

## **Alcuni attributi degli altoparlanti a fase lineare**

**Compilato da Bohdan Raczynski, ottobre 2012**

### **introduzione**

Fonte: <http://www.kfs.oeaw.ac.at/content/blogcategory/0/378/>

“...Le prime ricerche psicoacustiche suggerirono che il sistema uditivo umano è insensibile alle differenze nelle fasi relative delle componenti spettrali di un suono multicomponente. Tuttavia, la ricerca degli ultimi due decenni fornisce la prova che gli ascoltatori possono rilevare differenze di fase tra i componenti dello stimolo che interagiscono all'interno di un singolo filtro uditivo. La dimostrazione più impressionante della sensibilità di fase è data dall'effetto di mascheramento di fase, cioè la variazione di oltre 20 dB nell'effetto di mascheramento causato da un complesso armonico al variare delle relazioni di fase tra i suoi componenti. Questo paradigma di mascheramento è ampiamente utilizzato per ottenere una misura psicoacustica della risposta di fase della coclea...”.

Devo ammettere che non sapevo della ricerca di cui sopra e dei suoi risultati. Ho cercato su Internet per circa un anno prima di imbattermi nelle semplici informazioni di cui sopra. C'è anche molto di più. Ora, mi sono reso conto, c'è un volume di risultati di ricerca che indica chiaramente che invece di chiedere "la distorsione di fase è udibile?" ora dovremmo porci la domanda "come si manifesta la distorsione di fase?".

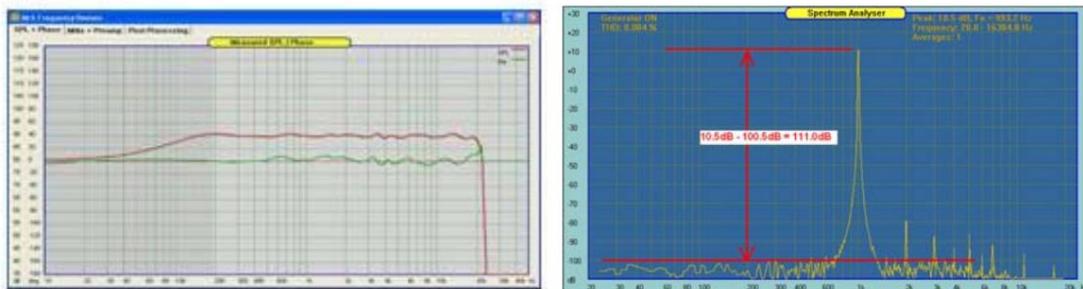
Ingenuamente, e senza alcuna precedente esperienza su come avrei dovuto effettivamente farlo, ho condotto i miei test di ascolto confrontando il suono degli altoparlanti tradizionali a fase minima con il suono degli altoparlanti a fase lineare. Sto parlando qui di un altoparlante acustico a fase lineare. Durante i miei brevi test iniziali di ascolto sugli altoparlanti a fase lineare, sono rimasto sorpreso da quanto fosse indifferente la modalità a fase lineare al mio orecchio.

Allora stavo facendo la cosa giusta? Questo risultato ha sicuramente richiesto ulteriori indagini su materiale d'ascolto molto più vario.

### **Abitudini di ascolto**

Tradizionalmente, quando ascolto la qualità del suono riprodotto dalla mia apparecchiatura di riproduzione audio, mi concentro sul bilanciamento tonale (risposta in frequenza), sulla dinamica del suono (SNR), sul rumore di fondo residuo (non udibile), sulla distorsione (non udibile).

È interessante notare che tutte le caratteristiche di cui sopra possono essere valutate e visualizzate nel dominio della frequenza. Era semplicemente il modo più semplice per ascoltare il suono e valutare ciò che stavo ascoltando, ma ora mi rendo conto che stavo considerando solo l'analisi dello stato stazionario nel dominio della frequenza - vedi le immagini sotto.



Risposta in frequenza, distorsione, dinamica e rumore di fondo: tutto nel dominio della frequenza.

Stavo facendo lo stesso tipo di analisi più e più volte per anni e mi sono abituato a questo rituale. È stato facile confrontare i risultati misurati, quindi mi è sembrato comodo poter correlare le mie misurazioni con ciò che posso facilmente sentire (o non posso sentire).

