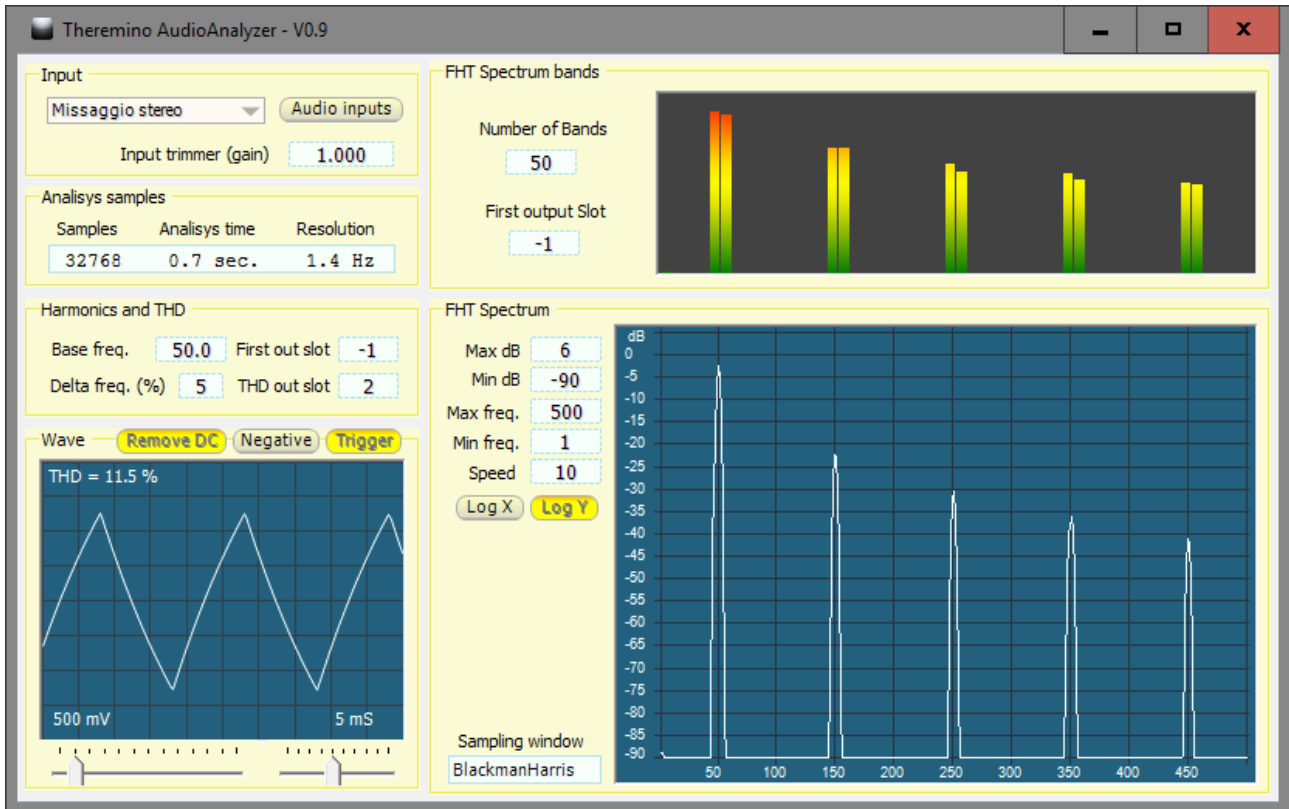


# Sistema theremino



# Audio Analyzer

# Caratteristiche principali

Questa applicazione esegue l'analisi di spettro di segnali periodici provenienti da una scheda audio e scrive su un certo numero di slot i valori misurati a diverse frequenze e il tasso di distorsione calcolato.

Il suo principale utilizzo è analizzare segnali periodici, da frequenze di qualche decina di Hertz fino a 20 KHz.

Questa applicazione può misurare con precisione la distorsione armonica e altri parametri di una tensione alternata a 50 Hz e di altre frequenze maggiori in tutta la gamma audio.

Con le normali schede audio si ottengono facilmente circa 100 dB di rapporto tra segnale e rumore (una parte su centomila cioè lo 0.01 per mille di precisione).

E normalmente si ottiene una banda passante da qualche Hertz a 20 KHz e una frequenza di campionamento fino a 192 KHz.

Si consiglia di utilizzare schede audio esterne, in modo da slegarsi dalle regolazioni di volume che si utilizzano normalmente in Windows.

Anche altre applicazioni del sistema theremino (DAA, AudioInput e AudioExamples) campionano attraverso la scheda audio. Ma sono applicazioni pensate per altri scopi, il DAA è un oscilloscopio, AudioInput è un analizzatore di spettro che si usa per accendere i led a tempo di musica e AudioExamples è un esempio didattico.

## Applicazioni alternative

Esiste una applicazione simile, la "Theremino\_WaveAnalyzer" che legge il segnale per mezzo del modulo Master.

La WaveAnalyzer ha una minore banda passante (250 Hz al posto di 22 KHz), può misurare la distorsione e altri parametri di una tensione alternata a 50 Hz, ma la banda passante limitata rende le misure lente e imprecise.

In compenso WaveAnalyzer può misurare frequenze basse fino alla continua, al posto dei 5 Hz minimi delle schede audio.

Inoltre può leggere anche segnali provenienti dall'Adc24 e quindi misurare con 24 bit di dinamica al posto dei 16 bit delle schede audio.

# La applicazione Audio Analyzer

Questa applicazione è stata sviluppata per facilitare lo sviluppo di apparecchi di misura.

Ci hanno chiesto come controllare la forma d'onda di uscita dei gruppi di continuità, misurarne la distorsione, il fattore di cresta, la tensione efficace e la frequenza.

