

SVILUPPO DI PROCEDURE DI MISURA COMPLESSE BASATE SU TONE BURSTS

Mauro Bigi (1), Maurizio Jacchia (1), Daniele Ponteggia (1)

1) Audiomatica, Firenze

1. Introduzione

I sistemi elettro-acustici durante il loro utilizzo sono sollecitati con segnali di grande ampiezza e breve durata (tipico andamento del segnale musicale), al contrario dei segnali comunemente utilizzati per i test sugli stessi, che sono invece tipicamente di ampiezza limitata o di durata non limitata.

Sia gli altoparlanti che gli amplificatori, ad esempio, sono in grado di produrre dei livelli di picco ben oltre le loro capacità di riprodurre segnali stazionari.

Tramite l'utilizzo di treni di sinusoidi (tone bursts) è possibile ottenere delle stime delle prestazioni "dinamiche" di sistemi elettro-acustici, quali ad esempio il massimo livello di output (MOL). Sull'impiego di tone-bursts per il test di apparecchiature elettro-acustiche esistono molti riferimenti in letteratura, tra questi sono da citare sicuramente gli articoli di Linkwitz [1], Buck [2], Keele [3] e Waslo [4].

Recentemente è stato pubblicato uno standard ANSI/CEA-2010 [5] per la misurazione del livello di pressione sonora massimo per subwoofer amplificati che fa utilizzo di un particolare treno di sinusoidi, come già proposto in precedenza da Keele.

In questo lavoro verranno presentate le caratteristiche dei segnali di tipo burst ed una loro applicazione di misura reale, basata sul sistema di misura Audiomatica CLIO.

2. Finestratura temporale segnale sinusoidale

Il singolo tono sinusoidale "stazionario" ha una durata infinita, se si analizza la sua trasformata nel dominio della frequenza la singola senoide appare come una singola riga spettrale.

In realtà nei sistemi di analisi digitali basati sul campionamento dei segnali, ci si limita ad analizzare una porzione del segnale, tipicamente di durata pari ad un numero di campioni che sia una potenza del 2. Questo permette di farne l'analisi in frequenza tramite la FFT, se la senoide ha una frequenza pari ad una delle righe spettrali della FFT vedremo nel grafico del modulo della stessa una singola riga spettrale, come nel caso "perfettamente" stazionario (Figura 1).

