

## Oscilloscopio digitale.

Accendendo l'oscilloscopio, compare lo schermo con una griglia. Nel normale modo di funzionamento, sull'asse orizzontale e' rappresentato il tempo, e su quello verticale il segnale in ingresso. ( Fig. 1)

Riferendoci alla figura 1, esaminiamo come si visualizza un segnale.

L'uso piu' frequente (ma non l'unico) dell'oscilloscopio e' di rappresentare un segnale periodico.

E' possibile visualizzare due (o piu', a seconda dello strumento utilizzato) canali contemporaneamente. Ci sono infatti due ingressi (in basso), denominati ch1 e ch2

La funzione del terzo ingresso sara' spiegata in seguito.

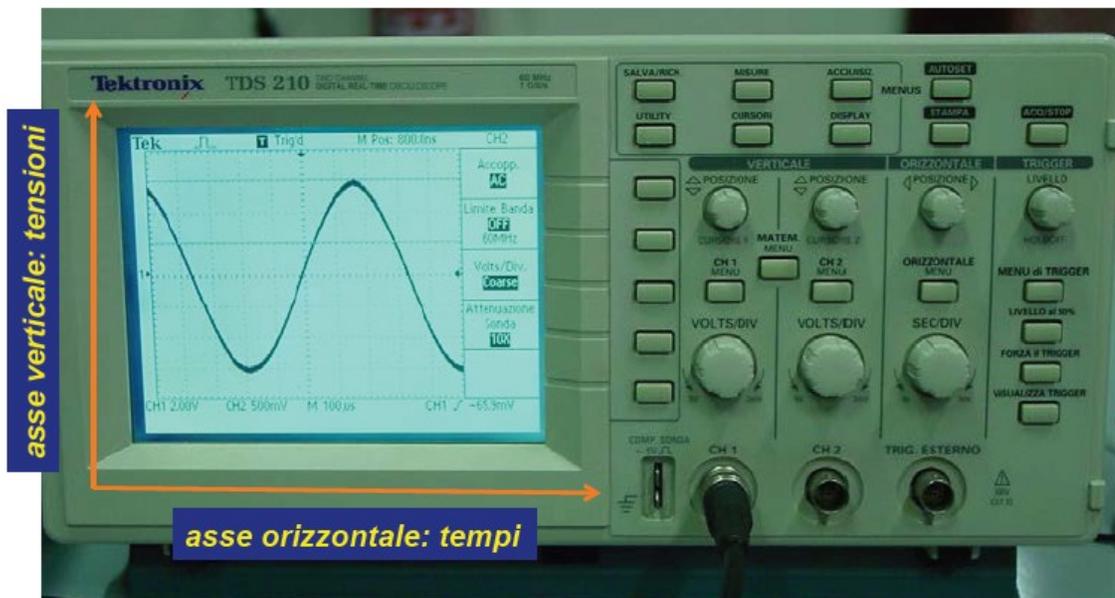


Fig1 – oscilloscopio digitale ( foto tratta da appunti di Marcello Lunardon, Universita' di Padova)

Al lato destro dello schermo e' presente un menu (Fig1), i tasti a destra del menu permettono di entrare nelle singole voci.

Sul fronte dell'oscilloscopio vediamo 4 colonne. Le prime due (verticale) permettono di regolare le caratteristiche della scala verticale dell'oscilloscopio.

La terza (orizzontale) permette di regolare la scala orizzontale.

La quarta definisce la modalita' di acquisizione del segnale.