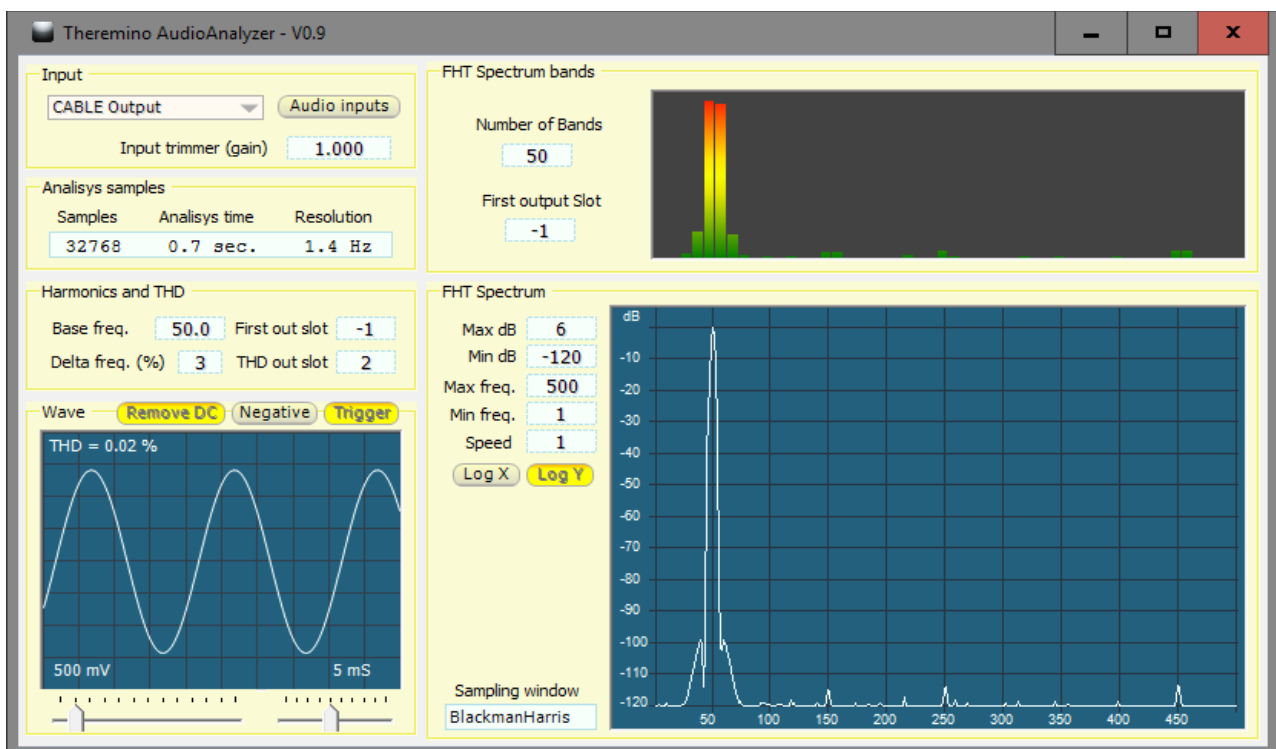
Parte di queste misure si effettua facilmente. Ad esempio la frequenza di rete può essere misurata con grande precisione da un Pin del Master configurato come Period e per la ampiezza picco-picco basta un Pin configurato come Adc16.

Ma misurare la distorsione della forma d'onda di un segnale periodico richiede di fare una analisi di spettro che richiede algoritmi abbastanza complessi

Inoltre fare la analisi di spettro su un gran numero di cicli aumenta la precisione delle misure.

Aumentando il tempo di misura si fa la media degli errori e si ottiene un miglioramento della precisione. Raddoppiando il tempo si ottengono tre decibel in più e quadruplicandolo si ottengono sei decibel, i quali rappresentano un raddoppio della precisione.

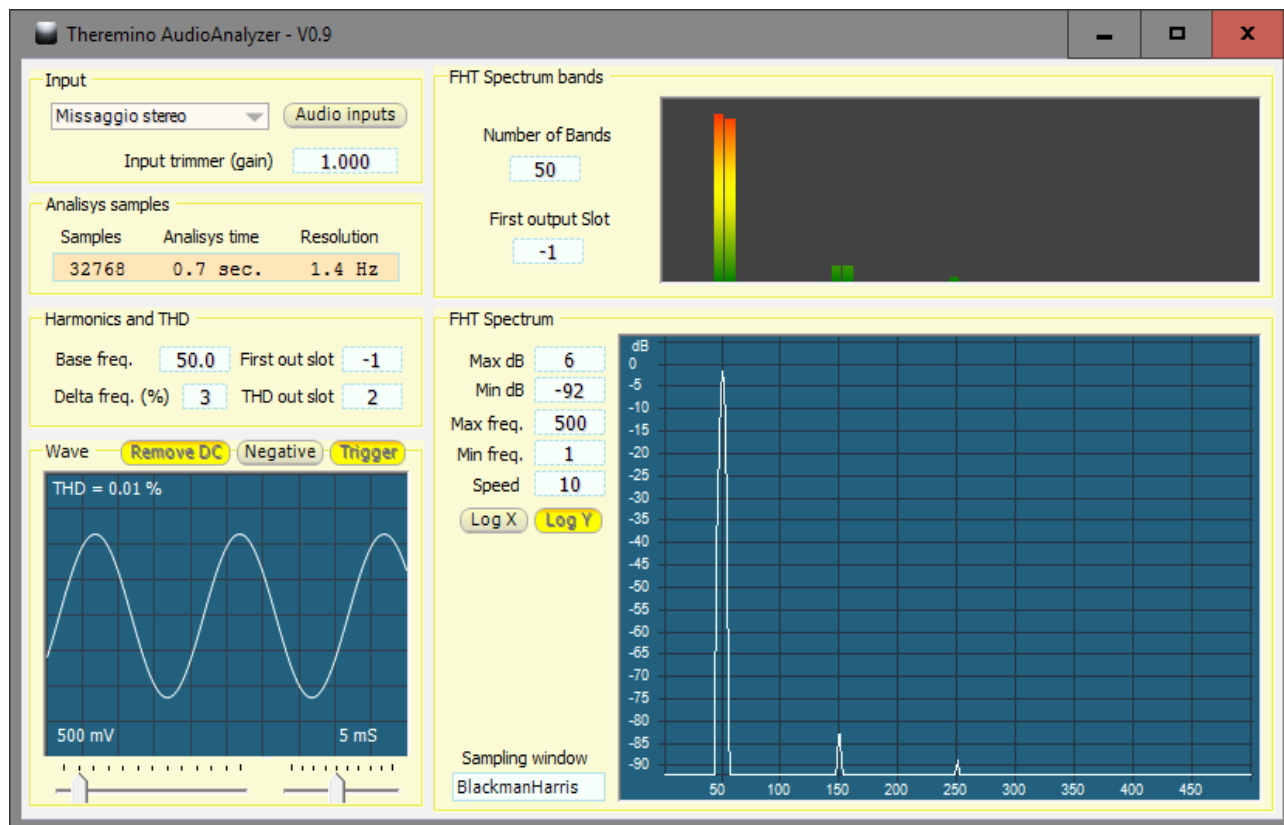
Con questa applicazione che utilizza segnali provenienti dalla scheda audio bastano tempi di misura intorno al secondo per ottenere una dinamica superiore ai 100 decibel che sono più che sufficienti per ogni misurazione



In questa immagine il tempo di misura è di 0.7 secondi e quindi le armoniche sono oltre 110 decibel sotto al livello della fondamentale e il tasso di distorsione misurato è dello 0.02%. Si possono ottenere livelli di distorsione così bassi solo con segnali molto puri, generati digitalmente ad esempio dalla applicazione Theremino AudioGenerator.