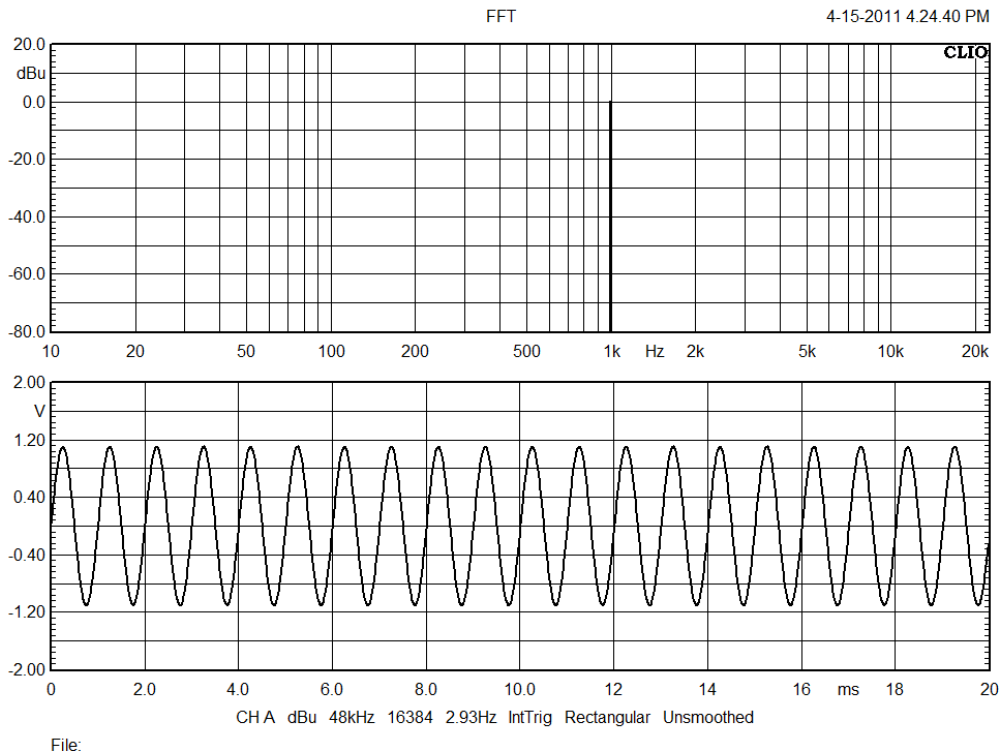


Figura 1 – Sinusoide 1 kHz non finestrata

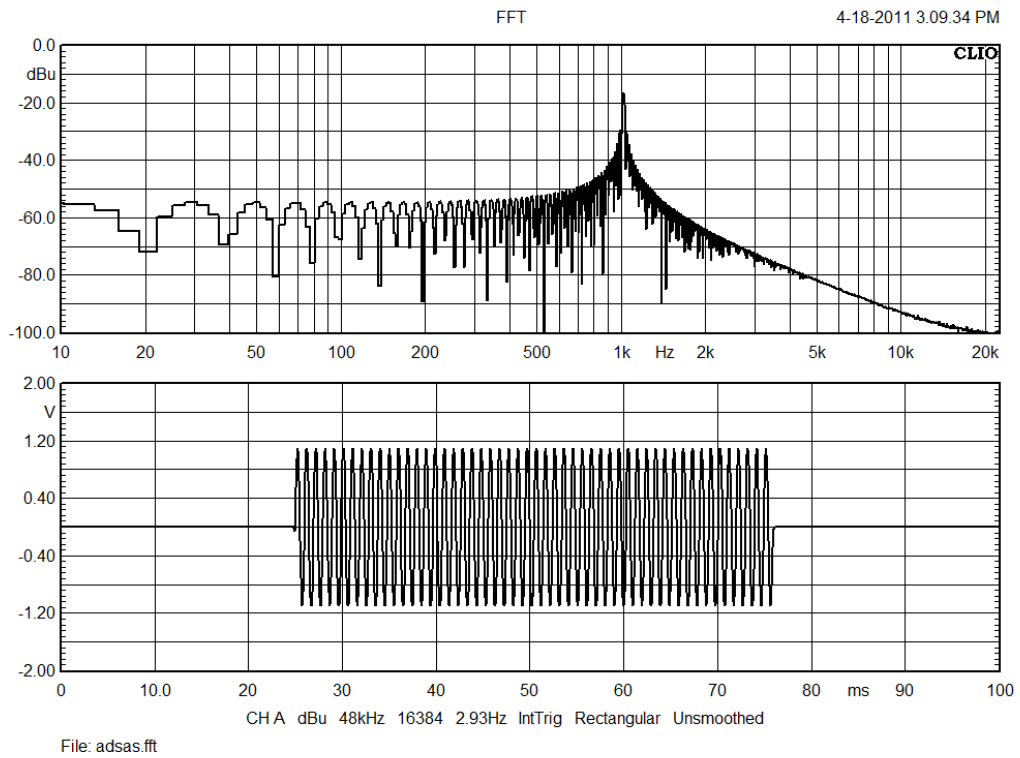


Figura 2 – Sinusoide 1 kHz, finestratura rettangolare, durata 50 ms

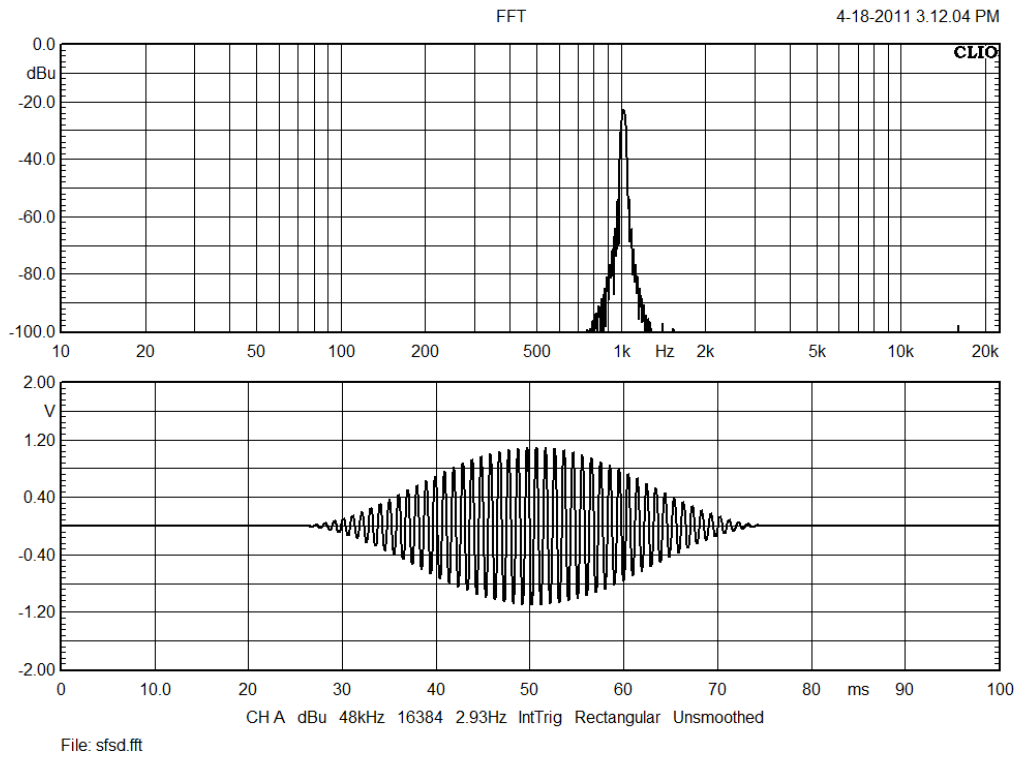


Figura 3 – Sinusoide 1 kHz, finestra hanning, durata 50 ms

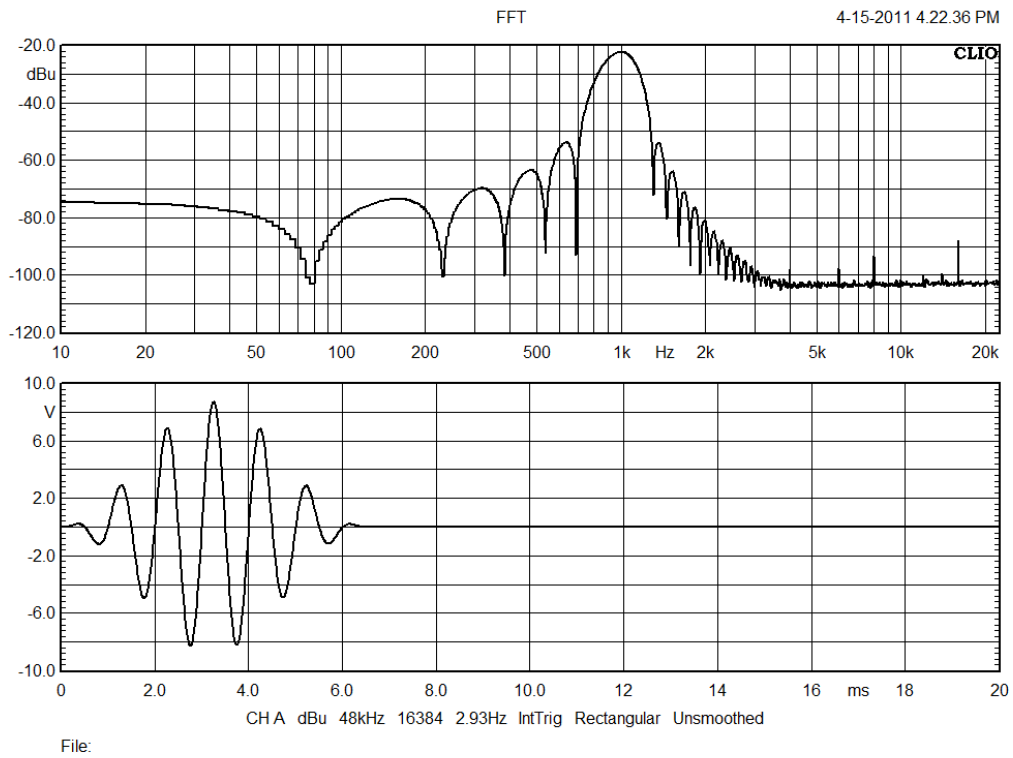


Figura 4 – Sinusoide 1 kHz con finestra Hanning, durata 6.5 cicli

Se si effettua una finestra temporale di una sinusoidale, per il noto rapporto banda/durata, se ne allarga lo spettro. Ovviamente più è breve la finestra temporale e maggiore sarà l'allargamento spettrale. Nel caso di finestra rettangolare otterremo la convoluzione tra lo spettro della singola sinusoidale (riga) e quello con andamento sinc del rettangolo, con il classico andamento a lobi (Figura 2).