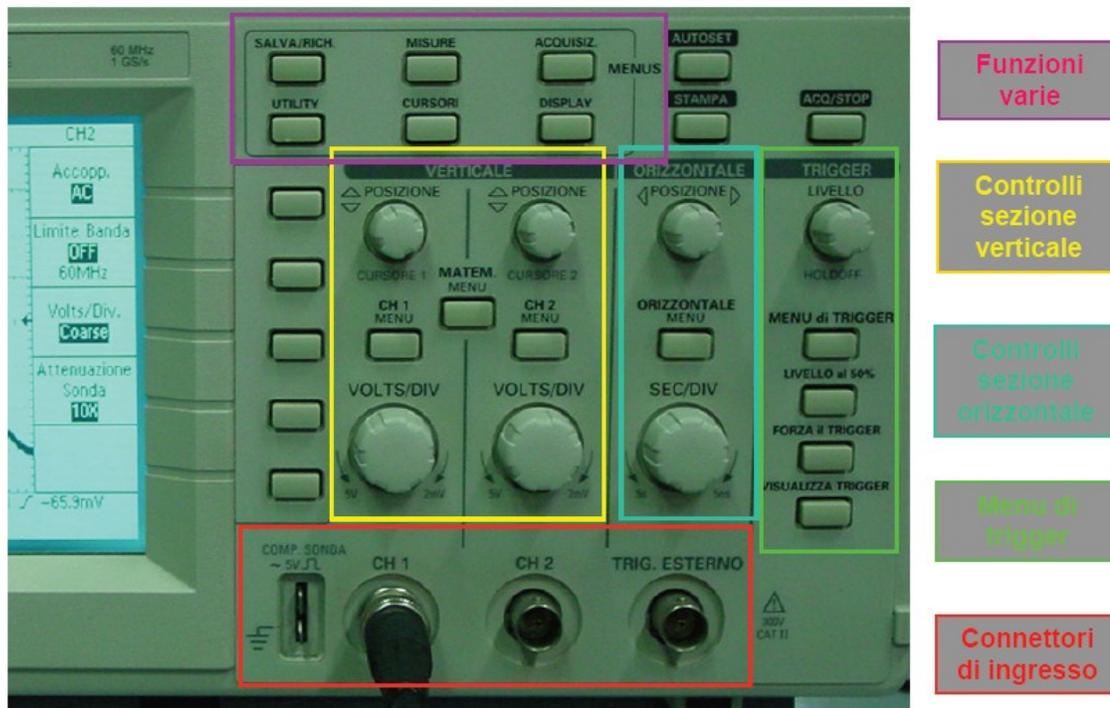


Fig2 – controllo dell'oscilloscopio ( foto tratta da appunti di Marcello Lunardon, Università di Padova))

Senza entrare nei dettagli, partiamo da quest'ultima:

1) premere "menu' di trigger"

2) assicurarsi che "modalita'" sia su "auto". In questo modo l'inizio dell'acquisizione viene eseguito in modo automatico dallo strumento.

In questo caso, senza nessun segnale in ingresso, quello che si vede sullo schermo sara' semplicemente una traccia piatta.

3) premendo due volte il tasto "CH1" o CH2 si puo' fare apparire o sparire la traccia corrispondente. Per ora lavoriamo con il solo canale 1.

4) premendo una volta il tasto CH1 si accede al menu corrispondente. Assicuratevi che la voce "attenuazione sonda" sia a 1X e che la voce "accoppiamento" sia su "DC"

### Visualizzazione di una traccia costante.

1) Accendete il generatore di tensione e fissate l'uscita a circa 1 V. Scegliete il cavo coassiale che ha a un capo un singolo terminale BNC (metallico) e dall'altro due spine a banana. Potete verificare, per esempio con la funzione corto circuito del multimetro, che la spina rossa corrisponde all'elettrodo centrale del BNC e che la spina nera corrisponde alla parte metallica esterna.

Inserite la spina rossa nell'uscita positiva del generatore di funzioni, e la spina nera nell'uscita negativa.

Inserite il terminale BNC nell'entrata del canale 1 dell'oscilloscopio. Dovreste a questo punto vedere sullo schermo una linea piatta, nella posizione corrispondente a 1 V. Se non si vede, o non riuscite a interpretare la misura, verificate le seguenti regolazioni:

- a) Il trigger dovrebbe essere su modalita' "auto". Questo assicura che la visualizzazione della traccia parta automaticamente, con un intervallo di tempo che dipende dalla scala temporale selezionata
- b) regolate la scala temporale sia intorno a 1 ms/div
- c) regolate la scala verticale ( volts/div) a 1 volt/div

2) A questo punto dovreste avere una traccia orizzontale la cui posizione verticale e' una divisione dalla linea orizzontale centrale. Se questo non si verifica, occorre regolare la tensione di offset del canale 1. Se girate la manopola "posizione" del canale 1 dovreste verificare che la traccia si alza e si abbassa. Per regolare esattamente la posizione avete due possibilita':

- a) mettete a zero l'entrata schiacciando i tasti:

ch1 Menu ( pannello "verticale" )

Accoppiamento: schiacciando piu' volte compaiono DC/AC/ground. DC significa che il segnale viene preso cosi com'e'. AC che si eliminano le componenti continue. ground che l'ingresso viene cortocircuitato con la massa dello strumento ( potenziale 0 ), a sua volta connessa con la terra dell'impianto elettrico, quindi il potenziale letto dovra' essere zero. Variate la posizione fino a mettere la traccia al centro dello schermo. Dopodiche' portate l'accoppiamento nella posizione "DC". Per curiosita' portate l'accoppiamento nella posizione "AC" e osservate cosa succede. Dopodiche' tornate su "DC"

- b) leggete sullo schermo la voce "DC offset" e girate la manopola posizione fino a portarla a zero.