Di recente, le cose sono cambiate per me. Mi sono imbattuto in un semplice foglio, [http://www.audiophilerecordingstrust.org.uk/articles/speaker\\_science.pdf](http://www.audiophilerecordingstrust.org.uk/articles/speaker_science.pdf) che mi ha ispirato a dare uno sguardo più completo ai miei test di ascolto. Dopo aver letto il documento, ho riesaminato le informazioni da altre risorse Internet e, di conseguenza, sono giunto alla conclusione che i miei test di ascolto erano solo un punto di partenza di ciò che avrei dovuto ascoltare esaminando i diffusori a fase lineare.

Per dirla semplicemente, avevo bisogno di estendere significativamente la valutazione delle caratteristiche nel dominio del tempo dell'altoparlante nelle mie abitudini di ascolto.

Nelle brevi conclusioni dei miei brevi test di ascolto iniziali presentati in [http://www.bodziosoftware.com.au/Home\\_Theatre\\_Conclusions.pdf](http://www.bodziosoftware.com.au/Home_Theatre_Conclusions.pdf) ho evidenziato una differenza percettibile: mi sentivo più vicino al palco/ai musicisti. Questa è stata più un'impressione accidentale e inaspettata, alla quale non ho prestato molta attenzione. Ma questo in effetti si riferisce alle caratteristiche nel dominio del tempo di un altoparlante, piuttosto che nel dominio della frequenza.

Sì, a quanto pare, ho coperto solo la metà di quello che avrei dovuto essere prestando attenzione a. E il documento sopra menzionato me lo ha reso sorprendentemente chiaro.

### **Nuove abitudini di ascolto**

La parte rimanente di questo articolo è il mio grossolano tentativo di riassumere gli attributi udibili degli altoparlanti a fase lineare. Questo è ciò che devi ascoltare quando valuti gli altoparlanti a fase lineare. Non pretendo che l'elenco sia completo, ma è un inizio. Indica chiaramente le caratteristiche nel dominio del tempo dell'altoparlante, e questo è qualcosa a cui molti di noi (fino a poco tempo fa, me compreso) non erano abituati. Semplicemente non sapevo cosa ascoltare.

Di seguito, presento l'"attributo/i designato/i", mostrando la fonte, seguita da una breve descrizione della fonte.

## 1. Bassi più stretti

## 2. Scena sonora più ampia e profonda (abbastanza drammatica)

Fonte: <http://redspade-audio.blogspot.com.au/2012/03/bathurst-2011-audio-event-of-year.html>

DEQX demo

"...Un punto culminante di quest'anno è stata una demo delle capacità di DEQX. Ciò è nato dalle discussioni sui miei confronti di ascolto crossover attivo, in cui un piccolo gruppo non ha potuto sentire alcun miglioramento con DEQX. Terry ha sostenuto che abbiamo reso stupido il DEQX e gli abbiamo impedito di mostrare cosa può fare. Questo è certamente vero, volevamo solo testare la qualità del suono ea questo proposito non abbiamo trovato motivo di spendere di più rispetto alle opzioni più economiche. Tuttavia, Terry ha creato una demo in cui sono stati creati due profili su DEQX. Uno era limitato alla potenza di elaborazione di MiniDSP e DCX. L'altro ha permesso a DEQX di pavoneggiarsi. In particolare, era consentito correggere il ritardo di fase e di gruppo. Abbiamo quindi testato alla cieca questo con commutazione istantanea, non sapendo cosa si stava ascoltando. Sono stato il primo a sedermi sulla sedia e fare la demo e molto presto non ho avuto bisogno che mi dicessero quale fosse quale, perché la differenza era evidente.

Modifiche rilevate con DEQX:

bassi molto più stretti

palcoscenico sonoro più ampio e profondo (abbastanza drammatico)

Entrambi avevano un livello base di allineamento temporale con i ritardi digitali. Entrambi sono stati abbinati in livello e in risposta da vicino. Queste differenze erano correlate alla correzione del ritardo di gruppo. **Senza di esso, il suono era piatto e quasi senza vita in confronto.**

Poi ho guardato mentre gli altri sedevano durante la demo, ognuno notando le stesse differenze, differendo solo per la quantità di tempo impiegata prima di dichiarare ciò che hanno sentito...