La finestra nel tempo del segnale permette inoltre di alzare il fattore di cresta totale del segnale, il fattore di cresta è definito come il rapporto tra il valore di picco del segnale ed il suo valore efficace:

$$CF = 20 \log_{10} \left(\frac{|x_{peak}|}{x_{rms}} \right) \quad (dB)$$

Keele propone di finestrare la sinusoidale con una finestra di tipo Hanning della durata di 6.5 cicli del tono generato, in questo modo si ottiene una larghezza di banda per lo spettro generato di circa 1/3 di ottava, e l'andamento della finestra di Hanning garantisce un livello di lobi secondari piuttosto limitato (Figure 3 e 4).

L'equazione del burst da 6.5 cicli è riportata di seguito:

$$f(t) = \begin{cases} \left(1 - \cos \frac{(2\pi f_0 t)}{6.5} \right) \frac{\sin(2\pi f_0 t)}{2} & \text{per } 0 \leq t \leq \frac{6.5}{f_0} \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

Ad esempio nella figura 4 è riportata la FFT e la forma d'onda di un burst da 6.5 cicli ad 1 kHz. Si noti come in effetti l'occupazione di banda sia di circa 1/3 di ottava. Il fattore di cresta del segnale, solo riferito alla parte compresa nei 6.5 cicli è di circa 7.3 dB, se si considera l'intera durata del segnale il fattore di cresta è più elevato dato l'aumento di durata ma non di energia.

Alcuni autori sono critici rispetto alla scelta di Keele della durata dei 6.5 cicli, in quanto in questo modo la forma d'onda si presenta asimmetrica in ampiezza, ma simmetrica nel tempo. Nel caso in cui il segnale burst debba essere utilizzato per misurare la distorsione è preferibile avere una simmetria dell'ampiezza in modo da eccitare fenomeni non lineari in modo identico sia nel verso positivo che quello negativo, viceversa se il burst viene utilizzato per identificare dei comportamenti nel dominio del tempo, il singolo picco di energia può risultare utile. Comunque il passaggio da 6.5 a 7 cicli non comporta che piccole differenze a livello di spettro, ed il numero di cicli è un compromesso tra durata massima del segnale alla frequenza più bassa generata e larghezza di banda dello spettro. La durata massima del segnale è funzione del tipo di misurazione che si vuole realizzare, secondo vari riferimenti si passa da 10 ms per il test di potenza EIAJ per gli amplificatori, fino a valori di 500 ms dichiarati di Meyer [6].

Sulla base delle caratteristiche del segnale burst con finestra Hanning da 6.5 cicli, Keele propone di sintetizzare un segnale multi-tono sommando più toni, ad esempio con frequenze di 31.5, 40, 50, 63 ed 80 Hz, come risultato si ottiene un segnale molto simile ad un colpo di cassa di batteria che può essere utilizzato per testare "ad orecchio" il massimo livello di output raggiungibile da un altoparlante subwoofer prima che la distorsione diventi udibile. Attraverso un algoritmo di sintesi piuttosto semplice che ottimizza il modulo dello spettro del multitono è possibile realizzare segnali di test molto efficaci (Figura 5).