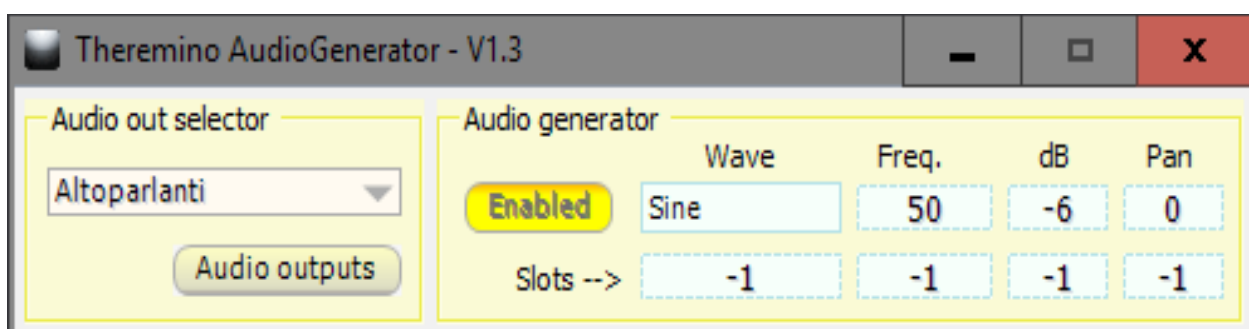
# I controlli della applicazione

Questa è una applicazione per misure speciali quindi le regolazioni sono complesse e poco intuitive. Se ci si perde è consigliabile ripristinare i controlli con i valori mostrati nelle immagini di questa pagina.



In questa immagine si vedono le regolazioni di base per analizzare un segnale periodico a 50 Hz.

Per generare un segnale di prova si può utilizzare la applicazione “Theremino AudioGenerator” con le impostazioni di questa immagine.

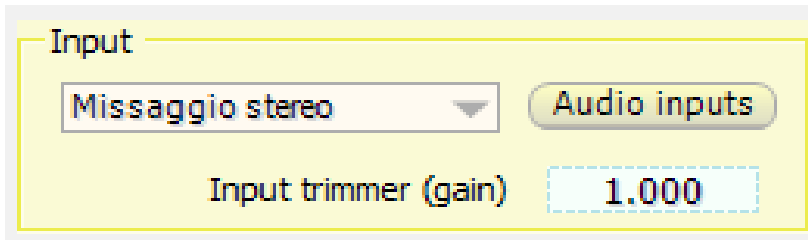


-----

Nelle prossime pagine i controlli della applicazione saranno spiegati uno per uno.

# Il pannello “Input”

Con questi controlli si definisce come leggere i segnale di ingresso.



- ◆ La casella sotto alla scritta “Input” permette di scegliere l'ingresso da utilizzare.

Il “Missaggio stereo” raccoglie tutti i suoni che vanno anche agli altoparlanti. Non è il metodo migliore per fare misure e non è presente su tutti i computer. Meglio utilizzare altri ingressi come spiegato nella prossima pagina.

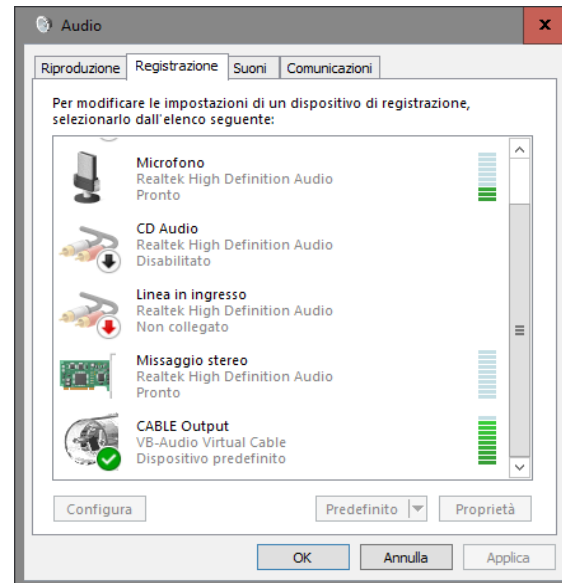


- ◆ Premendo il pulsante “Audio inputs” si accede velocemente alle regolazioni della scheda audio.

Selezionando i vari ingressi è possibile cambiare le loro proprietà e i livelli di amplificazione.

Fare particolarmente attenzione a disabilitare i controlli di guadagno automatico “AGC”, gli eventuali equalizzatori e ogni altro “Effetto”.

In Windows 7, 8 e 10 riducendo il controllo di registrazione al minimo il segnale non si azzerava. Questo consente di ottenere un punto di taratura ripetibile. Se si utilizzano altre posizioni si deve ricordare il valore da 0 a 100 utilizzato.

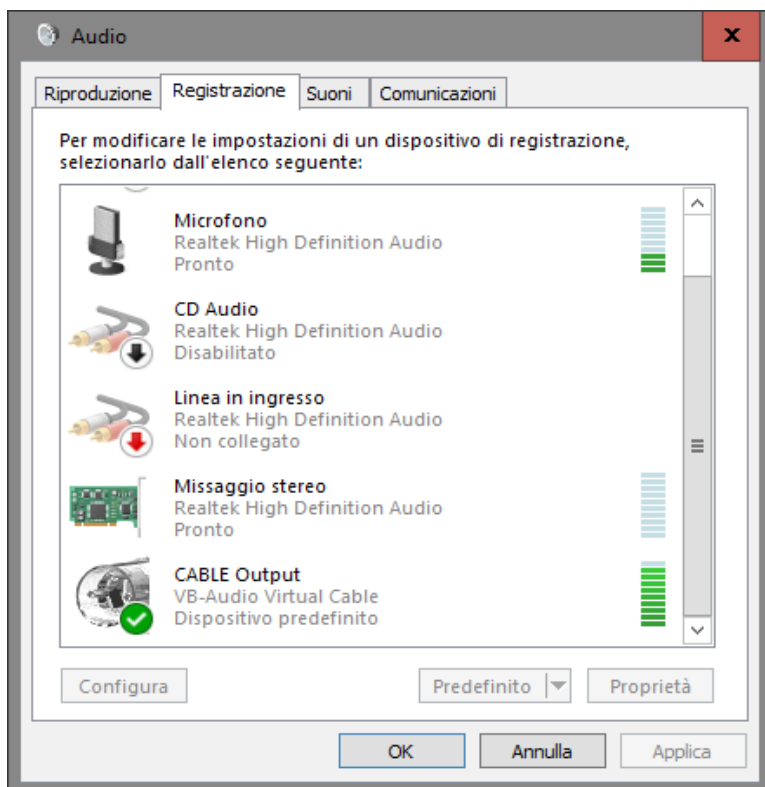


- ◆ La casella “Input trimmer (gain)” determina un coefficiente moltiplicativo che viene applicato al segnale di ingresso.

