esperienze non arriveremo, purtroppo, ad analizzare segnali così "veloci", cosa che richiede parecchie ulteriori cure sperimentali).

A. La sweep

Il metodo per ottenere la visualizzazione di un segnale dipendente dal tempo è banale. Basta pilotare lo spostamento orizzontale del pennello elettronico con una tensione che dipende linearmente dal tempo! Tenendo conto della persistenza sullo schermo e del tempo di risposta del nostro occhio, questo permette direttamente di visualizzare una traccia che rappresenta l'andamento di un segnale in ingresso a uno, o tutti e due (vedi dopo), i canali dell'oscilloscopio.

Tecnicamente l'operazione è possibile grazie alla presenza all'interno dell'oscilloscopio di un generatore di tensione linearmente dipendente dal tempo. Poiché una deflessione eccessiva in direzione orizzontale farebbe sparire il punto dallo schermo, questo generatore produce un'onda a *dente di sega*, con una crescita lineare nel tempo e una decrescita molto più rapida (il tempo necessario perché il pennello elettronico si riposizioni al punto di partenza, tipicamente a sinistra dello schermo - il tempo scorre sempre da sinistra a destra). Il movimento di spazzata orizzontale del pennello elettronico si chiama *sweep* e la velocità di spazzata, che deve essere chiaramente adattata al segnale che si intende visualizzare, si chiama in genere *base dei tempi*.

Per regolare la velocità di spazzata si agisce sulla manopola a scatti **TIME/DIV**: la scala prescelta è scritta sullo schermo e anche qui è possibile scalibrare (premendo) e modificare la posizione di inizio (manopola **POSITION**). Tanto per dare un numero, considerate che nel modello di riferimento è possibile scegliere una base dei tempi che corrisponde al minimo a 20 ns/div: una divisione è lunga circa 1 cm, per cui la velocità orizzontale del pennello elettronico corrisponde a qualcosa dell'ordine di 5×10^5 cm/s (sono elettroni, è facile farli viaggiare rapidamente!). Ovviamente la base dei tempi va regolata sulla base della rapidità con cui varia il segnale che si sta osservando, ed è bene avere prima un'idea di quello che si vuole visualizzare per evitare di non osservare il segnale di interesse.

B. Canali

Gli strumenti in dotazione hanno la possibilità di visualizzare due canali indipendenti. Questo tornerà utilissimo quando dovrete confrontare gli andamenti di due

distinti segnali (due tensioni riferite alla stessa massa), tuttavia spesso avrete da analizzare un solo segnale. La visualizzazione dei canali si attiva o disattiva (spie contigue verdi accese o spente) premendo i pulsanti CH1 e CH2. Se dovete vedere solo un canale, per esempio CH1, dovete accertarvi che questo canale sia attivo e, operazione consigliabile per evitare confusione, disattivare l'altro. Ovviamente i due canali possono avere regolazioni del tutto indipendenti per offset e scala. Le scale sono tutte e due scritte sullo schermo (attenzione a non fare confusione tra i canali!).

La visualizzazione "simultanea" dei due canali può avvenire con diverse modalità. Essa può essere *alternata*, cioè una sweep per un canale e la successiva per l'altro (utile per scelte dei basi di tempi molto brevi) oppure *chopped*. In questo caso la sweep viene suddivisa in tanti piccoli sottointervalli temporali in cui la visualizzazione dei due canali viene alternata. In genere, grazie alla persistenza della traccia, si ottiene la sensazione di vedere contemporaneamente i due canali (il chopping risulta evidente operando a grandi basi dei tempi). Il passaggio da una modalità all'altra si esegue premendo i pulsanti ALT o CHOP (quest'ultima dovrebbe essere il default), da localizzare sul pannello. Ovviamente lo schermo indica la modalità prescelta (ma non sempre, la modalità chopped, di default, è spesso non indicata). Ci sono poi altre modalità, per esempio quella consistente nella visualizzazione di un segnale *somma* (SUM) dei due canali, ma in genere se ne fa poco uso.