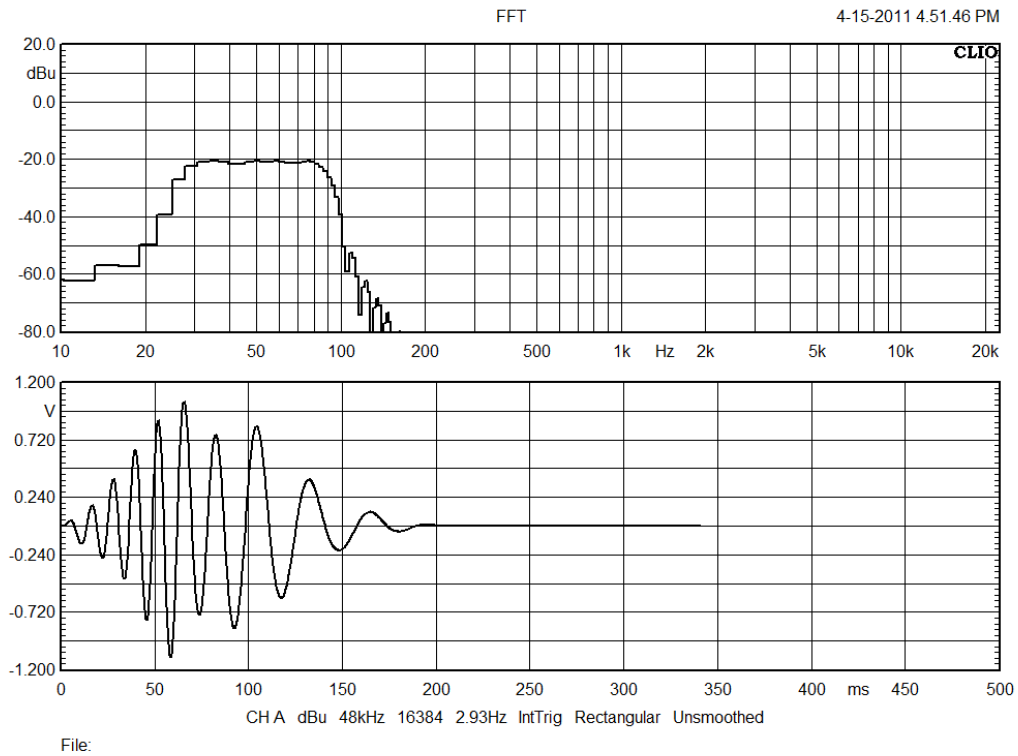


Figura 5 – Multitono bande 1/3 ottava da 31.5 Hz ad 80 Hz

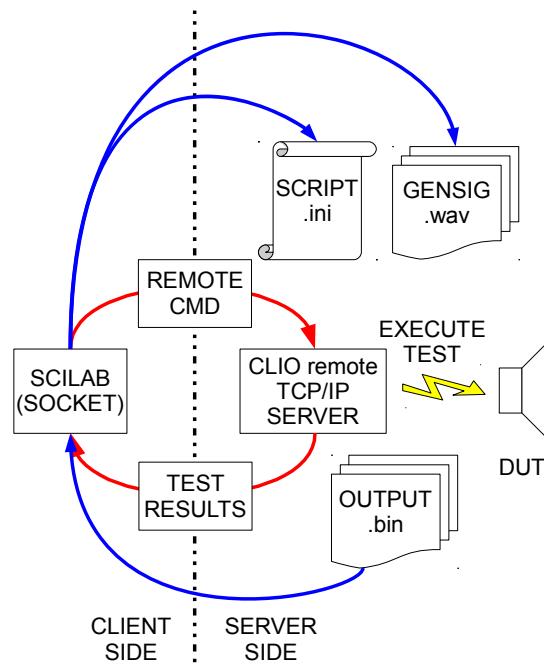


Figura 6 – Struttura Client/Server di Scilab e CLIO remote

3. Misurazioni di distorsione armonica ad alti livelli

Il test proposto da Keele e riportato nel paragrafo precedente non permette però di valutare in modo se non qualitativo il livello di distorsione raggiunto. Al fine di poter calcolare la distorsione armonica occorre utilizzare singole sinusoidi con una finestrazione di 11 cicli, valore stabilito sulla base dell'esperienza pratica come giusto compromesso tra durata del segnale e banda.

Al fine di rendere il più possibile automatica la procedura di misurazione, è stata creata una versione sperimentale del software Audiomatica CLIO 10 che ne permette lo scripting via TCP/IP. In breve è stato realizzato uno script Scilab che invia dei comandi al software CLIO e che riceve dallo stesso i risultati dell'acquisizione effettuata, uno schema a blocchi del funzionamento è riportato in figura 6.

La struttura dello script Scilab è piuttosto semplice, se ne riporta una versione qui abbreviata in pseudo-codice:

```
FOR ogni frequenza da misurare
  genera il segnale sinusoidale con finestrazione
  WHILE limiti di dist. e tensione max di uscita non superati
    effettua una misurazione
    calcola e memorizza livello
    calcola e memorizza distorsione
    aumenta livello uscita
  END WHILE
END FOR
```

Alla fine della procedura si hanno a disposizione in memoria due matrici che contengono il livello di pressione sonora e la distorsione in funzione del livello di uscita del sistema di misura e della frequenza. Sulla base di questi dati è possibile calcolare indici come Maximum Input Level MIL o Maximum Output Level MOL oppure rappresentare la distorsione nel piano frequenza-livello di uscita (figura 7).