Normalmente si utilizza il valore “1” ma variando questo valore si può effettuare una taratura fine del sistema che sarebbe difficile se non impossibile da ottenere con i controlli di Windows.

Poniamo ad esempio che si misurassero sistematicamente valori inferiori al reale del 5%. Per correggere questo errore basterebbe impostare un valore del 5% superiore a 1, cioè 1.05

# Gli ingressi della scheda audio

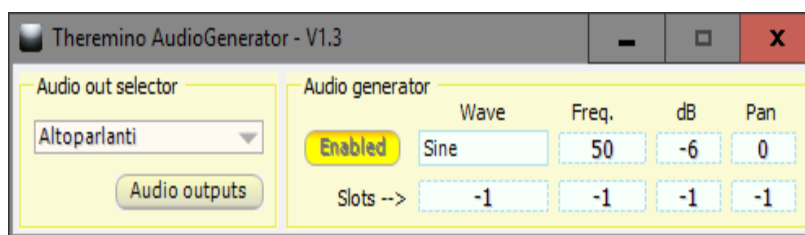


Non tutte le schede audio hanno l'ingresso "Missaggio stereo" (a volte chiamato "Quel che senti").

Alcune hanno solo l'ingresso "Microfono" ed è stabilmente collegato al microfono interno.

In questi casi non si potrà misurare niente e nemmeno fare delle prove. Per fare misure su segnali esterni si dovrà per forza aggiungere una scheda audio come spiegato nella prossima pagina.

Su tutti i PC, anche quelli che non dispongono di schede audio con ingressi esterni, si possono fare prove con un generatore di segnali (solitamente il Theremino AudioGenerator).



Per far comunicare più applicazioni una con l'altra (in questo caso AudioGenerator verso AudioAnalyzer) si deve usare il VB-CABLE [che si scarica da qui](#).

Dopo aver scaricato il file ZIP lo si scompatta in una cartella a piacere e si lancia il file "VBCABLE\_Setup.exe" oppure "VBCABLE\_Setup\_x64.exe" se il sistema operativo è a 64 bit.



## Quale scheda audio utilizzare

Se la scheda audio interna del PC dispone di un ingresso "AUX" o "LINE" allora la si può utilizzare. Le regolazioni di questi ingressi sono indipendenti da quelle che si usano normalmente in Windows e quindi è possibile mantenerle tarate con precisione.

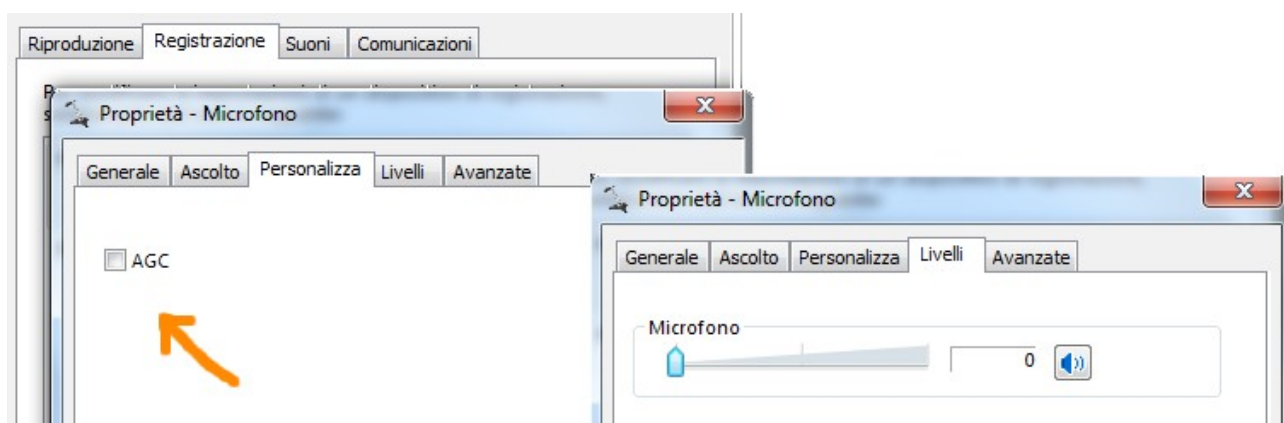
Altrimenti si consiglia di acquistare una scheda audio esterna.

Le schede che dispongono di ingresso "AUX" sono abbastanza costose ma si possono utilizzare le schede audio con ingresso per microfono come questa.



Queste schede vanno altrettanto bene di quelle più grandi ma sono comode e molto economiche, le si trovano su eBay per pochi Euro.

Se l'ingresso è per microfono regolare il "Livello" molto basso, anche a zero, per non farlo saturare con i segnali più alti. Se il segnale satura non si rompe niente ma le misure saranno sbagliate.



Fare anche attenzione che lo "AGC" sia disabilitato.

## Il pannello “Analisis samples”

Con questo unico controllo si sceglie il tempo di analisi.

Analisis samples		
Samples	Analisis time	Resolution
32768	0.7 sec.	1.4 Hz

Facendo click sulla zona azzurra si apre un menu a discesa dove si può scegliere il numero di campioni da utilizzare per la analisi di spettro.

Per comodità vengono anche listati il tempo di analisi e la risoluzione.

Il tempo di analisi varia tra 93 millisecondi e tre secondi. Maggiore è il tempo di analisi e maggiore è il rapporto tra segnale e rumore ottenibile. Ma dato che con usando una scheda audio il rapporto segnale rumore è sempre molto alto questa regolazione ha poca importanza.