V. TRIGGER

La parte forse più rognosa nell'uso dell'oscilloscopio è quella che riguarda l'uso del trigger. Per capire l'utilità delle funzioni che il trigger offre pensate di dover visualizzare un transiente che si verifica ogni tanto, per esempio la scarica di un condensatore che si attiva solo dopo aver azionato manualmente uno switch.

Per avere una visualizzazione corretta e completa del transiente è necessario che la partenza della sweep sia sincronizzata in qualche modo con l'evento che state osservando. Notate che il problema della sincronizzazione si presenta anche nel caso di un segnale periodico: se non c'è sincronizzazione tra la partenza della sweep e il segnale stesso, la visualizzazione risulterà probabilmente poco intelligibile, perché la forma d'onda visualizzata vi apparirà "in movimento", o addirittura potrete vedere sullo schermo una sovrapposizione confusa di tante forme d'onda, cosa che è assolutamente da evitare.

Il circuito di trigger (vuol dire grilletto) di cui sono dotati gli oscilloscopi provvede proprio alla sincronizzazione. In modalità AUTO la sweep è, generalmente, sempre attiva, cosa utile perché permette ad esempio di regolare il livello di zero, ma cosa inutile se si vuole sincronizzare (in realtà anche in questa modalità l'oscilloscopio prova da solo a sincronizzarsi con il segnale, senza però necessariamente riuscirci...). In modalità normale (NML, un tasto

provvede al passaggio da una modalità all'altra) il trigger può essere controllato dall'utente in maniera quasi completa. Il passaggio tra le due modalità è segnalato dalle spie verdi ATO e NML in alto a destra sul pannello. L'attivazione del trigger è segnalata da un'ulteriore spia verde posta in prossimità delle altre (subito sopra di esse).

In particolare si può regolare il *livello di trigger* agendo sulla manopola LEVEL: si tratta del valore di tensione che, se viene raggiunto (a salire o a scendere, a seconda della SLOPE che può essere commutata da positiva a negativa agendo sul tasto omonimo - osservate quale indicazione cambia sullo schermo, è un simbolino di transiente con una freccina) dal segnale in ingresso, fa partire la sweep, altrimenti ferma. Affinché la sincronizzazione avvenga con il segnale di vostro interesse occorre naturalmente dire al circuito di trigger quale ingresso deve monitorare: agendo sul tasto SOURCE si può scegliere tra CH1, CH2, EXT (un ulteriore canale non visualizzabile ma utilizzabile solo come trigger), VERT (il trigger monitora alternativamente i due canali, scelta specifica per alcune operazioni particolari e normalmente da evitare), LINE (in questo caso la sincronizzazione avviene rispetto alla corrente alternata a 50 Hz dell'impianto elettrico - utile alcune volte, come vedrete). Ci sono poi altre possibilità, per esempio quelle accessibili con il tasto TV e poi qualche altra specificazione, che servono per i riparatori di televisori, if any, e che quindi *non dovete mai usare*.

Un'ulteriore complicazione è data dal fatto che è possibile interporre tra ingresso e circuito di trigger dei filtri (per esempio AC, HFR, LFR, che si commutano con il tasto COUPLING). Per la spiegazione dell'utilità rimando senz'altro a qualche esempio pratico: osservate in generale che la regolazione del livello di trigger è per sua natura *approssimativa*, e infatti essa non è quantificata sullo schermo. Inoltre, il trigger scatta solo in presenza di transienti (non è possibile "accopiarlo" in DC), per cui se si vogliono visualizzare segnali continui è necessario in genere usare la modalità automatica di trigger. Comunque, a parte il livello, tutte le altre regolazioni del trigger sono annunciate con apposite scritte sullo schermo, ragione in più per guardare non bene, ma benissimo, tutto quello che vi compare!

Anche se l'uso del trigger richiede esperienza, e l'esperienza si fa solo usando lo strumento nelle più diverse condizioni, siete caldissimamente invitati a provare fin da subito a passare dalla modalità AUTO (quella di default) alla NML, per poi vedere cosa succede e ragionarci sopra.