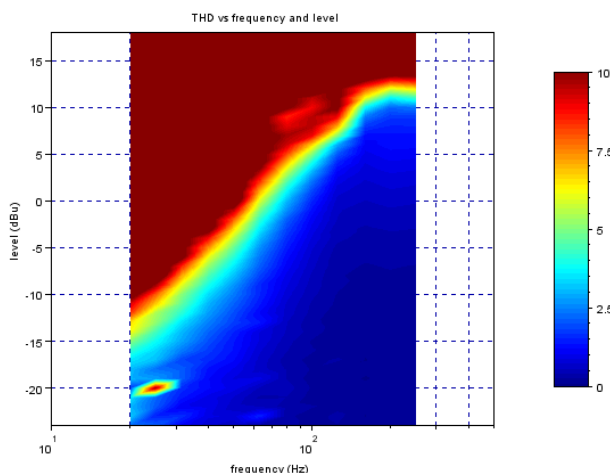


Figura 7 – Distorsione in funzione di frequenza e livello di pilotaggio di un altoparlante

4. Implementazione test ANSI/CEA-2010

Il test ANSI/CEA-2010 è un metodo standardizzato per valutare il livello di uscita massimo di subwoofer amplificati. Si basa sul segnale sinusoidale con finestra Hanning da 6.5 cicli e prevede le frequenze di test di 20, 25, 31.5, 40, 50 e 63 Hz.

Invece di calcolare la distorsione armonica in termini di un singolo indice come ad esempio il THD, lo spettro misurato viene confrontato con una finestra funzione della frequenza. In pratica vengono pesate le singole armoniche ed in più viene valutato il rumore di fondo.

La misurazione viene realizzata tipicamente in ground plane, ad una distanza di non meno di un metro. La norma specifica tutta una serie di condizioni per il contesto di misura che devono essere verificate.

Con la stessa tecnica indicata in precedenza, è stato realizzato uno script Scilab che controlla CLIO via TCP/IP e provvede in maniera automatica ad effettuare il test. Lo script ha il seguente pseudo-codice:

```
FOR ogni frequenza da misurare
  genera il segnale sinusoidale con finestatura
  WHILE limiti di distorsione non superato
    effettua una misurazione
    calcola e memorizza livello
    verifica distorsione con finestatura ANSI/CEA-2010
    aumenta livello uscita
  END WHILE
END FOR
```

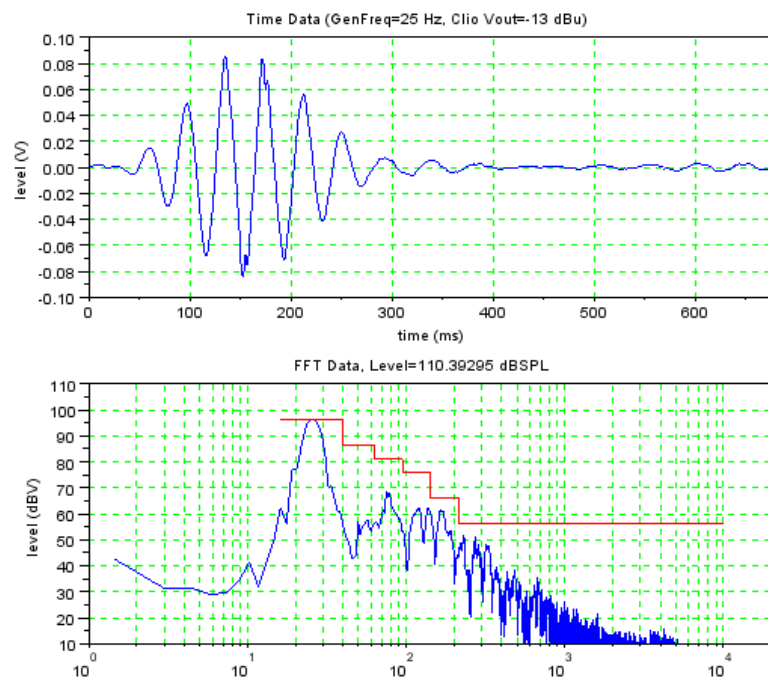


Figura 8 – Test ANSI/CEA-2010 forma d'onda e spettro misurati

Una volta terminato lo script si hanno a disposizione i valori del livello di pressione sonora massimi raggiungibili dal subwoofer.