3) A questo punto state visualizzando una traccia costante corrispondente alla tensione del generatore. Per misurare questa tensione, avete diverse possibilita'. Per prima cosa assicuriamoci di essere nella modalita' "sample" in cui lo strumento esegue una singola acquisizione e aggiorna lo schermo. Per questo, premere il pulsante "acquisiz" nel gruppo in alto (angolo destro del gruppo evidenziato in viola nella figura 2) . Questo fa comparire il menu "acquisizioni". Assicurarsi che la finestra "sample" sia annerita, in caso contrario schiacciare il pulsante corrispondente a "sample".

- a) misurate la tensione a occhio sfruttando la griglia ( la scala usata Volts/div si riferisce alle divisioni piu' grandi)

b) misurate la tensione usando i cursori orizzontali; Sullo schermo dell'oscilloscopio e' possibile fare comparire dei cursori verticali e orizzontali che possono essere comodi per fare misure di intervalli di tempo e di tensione. Provare a usarli e a stimare la sensibilita' dei cursori e confrontate con l'errore che si otterrebbe da misure " a occhio" sfruttando la griglia e l'errore dichiarato sul manuale. I cursori compaiono schiacciando il tasto "cursori" nel blocco "funzioni varie" in alto nella figura 2.

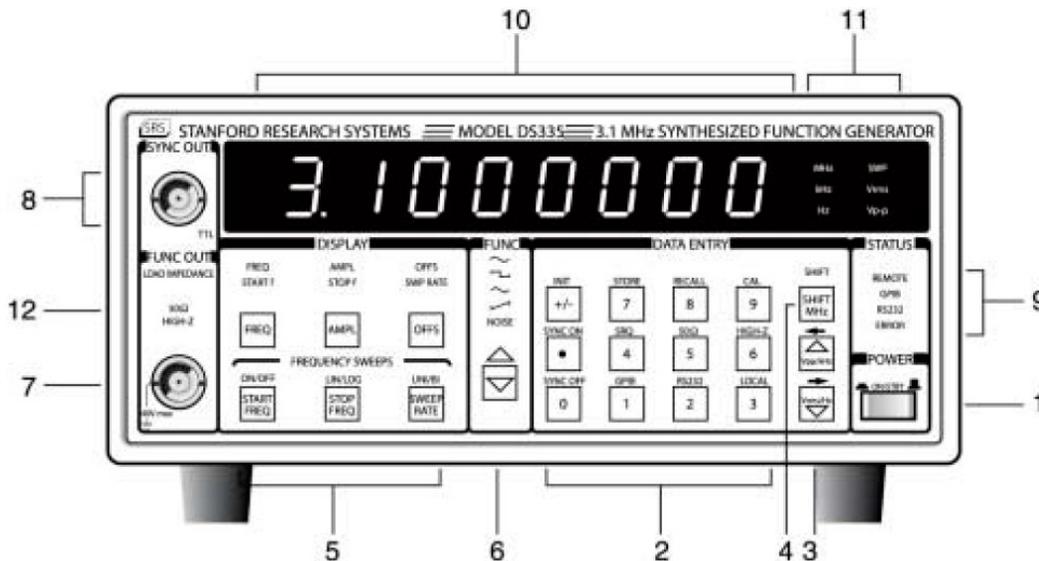
c) usate la misura automatica: schiacciate il tasto “misure” in alto, dovrete potere selezionare la misura “media” in cui l'oscilloscopio esegue la media di tutti i punti acquisiti. In questo caso, a meno delle fluttuazioni, la media dovrebbe essere quasi uguale al valore che avete ottenuto con i metodi precedenti. Eventualmente prendete una serie di misure successive e valutate la deviazione standard.