VI. MISURARE CON L'OSCILLOSCOPIO

Fatte salve tutte le considerazioni prima riportate su precisione e risoluzione, i cui dati vanno controllati sul manuale, l'oscilloscopio può essere tranquillamente usato per fare misure, e questo voi farete durante l'anno (questo e anche il prossimo). Da che mondo è mondo le misure sull'oscilloscopio si fanno come le misure su un grafico

disegnato su carta millimetrata. Si stimano le distanze in divisioni (o frazioni di divisione, la divisione è suddivisa in cinque tacchette, guardate lo schermo) tra punti “interessanti” del segnale (picchi, minimi, massimi, etc.) e poi, usando il fattore di scala, si deducono i valori degli intervalli misurati (di tempo o di tensione).

Per le nuove generazioni, però, si è pensato a un aiuto costituito da una coppia di *cursori* (in realtà si tratta di linee tratteggiate, orizzontali o verticali a seconda che si vogliano fare misure di grandezze sulla scala verticale o orizzontale, rispettivamente, cioè generalmente differenze di potenziale o tempi) che possono essere posizionati agendo sulla manopola **VARIABLE**. I tasti accanto a questa manopola gestiscono i cursori e il loro movimento secondo una logica che può essere facilmente capita leggendo cosa c'è scritto sul pannello accanto ai vari pulsanti e, soprattutto, facendo prove. Notate che premendo la manopola si passa da un movimento fine a un movimento grossolano e che si può spostare un cursore alla volta (o tutti e due assieme), essendo data la possibilità di scegliere quale cursore muovere agendo, appunto, su un pulsante. Il cursore che si può muovere è segnalato da una freccina in alto sullo schermo. Normalmente lo step minimo con cui potete muovere un cursore è $1/25$ della divisione. Fate anche attenzione al fatto che, spesso, lo spessore della traccia non è affatto trascurabile, circostanza che dovrebbe indurvi a esprimere sempre in modo corretto l'incertezza di misura.

L'uso dei cursori è molto più semplice nella pratica che non nella descrizione. La distanza tra i cursori, nelle unità corrette (e debitamente scalate), è riportata sullo schermo in alto a destra. Nel caso si misurino dei periodi, è possibile visualizzare direttamente la misura della frequenza (il reciproco del periodo), che è una ennesima semplificazione ad usum dei giovani. Fate la massima attenzione, però: se state visualizzando due tracce, ovvero due canali, contemporaneamente, come specificato sopra, controllate sempre a quale canale fa riferimento la misura dei cursori (per esempio, se sullo schermo leggete ΔV_1 vuol dire che la misura si riferisce al CH1) altrimenti potete facilmente incorrere in topiche clamorose.

Detto che il mio consiglio, almeno all'inizio e quando si può, è di non fare uso dei cursori ma affidarsi alle tacchette, vi dico che lo schermo dell'oscilloscopio riporta pure una misura di frequenza (f = e poi un numero con tante cifre significative in basso a destra). Questa misura non ha necessariamente a che fare con quello che

state visualizzando sullo schermo, essendo prodotta da un dispositivo a parte, un *frequenzimetro*, integrato nello strumento che cerca di misurare la frequenza del segnale usato come sorgente del trigger. A meno che non vi si consigli diversamente, e almeno all'inizio, *fate finta che questa indicazione non ci sia*. In caso contrario è alta la probabilità di trarre conclusioni poco corrette.

VII. ALTRE

Nell'oscilloscopio ci sono molte altre funzioni e molti altri tasti. Alcune di queste funzioni le discuteremo quando avremo da risolvere dei problemi specifici, cioè da eseguire misure particolari. Di altre probabilmente non parleremo mai, non essendo utili per i nostri scopi. Siete sempre invitati a esplorare, cioè a premere qualche pulsante o girare qualche manopola e vedere cosa succede (in genere le indicazioni sul pannello o gli annunci sullo schermo sono abbastanza auto-esplicativi). Se lo fate, tenete conto che una barretta orizzontale disegnata sul pannello in prossimità di qualche tasto significa che, per attivare o disattivare la funzione corrispondente, occorre tenere premuto il tasto per qualche secondo (e si riceve un beep quando il comando viene eseguito).