Personalmente, posso testimoniare i bassi più stretti udibili durante la modalità a fase lineare. Faccio funzionare grandi subwoofer da 18"/ventilati, sintonizzati a 20Hz. Riproducendo suoni impulsivi, in modalità a fase minima, i sottotitoli vanno oltre e quindi aggiungono e prolungano lo squillo, superando segnali ripidi e simili a impulsi. Questa flaccidità indesiderata è purtroppo udibile in modalità fase minima su segnali impulsivi a bassa frequenza. [http://www.bodziosoftware.com.au/LP\\_MP\\_Subwoofer\\_Tests.pdf](http://www.bodziosoftware.com.au/LP_MP_Subwoofer_Tests.pdf)

---

Tuttavia, in modalità fase lineare, il pugno è ancora profondo, ma stretto, senza i "secondi suoni".

### 3. Realismo

Fonte: [http://www.audiophilerecordingstrust.org.uk/articles/speaker\\_science.pdf](http://www.audiophilerecordingstrust.org.uk/articles/speaker_science.pdf)

(Questo è un articolo da leggere nella sua interezza)

".....Un'altra area in cui gli altoparlanti sono poco raccomandabili è l'abbandono del dominio del tempo. La visione tradizionale è che tutto ciò che conta è essere in grado di riprodurre onde sinusoidali continue nell'intervallo dell'udito umano.

Una quantità molto piccola di ricerca e pensiero rivelerà che questa è una visione fuorviante. La risposta in frequenza è importante, ma non così importante che il raggiungimento di una risposta ideale vada a discapito del **realismo**. Ci si stanca di sentire che "la fase non ha importanza" nell'audio o "l'orecchio è sordo in fase". Si tratta di visioni antiquate che sono state raggiunte molto tempo fa in esperimenti imperfetti e che sono in contrasto con i risultati della recente ricerca psicoacustica.

L'orecchio lavora in due modi distinti, tra i quali si muove per ottenere il miglior risultato dai limiti fondamentali dovuti alla disuguaglianza di Heisenberg. La disuguaglianza di Heisenberg afferma che all'aumentare della risoluzione in frequenza, la risoluzione del tempo diminuisce e viceversa. I suoni reali non sono continui, ma contengono transitori iniziali.

Durante tali transitori, l'orecchio lavora nel dominio del tempo. **Prima che l'ascoltatore sia cosciente di un suono, l'analisi nel dominio del tempo ha confrontato il tempo di arrivo del transitorio alle due orecchie e ne ha stabilito la direzione.** Dopo la produzione di un passo transitorio di pressione da parte di una sorgente sonora reale, la pressione sonora deve tornare all'ambiente.

La velocità con cui ciò accade è una funzione della dimensione fisica della sorgente. L'orecchio, agendo sempre nel dominio del tempo, può misurare il tempo di rilassamento e valutare la dimensione della sorgente. Pertanto, prima che venga percepito qualsiasi suono, al modello mentale è stata comunicata la posizione e le dimensioni di una sorgente sonora.

Infatti questo fu il primo utilizzo dell'udito, come mezzo per percepire una minaccia per sopravvivere. L'analisi della frequenza nell'udito, coerente con l'evoluzione della parola e della musica, è arrivata molto più tardi. Dopo l'analisi del transitorio iniziale, l'orecchio passa a lavorare nel dominio delle frequenze per analizzare il timbro. In questa modalità, la modalità che verrà utilizzata sui segnali stazionari, la fase non è molto importante. Tuttavia, il riconoscimento del **transitorio iniziale e il tempo di rilassamento sono fondamentali per il realismo**. Qualsiasi cosa in un sistema di riproduzione del suono che corrompe il transitorio iniziale è dannosa.

Mentre l'elettronica audio è in grado di gestire con precisione i transitori, l'altoparlante tradizionale distrugge sia la misurazione del transitorio che quella del tempo di rilassamento. La mancanza di attenzione al dominio del tempo nelle reti crossover porta a altoparlanti che riproducono un singolo passo di ingresso come una serie di passi, uno per ciascuna unità di azionamento in tempi diversi..."

#### 4. Profondità

#### 5. Risoluzione

#### 6. Separazione dell'ambiente

Fonte: [http://www.bostonaudiosociety.org/bas\\_speaker.htm](http://www.bostonaudiosociety.org/bas_speaker.htm)  
<http://www.bostonaudiosociety.org/pdf/bass/>

La Boston Audio Society ha una visione interessante degli altoparlanti con correzione temporale.