Analisis samples		
Samples	Analisis time	Resolution
32768	0.7 sec.	1.4 Hz
131072	3 sec.	0.3 Hz
65536	1.5 sec.	0.6 Hz
32768	0.7 sec.	1.4 Hz
16384	370 mS	2.7 Hz
8192	186 mS	5.4 Hz
4096	93 mS	10.8 Hz

Il numero di campioni ha invece importanza sulla risoluzione. Se i campioni sono pochi la risoluzione va verso i 10 Hz e le righe dello spettro si allargano.

## Consigli per risparmiare lavoro alla CPU

Si consiglia di non impostare un numero di campioni inutilmente alto nella analisi di spettro perché si aumenterebbe il lavoro della CPU.

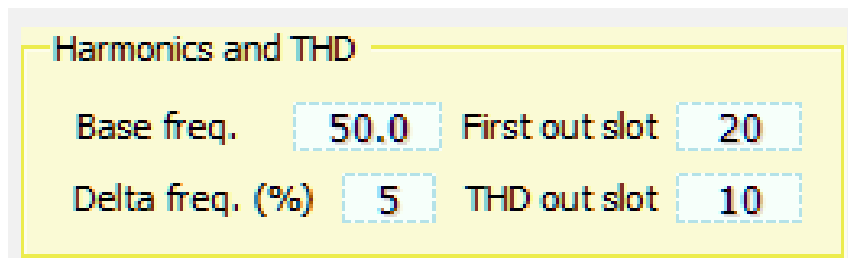
Se non è proprio necessario mantenere la finestra abbastanza piccola e evitare di tenere la applicazione aperta a tutto schermo.

Quando si utilizza questa applicazione per calcolare la distorsione per altre applicazioni è bene farla lavorare minimizzata in modo da risparmiare il tempo di calcolo necessario a rinfrescare continuamente i grafici.



## Il pannello “Harmonics and THD”

Con questi controlli si impostano i parametri per misurare il livello delle armoniche di una frequenza nota e il THD (tasso di distorsione armonica totale).



Harmonics and THD			
Base freq.	50.0	First out slot	20
Delta freq. (%)	5	THD out slot	10

- ◆ Nella casella “Base freq.” si imposta la frequenza del segnale da misurare, ad esempio 50 Hz nel caso della frequenza della rete elettrica Europea.

- ◆ Nella casella “Delta freq.” si imposta la tolleranza rispetto alla frequenza centrale.

Questo valore ha poco effetto sulle misure per cui una tolleranza del 5% dovrebbe andare bene in tutti i casi. In caso di segnali molto instabili si potrebbe aumentare questo valore fino al 10% o al 20%.

- ◆ “First output slot” è lo Slot dove viene scritto il valore misurato della armonica “0”, la componente continua. La armonica “1” è la fondamentale, 50Hz in questo esempio. **Se si imposta il valore “-1” allora gli Slot non vengono scritti.**

Le armoniche successive vengono scritte negli Slot successivi, fino ad arrivare alla massima frequenza “Max freq.” che si imposta nell'analizzatore di spettro. Il numero massimo di armoniche che vengono scritte è comunque limitato a 100.

I valori scritti negli Slot sono valori lineari relativi alla massima tensione. Ad esempio 1.0 nel caso della fondamentale di una sinusoide di massima ampiezza.

- ◆ Nello Slot indicato da “THD out slot” viene scritto il valore del tasso di distorsione armonica. **Se si imposta il valore “-1” allora lo Slot non viene scritto.**

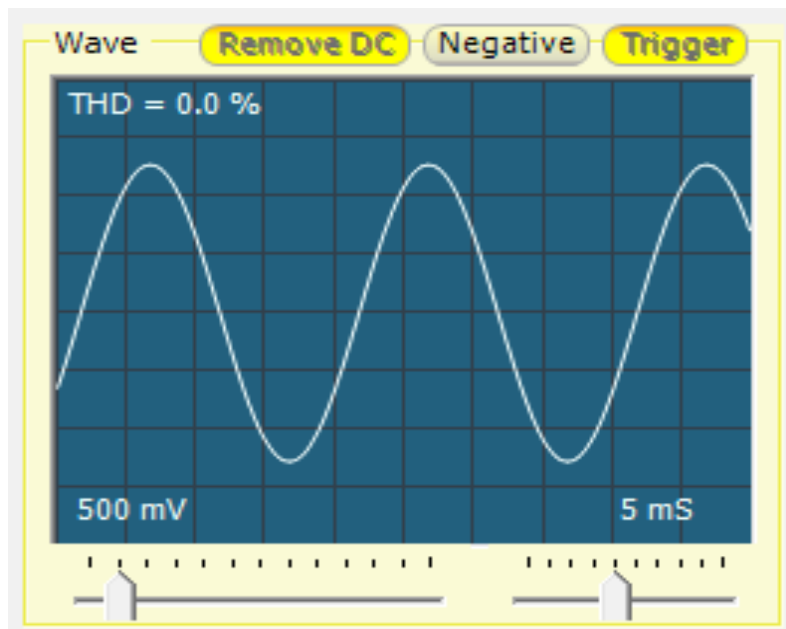
Questo valore viene calcolato facendo la radice della somma dei quadrati delle armoniche dalla seconda in poi, e infine dividendolo per il valore della prima armonica.

Il valore calcolato viene anche visualizzato nel pannello “Wave” che è illustrato nella prossima pagina.

Per maggiori informazioni sul calcolo della distorsione armonica leggere [questa pagina](#) e anche [Wikipedia](#).

## Il pannello “Wave”

Qui viene visualizzata la forma d'onda di ingresso in modo molto simile a un oscilloscopio.



Il pulsante “Remove DC” bilancia automaticamente il segnale, nel caso che la media del segnale non sia esattamente posizionata alla metà del campo di misura. Questo bilanciamento vale anche per le analisi di spettro e fa in modo che la armonica “zero” si azzeri completamente.

Il pulsante “Negative” inverte il segnale e ha solo un effetto visivo. Le analisi di forme d'onda periodiche non ne vengono influenzate.