Tuttavia ricordate che alcune delle funzioni possono dare un esito che, se non debitamente considerato, può compromettere la validità delle vostre osservazioni. Questo è il caso, per esempio, della funzione **INV**, che inverte il segno del segnale in ingresso al canale (e compare una freccina sullo schermo a mo' di annuncio), e delle funzioni **MAG**, che espandono la scala orizzontale creando in genere confusione. Fate la massima attenzione a non attivare involontariamente queste funzioni!

VIII. SCHEMA A BLOCCHI

Navigando in rete si possono trovare numerosi schemi a blocchi dell'oscilloscopio. Io ne ho selezionato uno, il primo che mi è capitato, dal sito <http://www.doctrionics.co.uk/scope.htm>, e lo riporto in Fig. 2. Questo schema a blocchi è abbastanza chiaro, pur se non molto completo: il mio consiglio è quello che voi proviate a ricostruire da soli un ragionevole schema a blocchi, cercando di collocare i vari comandi di cui abbiamo trattato nei rispettivi blocchi di pertinenza.

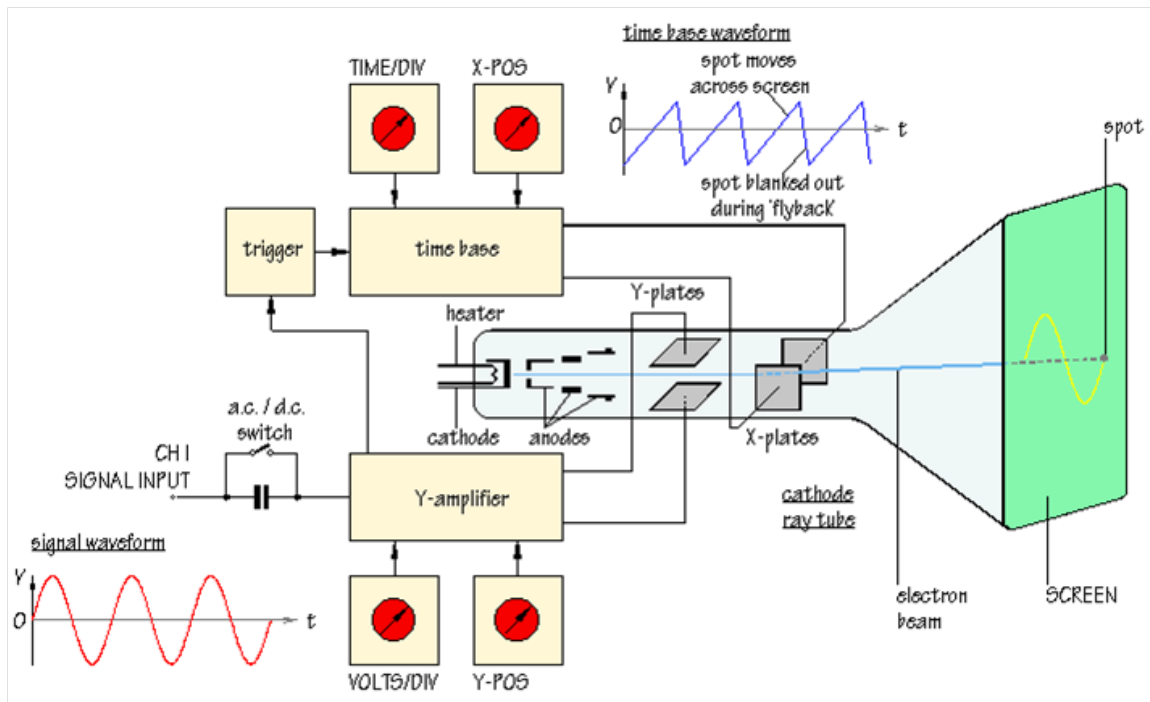


Figura 2. Uno schema a blocchi dell'oscilloscopio.