4) Adesso passiamo dalla modalita' "sample" alla modalita' "media", entrando nel menu “acquisizioni” Si possono impostare medie di 4,16,..acquisizioni. Aumentando il numero di acquisizioni dovrete osservare come la lettura si stabilizza. Misurate la ddp del generatore anche con il multimetro: le letture sono consistenti con l'errore specificato in entrambi i casi ?

5) cambiate a piacere la scala verticale e osservate cosa succede. Cambiate anche la scala orizzontale andando verso valori di secs/div piu' piccoli. Se a questo passate alla modalita' di accoppiamento "AC" e andate verso valori piccoli di V/div ( cioe aumentate l'amplificazione del segnale), dovrete rendervi conto che la traccia non e' perfettamente piatta ma esistono componenti alternate a diverse frequenze.

## Generatore di funzioni DS335

Il generatore produce tensioni variabili nel tempo, di forma, ampiezza, e frequenza variabili. Le forme selezionabili sono 3: onde quadre, triangolari, e sinusoidali (esiste inoltre la modalità “noise” che non ci interessa. Per una descrizione dettagliata del funzionamento, si rimanda all’estratto del manuale. Qui forniamo solo gli elementi essenziali.



La numerazione dei tasti si riferisce alla pagina 2-5 del manuale.

Da sinistra a destra notiamo:

- i connettori di uscita. Quello che sarà usato sarà quello in basso (n. 7 in figura).
- Il display, che contiene il valore della caratteristica del segnale impostata (vedi punto successivo).
- Il controllo “Display” permette di selezionare le 3 grandezze caratteristiche del segnale: frequenza, ampiezza, offset (cioè il valore medio). Non ci interessiamo della parte “Frequency Sweeps”
- Il blocco “func” seleziona il tipo di forma d’onda, ovvero senoide, onda quadra, onda triangolare, rampa. La modalità “noise” invia una sovrapposizione di tutte le frequenze possibili, ma non lo consideriamo.
- Data Entry permette di selezionare il valore numerico di frequenza, ampiezza e offset, attraverso la tastiera. Per impostare un valore, occorre digitare il numero e premere uno dei tasti di unità, quelli contenuti nell’ultima colonna. Questo permette di selezionare, per la frequenza, Hz, KHz, MHz. Per la tensione si seleziona o l’ampiezza picco-picco o la media quadratica.

Alternativamente, si può variare il valore della grandezza impostata variando di una unità la cifra che lampeggia sul display, premendo i tasti in basso a destra. Per fare variare la cifra su cui si agisce, occorre premere “shift” una volta, e poi uno dei pulsanti sottostanti.

L'uscita del segnale e' di tipo "BNC": si tratta di uno standard per cavi coassiali. La parte esterna metallica del connettore di uscita si collega al conduttore esterno del cavo. Quasi sempre, questa parte esterna e' collegata ad un valore di riferimento del potenziale, la cosiddetta "massa" dello strumento, che a sua volta e' di solito collegata alla "terra" della rete elettrica. Attraverso questi collegamenti, le masse di diversi strumenti sono quindi collegati allo stesso valore di riferimento, che di solito si assume pari a zero.

## Visualizzazione di una traccia periodica.

1) Accendere il generatore di funzioni, impostare un segnale sinusoidale di 1 V picco-picco, una frequenza di 1kHz e una tensione di offset nulla.

2) collegate un cavo coassiale all'uscita "func out" del generatore di funzioni e al canale 1 dell'oscilloscopio.

3) Mettete l'oscilloscopio in modalita' "sample"; regolate l'oscilloscopio in modo da visualizzare il segnale,

(se non si vede: verificate che state visualizzando il canale giusto; verificate che l'accoppiamento sia "DC"; mettete il trigger in modalita' "auto"; regolate la scala verticale e la scala dei tempi in modo da vedere qualche periodo di oscillazione, mettete la posizione verticale a zero )

A questo punto avrete probabilmente sullo schermo una traccia sinusoidale che non e' stabile. Questo e' dovuto al fatto che acquisizioni successive iniziano in posizioni diverse del segnale. Per ovviare a questo inconveniente, bisogna fissare con il menu di trigger le condizioni per cui l'acquisizione del segnale inizia. In questo caso abbiamo un solo segnale per cui dovremo selezionare sul menu "trigger" come sorgente il canale 1. Si puo' regolare il livello del segnale e selezionare la sua pendenza (salita o discesa) . Osservare come cambia la visualizzazione del segnale cambiando questi due parametri. Osservate cosa succede se il livello del trigger diventa troppo alto o troppo basso, e le differenze di comportamento tra la modalita' "auto" e "normal"

4) verificate "a occhio", sfruttando la griglia e i valori della scala verticale e orizzontale che il periodo e l'ampiezza del segnale corrispondano a quanto impostato sul generatore di funzioni. Se sull'oscilloscopio trovate il doppio di quello che e' segnato sul generatore, probabilmente e' dovuto all'impostazione del generatore su "50 ohm" come impedenza di carico; selezionate "High Z".