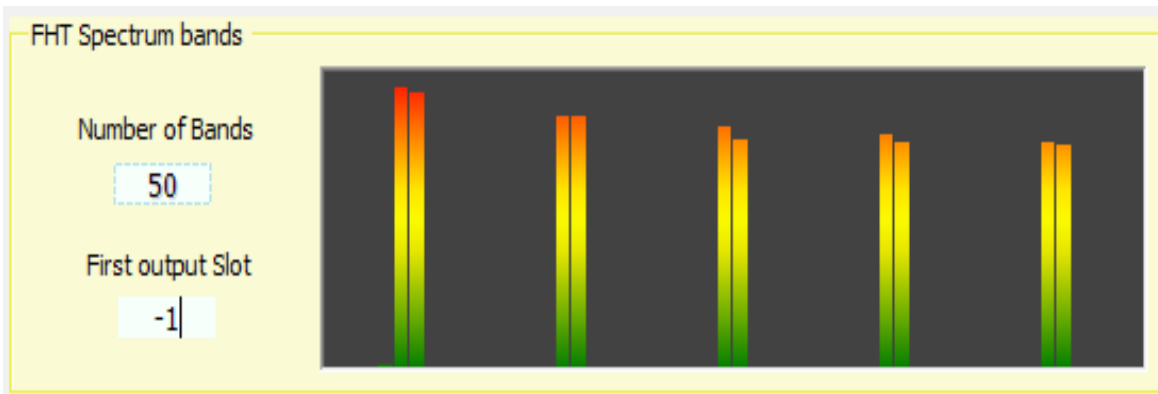
Il pulsante “Trigger” stabilizza la posizione orizzontale e fa in modo che (per quanto possibile), i cicli vengano continuamente ripresentati nella stessa posizione.

Il cursore in basso a sinistra regola la scala verticale (millivolt) e quello in basso a destra la scala orizzontale (millisecondi).

# Il pannello “Spectrum bands”

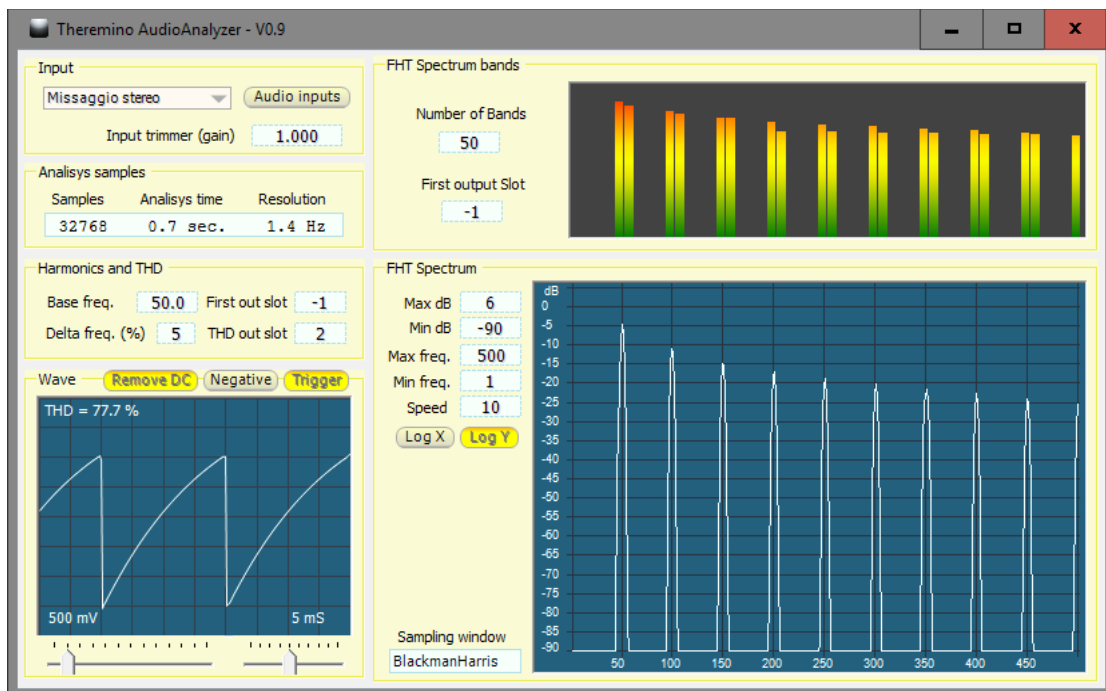
Questa è una versione ridotta della analisi di spettro visibile nella pagina seguente. Ogni banda raccoglie i valori di una fetta dello spettro in un singolo valore.

Il vantaggio di avere un numero limitato di bande, al posto di migliaia o decine di migliaia, è di facilitare le analisi eseguibili con altre applicazioni (ad esempio Excel).



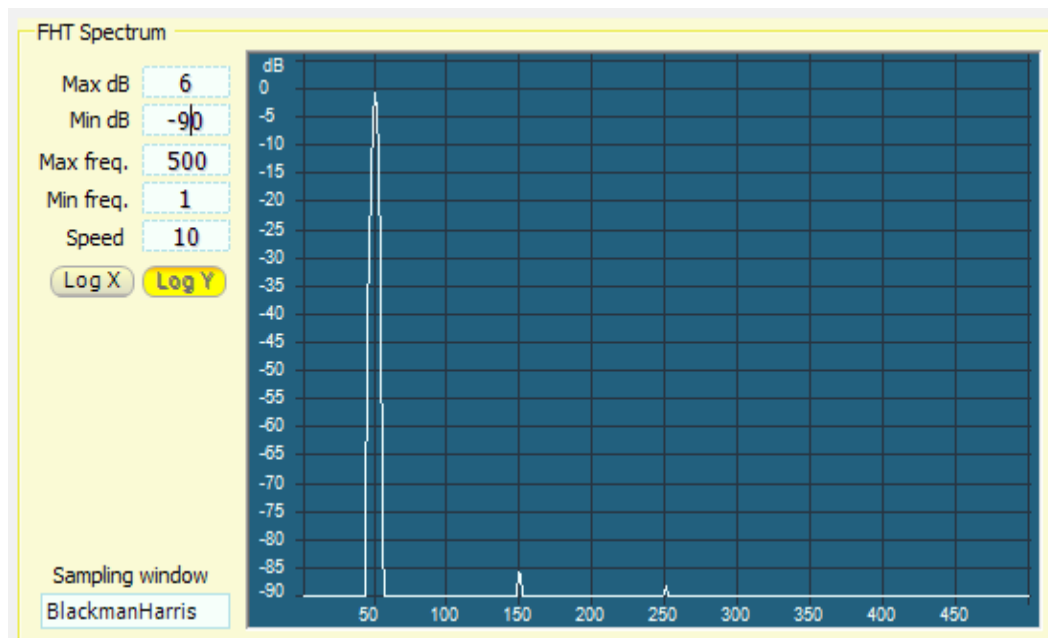
- ◆ Con la casella “Number of bands” si imposta il numero di bande da 1 a 100.
- ◆ Con la casella “First input slot” si imposta lo Slot dove verrà scritto il valore della prima banda. Le bande successive verranno scritte negli slot seguenti. **Se si imposta il valore “-1” allora gli Slot non vengono scritti.** I valori scritti negli Slot sono decibel, oppure tensioni in volt se “Log Y” è premuto.