Nel nostro laboratorio abbiamo testato la procedura su un subwoofer attivo Ace-Bass modello B2-50, data l'impossibilità di rispettare le distanze di misurazione ri-

chieste dallo standard ANSI/CEA-2010, il microfono è stato posizionato a circa 30 cm dalla cassa.

Il test ha impiegato circa 2 minuti per il completo svolgimento (test esteso fino a 100 Hz), ed una volta lanciato non ha avuto alcuna necessità dell'intervento dell'operatore.

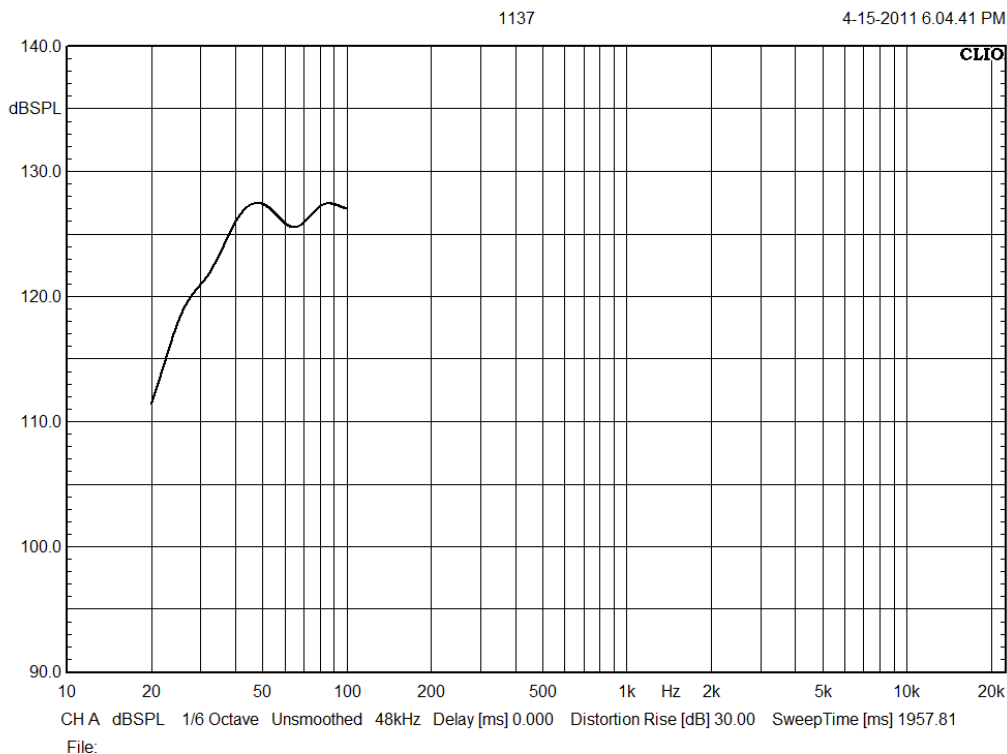


Figura 9 – Risultato test ANSI/CEA-2010 esteso fino a 100 Hz

5. Conclusioni

L'utilizzo di segnali di tipo burst coniugato alla flessibilità di un ambiente matematico di programmazione (Scilab) e di uno strumento di misura programmabile (CLIO) permette di creare delle procedure di misura di dispositivi elettro-acustici molto interessanti che vanno ben oltre quelle offerte dal sistema di misura utilizzato.

6. Bibliografia

- [1] Linkwitz S., *Shaped Tone Burst Testing*, JAES, Vol. 28, No. 4 (1980), pp. 250-258
- [2] Buck M., *Testing Loudspeakers with Wavelets*, 109th AES Convention (2000)
- [3] Keele D., *Development of Test Signals for the EIA-426-B Loudspeaker Power Rating Compact Disk*, 111th AES Convention (2001)
- [4] Waslo B., *Determining the Peak Sound Level Capability of Loudspeakers and Sound Systems*, 117th AES Convention (2004)
- [5] ANSI/CEA Standard, *Standard Method of Measurement for Powered Subwoofers ANSI/CEA-2010*, (2006)
- [6] Meyer J., *Making Sense of Amplifier Power Ratings*, Meyer Sound Technical Note (2005)