5) misurate ora con precisione l'ampiezza picco-picco. Potete usare diversi metodi:

- a) con i due cursori orizzontali potete leggere le differenze tra due punti dello schermo.
- b) le funzioni di misura automatica

valutate come cambia la precisione della misura variando la scala verticale e passando in modalita' "media". Trovate corrispondenza con il valore indicato dal display del generatore?

6) misurate con precisione il periodo dell'onda. Anche in questo caso potete usare diversi metodi:

- a) i cursori verticali permettono di leggere la distanza temporale tra due punti della traccia
- b) la misura automatica Periodo o frequenza.

valutate come cambia la precisione della misura variando la scala orizzontale e passando in modalita' "media". Trovate corrispondenza con il valore indicato dal display del generatore?

Poiche' la frequenza del generatore di funzioni e' molto ben definita, almeno nominalmente, la potremmo usare come riferimento e considerare il suo errore trascurabile. Provate a cambiare la frequenza del segnale, per esempio passando da 1 kHz a 1.5 kHz variando di 100 Hz e a confrontare la misura con l'oscilloscopio con la frequenza nominale, senza cambiare la scala temporale. Questo confronto vi potrebbe dare un'indicazione dell'errore statistico sulla misura del periodo? .

7) In alcune casi e' richiesto di misurare il tempo per cui un segnale assume un valore determinato rispetto a un valore di riferimento.

Per esempio supponiamo di volere misurare quando il segnale sinusoidale si riduce di  $1/\sqrt{2}$  rispetto al massimo. Dovrete quindi usare in maniera opportuna i cursori. Provate a fare questa determinazione e a stimare l'errore ( verificate di ottenere  $1/8$  di periodo come ci aspettiamo dalla trigonometria)

8) Sull'oscilloscopio e' possibile visualizzare due tracce. Montate sulla basetta un circuito composto da una resistenza e un condensatore in serie ( per esempio 10 Kohm e 100 nF).. Per l'ingresso usate il cavo usato all'inizio, e inviate il segnale dal generatore al circuito; fate in modo che il terminale connesso alla massa sia collegato alla resistenza.

Utilizzate le sonde in dotazione per visualizzare il segnale in ingresso inviandolo al canale 1 e il segnale ai capi della resistenza al canale 2. Scegliete come sorgente per il trigger il canale 1. Dovreste ottenere due sinusoidi della stessa frequenza ma sfasate una rispetto all'altra. Provate, per varie frequenze, a misurare il ritardo temporale tra un segnale e l'altro ( operativamente, questo ritardo sara' definito come il minimo spostamento che devo applicare a un segnale per sovrapporlo con l'altro). Pensate a come rendere minimo l'errore.

**ATTENZIONE:** le sonde hanno spesso un'attenuazione ( il piu' delle volte di un fattore 10) che bisogna tenere presente quando si fanno misure. Nel menu dei canali e' possibile inserire questa attenuazione in modo da avere la lettura vera.

9) Quando si visualizzano due tracce, e' possibile visualizzarne una in funzione dell'altra. Premendo il tasto "Display", si apre un menu da cui e' possibile selezionare, alla voce "formato", sia "normale", che e' quello di solito usato, che "XY". Provate a utilizzare questo formato ( sara' utilizzato in una delle prossime esperienze). Variate le scale di entrambi i canali. Variate la frequenza del segnale e osservate come cambia la figura sull'oscilloscopio. Sapete mettere in relazione la figura che vedete con le ampiezze relative e lo sfasamento tra i due segnali?

## **Specifiche sugli errori**

Il manualetto dell'oscilloscopio riporta alcune specifiche che cerchiamo di interpretare ( non sempre e' facile):

**Accuratezza del guadagno CC:** +- 3%

Ogni scala verticale corrisponde a una amplificazione del segnale ( o eventualmente una attenuazione). Il 3% e' quindi il massimo di deviazione che ci si puo' aspettare sul fattore di amplificazione. Possiamo quindi aspettarci che un valore continuo di tensione sia accurato al 3%.