Per analizzare il 50 Hz si consiglia di impostare 50 bande con MinFreq = 1 e MaxFreq = 500 e scala orizzontale non logaritmica, in questo modo le armoniche finiranno nelle bande 5, 10, 15, 20 e 25 ecc... come visibile nella immagine seguente.



## Il pannello “FHT Spectrum”

Questa è l'analisi di spettro del segnale. Per l'analisi viene usato l'algoritmo FHT (Fast Hartley Transform) in versione altamente ottimizzata. Possiamo quindi fare analisi su un numero elevato di campioni senza sovraccaricare la CPU.



- ◆ Con “Max dB” si regolano i decibel massimi visibili e quindi il limite alto della scala.
- ◆ Con “Min dB” si regolano i decibel minimi visibili e quindi il limite basso della scala.
- ◆ Con “Max freq” si regola la massima frequenza e quindi il limite destro della scala.
- ◆ Con “Min freq” si regola la minima frequenza e quindi il limite sinistro della scala.
- ◆ Con “Speed” si regola la velocità di aggiornamento.
- ◆ Premendo “Log X” la scala orizzontale diventa logaritmica.
- ◆ Premendo “Log Y” la scala verticale diventa logaritmica.
- ◆ Con “Sampling window” si scelgono le finestre di campionamento della analisi di spettro.

Gran parte di queste scelte ha solo uno scopo didattico. In questa applicazione le migliori finestre di campionamento sono “Hamming” e “Hanning” oppure, in alcuni casi, “Flat top” che migliora la precisione di misura della punta delle armoniche ma aumenta il rumore nella parte bassa dello spettro.

Hanning
BartlettHann
Hamming
Blackman
NuttallNarrow
Nuttall
BlackmanNuttall
BlackmanHarris
FlatTop

# Distorsione armonica

Per valutare la qualità della forma d'onda (in genere il 50 Hz della rete elettrica) si possono seguire vari metodi e utilizzare diversi parametri di valutazione.

In genere negli impianti elettrici si utilizza il “Fattore di cresta” che è il rapporto tra la punta più alta della forma d'onda (Valore di picco) e il valore efficace.

Il Fattore di cresta ha il vantaggio di esprimere sinteticamente quanto la forma d'onda si discosta da una senoide ma ha diversi difetti:

- ◆ Nel caso di una senoide perfetta questo fattore non vale uno ma la radice di due.
- ◆ Valori maggiori di 1.4 (radice di due) indicano una forma d'onda non perfettamente sinusoidale, ad esempio un'onda triangolare vale 1.7, ma lo stesso accade anche con valori minori, ad esempio un'onda quadra vale 1.
- ◆ Cambiando la fase tra le armoniche il Fattore di cresta cambia.
- ◆ Esistono forme d'onda con Fattore di cresta identico a quello di una senoide ma che non assomigliano per niente a una senoide.
- ◆ Calcolare il Fattore di cresta a partire dai valori delle armoniche richiede calcoli complessi che includono anche la fase delle singole armoniche.
- ◆ Il Fattore di cresta non è significativo per valutare gli effetti negativi sui componenti di un impianto elettrico, ad esempio il riscaldamento nei trasformatori causato dalle armoniche.

Fortunatamente esiste un altro parametro, altrettanto sintetico del Fattore di cresta, ma con molti vantaggi su di esso: la “Distorsione armonica”.

La Distorsione armonica è anche semplice da interpretare:

- ◆ Vale zero in caso di senoide pura.
- ◆ Vale il 100% quando la distorsione è così alta che la somma delle armoniche eguaglia la fondamentale.
- ◆ Un numero maggiore del 100% indica che le armoniche sono maggiori della fondamentale.

Inoltre la Distorsione armonica si calcola facilmente, basta fare la radice della somma dei quadrati di tutte le armoniche dalla seconda in poi e dividere questa somma per il valore della prima armonica. Per maggiori informazioni leggere [questa pagina di Wikipedia](#).

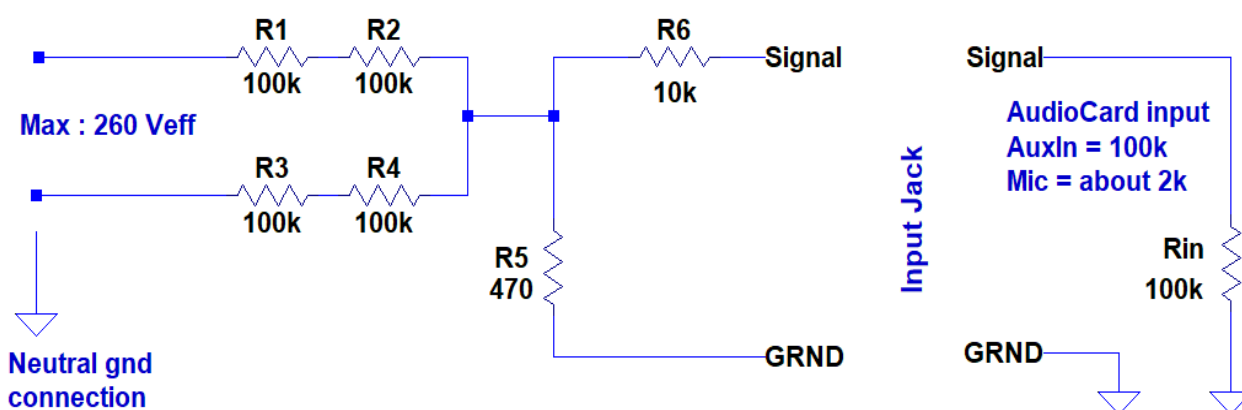
In definitiva la Distorsione armonica è un buon indicatore di quanto una forma d'onda si discosta dalla perfetta senoide. Invece il Fattore di cresta potrebbe ingannare.

# Adattatore per misurare il 220V della rete

Normalmente si penserebbe di interporre un trasformatore ma un trasformatore di misura dovrebbe essere costruito con tecniche speciali, altrimenti non si avrebbe un rapporto di divisione certo, si avrebbero perdite nel nucleo, capacità parassite e distorsione armonica.

Questo adattatore invece è molto preciso e può essere collegato direttamente all'impianto elettrico in tutta sicurezza, basta curare con attenzione l'isolamento della parte sinistra.

In altre parole i resistori R1, R2, R3 e R4 vanno disposti in modo che la parte sinistra (impianto elettrico), sia ben isolata dalla parte destra (collegata alla scheda audio).



Se l'unico percorso per la corrente sono i resistori R1, R2, R3 e R4 allora si ottiene una totale sicurezza, anche in presenza di tensioni istantanee di migliaia di volt.

I resistori R1, R2, R3 e R4 dovrebbero essere da un quarto di watt ma si potrebbero utilizzare anche modelli da mezzo watt o da un watt che sono più lunghi e garantiscono un isolamento maggiore. Non è necessario ma potrebbe essere utile per resistere anche ai peggiori temporali, con fulmini che farebbero fuori telefoni e modem.

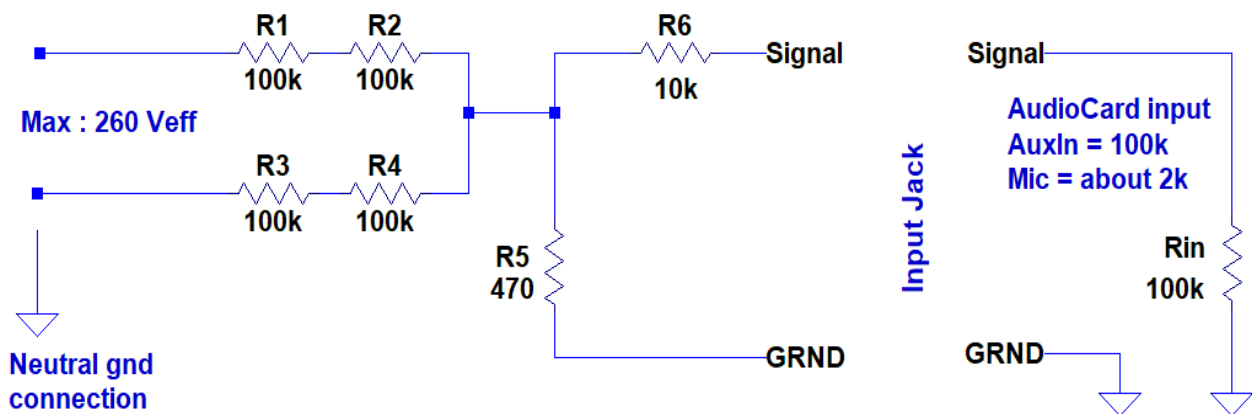
*Le tensioni istantanee tollerabili sono molto alte. Se R1..R4 resistono si possono applicare tensioni di decine di migliaia di volt senza nessun rischio. Naturalmente si parla di extratensioni di breve durata perché altrimenti i resistori R1..R4 scalderebbero e si brucerebbero. In ogni caso questi resistori fungono da fusibile e i componenti successivi non vengono danneggiati. I tutti i casi la corrente che può andare verso la parte destra non supera mai le decine di milliamper e i diodi di protezione dell'ingresso delle schede audio li tollerano senza difficoltà.*

## Collegamenti di terra

Questo circuito funzionerà solo se il computer è collegato a terra e se anche il neutro dell'impianto elettrico lo è. Se non si effettua questo collegamento non ci saranno pericoli per la sicurezza ma le misure saranno notevolmente sbagliate e instabili.

Alcuni Notebook hanno l'alimentatore senza il collegamento di terra, in questi casi si dovrebbe collegare la massa alla terra dell'impianto elettrico. Il punto migliore è la massa dei connettori USB.

# Calcolare il rapporto di divisione



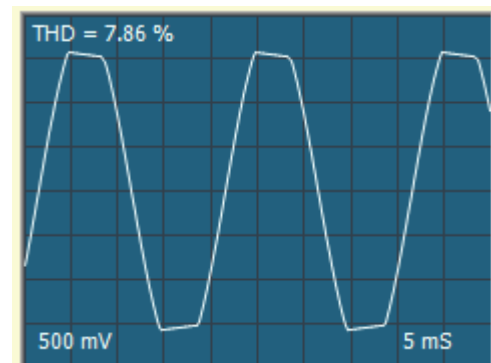
Con i valori di questo schema la massima tensione misurabile è di circa 300 volt ac.

Volendo misurare il 380 o tensioni più alte basta aggiungere altri resistori da 100 k con quattro resistori per ramo si possono misurare tensioni fino a 600Vac e oltre.

Queste sono le tensioni massime di sicurezza (di grande sicurezza, si potrebbe raddoppiarle senza danni) ma la tensione massima dipende dal livello a cui avviene la saturazione dell'Adc.

Superando il livello di saturazione si produce una "tosatura" caratteristica delle forme d'onda.

Bisogna tenersi al di sotto di questo livello con un certo margine per non rischiare errori di misura.



## Rapporti di divisione

Il circuito si comporta come un partitore che divide la tensione di rete e la fa rientrare nel range di tensioni misurabili che è circa 2 volt picco picco al massimo.

Però questa tensione di 2 volt picco picco può variare moltissimo regolando i controlli di Windows e varia anche a seconda della impedenza di ingresso dell'ingresso che si utilizza.

Se si utilizza ad esempio un ingresso per microfono la sua impedenza molto bassa riduce il segnale di una ventina di decibel e questo è un bene perché gli ingressi per microfono sono più sensibili e saturano facilmente.

In conclusione non c'è un modo di calcolare la sensibilità degli ingressi, bisogna provare con la propria scheda audio e alzare le regolazioni fino alla saturazione e poi tornare un po' indietro per avere un margine di sicurezza.

# Conclusioni

Abbiamo presentato un metodo per misurare la distorsione e altri parametri di un segnale ripetitivo.

Questa applicazione è ottima per misurare la qualità della forma d'onda di uscita dei sistemi UPS a 50 Hz, ma può misurare con grande precisione anche a frequenze più alte.

In compenso il limite basso della banda passante non si estende fino alla continua e si ha una minore flessibilità rispetto alla applicazione WaveAnalyzer.

Con questa applicazione non è possibile impostare lo Slot di ingresso per cui l'ingresso è sempre l'unico ingresso della scheda audio.

Nel caso si volessero misurare più segnali si potrebbe utilizzare il [modulo multiplexer](#). Con soli tre Pin del Master si potrebbero scegliere fino a otto ingressi. Attenzione però che questo modulo lavora bene solo con segnali positivi, quindi per evitare di tosare le semionde negative si dovrà aggiungere un condensatore da 10 uF in serie a ogni ingresso e uscita. I migliori sarebbero i ceramici SMD che costano pochissimo, sono piccoli e non sono polarizzati. Se al loro posto si usano condensatori elettrolitici allora vanno collegati con il positivo verso il modulo multiplexer.