Nel momento in cui utilizziamo la stessa scala per una serie di misure, tutti i valori saranno sbagliati allo stesso modo e in questo senso questa incertezza introduce un errore sistematico. ( ovvero: se un valore e' sbagliato di + x%, (con  $0 < x < 3$ ) tutti gli altri saranno sbagliati nello stesso senso)

Come conseguenza immediata abbiamo che anche le differenze in tensione saranno accurate con la stessa quantita'.

Da notare che questa specifica non cambia tra modalita' di acquisizione sample o media ( e in questo senso la possiamo considerare un errore sistematico)

**Accuratezza della misura CC ( in modalita' media).**

Media di  $\geq 16$  forme d'onda con posizione verticale a zero:

+ - ( 3% + 0.1 div + 1 mV )

Il 3% deriva dall'incertezza del guadagno.

0.1 div e' probabilmente legata alla conversione A/D. Se pensiamo che il convertitore funzioni a 8 bit, avremo un errore di quantizzazione di  $1/256 \cong 4 * 10^{-3}$ . su 10 divisioni. L'errore su un punto sara' quindi di 0.04. Su una misura di tipo picco-picco e' ragionevole un errore del doppio, 0.08, che e' dell'ordine dell'errore specificato.

1 mV viene probabilmente dal rumore interno dell'oscilloscopio.

Media di  $\geq 16$  forme d'onda con posizione verticale non a zero:

In questo caso occorrera' aggiungere l'errore introdotto dalla somma della posizione verticale.

La specifica dice:

+ - ( 3% (lettura + posizione verticale) + 1% della posizione verticale + 0.2 div )

Anche in questo caso possiamo supporre che il 3% venga dall'accuratezza del guadagno, 1% sara' legato a incertezze sistematiche della posizione verticale, mentre 0.2 div e' probabilmente un errore statistico che deriva dalla somma dell'incertezza della misura e della posizione verticale.

Inoltre si dice di aggiungere 2 mV per regolazioni da 2mV/div a 200 mV/7div. Aggiungere 50 mV per regolazioni da  $> 200$  mV/div a 500 mV/div.

Morale:  $\rightarrow$  evitare di usare posizioni verticali diverse da zero, per non fare crescere l'errore.

**Precisione della misura Delta Volt**

( il manuale usa veramente i termini precisione e accuratezza, non so se con cognizione di causa).

Delta di tensione di due medie qualsiasi di  $\geq 16$  forme d'onda acquisite nelle stesse condizioni ambientali e di impostazione.

$\pm (3\% + 0.05 \text{ div})$

Come ci si puo' aspettare, un certo numero di termini che saranno legati a errori sistematici e agli errori di offset scompaiono.

Il 3% sara' sempre quello del guadagno. Perche' si passi da 0.1 div a 0.05 div non mi e' chiaro. Probabilmente nei 0.1 div corrispondenti alla misura di tensione c'e' anche un contributo di errore sistematico che nel caso di differenza si elimina.

0.05 div e' poco meno della somma in quadratura di 0.04 + 0.04 div, che corrisponderebbe all'errore statistico minimo se consideriamo un ADC a 8 bit.

11) Specifiche sulla scala dei tempi

Vengono acquisiti sempre 2500 punti per ciascun canale.

L'intervallo di campionamento e' quindi  $(s/div) / 250$  s ( se la scala orizzontale e' di 10 divisioni)  
( una edizione del manuale dice  $(s/div)/2500$  ma credo che sia un refuso)

L'accuratezza della scala dei tempi e' riportata essere  $\pm 100$  ppm per intervalli di tempo  $> 1$  ms.  
Cosa questo significhi non so.

### **Precisione della misura Delta Time:**

Evento singolo (sample) :  $\pm (1 \text{ intervallo di campionamento} + 100 \text{ ppm} * \text{lettura} + 0.6 \text{ ns})$

$\geq 16$  Medie :  $\pm (1 \text{ intervallo di campionamento} + 100 \text{ ppm} * \text{lettura} + 0.4 \text{ ns})$

Quindi qui vediamo che l'incertezza della misura del tempo ha dei contributi fissi ( un intervallo di tempo, che sembra intuitivo) e una parte che dipende dalla lettura.

C'e' poi una voce incomprensibile (per me) : intervallo di posizione.