“...Se gli altoparlanti stereo differiscono nel loro comportamento di spostamento temporale di più di circa trenta milionesimi di secondo (o una tolleranza più fine, forse, per ascoltatori critici), l'immagine stereo sarà percettibilmente macchiata. **I due diffusori devono "parlare" insieme a tutte le frequenze se si vogliono preservare i minimi dettagli nel campo stereo.**

Questo, molto semplicemente, può essere il vantaggio principale che si può ottenere dagli altoparlanti "lineari" o "corretti nel tempo". I produttori che stanno cercando di ridurre a zero la dispersione temporale degli altoparlanti potrebbero anche garantire che non ci saranno differenze significative nella temporizzazione di propagazione del segnale tra i due altoparlanti in una coppia stereo. Le delicate informazioni di temporizzazione in una registrazione stereo vengono così accuratamente conservate e trasmesse all'ascoltatore inalterate...”

Indicano anche alcuni dei vantaggi di tali altoparlanti:

##### 1. Profondità.

Questo potrebbe sorprendere alcuni ascoltatori quando lo sentono per la prima volta, dal momento che molti oratori (e dischi) suscitano solo una diffusione generale da sinistra a destra. Ma "stereo", come originariamente concepito, implicava un suono tridimensionale in cui le voci o gli strumenti potevano essere localizzati a diverse distanze apparenti dall'ascoltatore così come in varie posizioni laterali. Gli ascoltatori di altoparlanti allineati nel tempo riferiscono costantemente di aver sentito un'immagine stereo con una profondità insolita.

##### 2. Risoluzione.

L'immagine stereo viene riprodotta con precisione, ogni voce o strumento ha il suo posto e la sua larghezza. In fonti sonore complesse come un'orchestra sinfonica, i singoli strumenti possono essere risolti con una chiarezza inaspettata. Nel vecchio cliché "sento dettagli che non avrei mai saputo fossero presenti nella registrazione". l'immagine stereo.

##### 3. Separazione dell'ambiente.

Con gli altoparlanti la cui immagine stereo è leggermente sfumata a causa del time-smear, qualsiasi atmosfera o riverbero nella registrazione tende a mescolarsi leggermente con i suoni strumentali, causando la colorazione di quei suoni. Di conseguenza, con tali diffusori le registrazioni con un microfono ravvicinato tendono a suonare meglio a causa del loro suono chiaramente definito. Ma con gli altoparlanti con correzione temporale, l'atmosfera viene risolta come un suono separato, e nelle registrazioni si può godere di una quantità maggiore di atmosfera da sala.....”

## 7. Precisione intercanale della riproduzione del suono.

Fonte: <http://www.cirrus.com/en/pubs/whitePaper/DS668WP1.pdf>

### “.....5. Udibilità della distorsione di fase

Una delle questioni che confondono riguardo all'udibilità della fase è che la discussione è generalmente considerata come un singolo argomento quando in realtà dovrebbe essere discussa come due situazioni distinte. L'udibilità della distorsione di fase deve essere valutata come segue:

1) Distorsione di fase intercanale. Caratterizzato come differenze nella risposta di fase tra due o più canali.

2) Distorsione di fase intracanalale. Caratterizzato da una risposta di fase non lineare all'interno di un canale con la condizione che la risposta di fase sia abbinata tra tutti i canali all'interno del sistema (ovvero la distorsione di fase tra i canali è pari a 0 msec)

## 6. Distorsione di fase intercanale

Usiamo l'ampiezza e la relazione di fase tra i suoni ricevuti dalle nostre orecchie per localizzare la fonte del suono. I moderni sistemi audio utilizzano questo attributo per creare ciò che è noto come imaging o la percezione che uno strumento o una voce provenga da una posizione diversa dalla posizione effettiva dell'altoparlante. Gli effetti udibili della distorsione di fase intercanale possono essere facilmente dimostrati semplicemente invertendo i collegamenti degli altoparlanti su un canale di un impianto stereo altrimenti configurato correttamente. La perdita di immagini è immediatamente evidente anche a chi non ha un orecchio allenato. Certo, questo test è piuttosto drammatico e 180 gradi di distorsione di fase tra i canali non sono indicativi del funzionamento standard, ma dimostrano i potenziali effetti. Come risultato di questo test, sarebbe difficile trovare qualcuno che sostenga che 180 gradi di distorsione di fase tra i canali sono accettabili, ma dov'è tra i due estremi la soglia dell'udibilità? **Tom Holman riferisce [10] che nel suo ambiente di laboratorio presso la University of Southern California, dominato dal suono diretto, è udibile uno sfalsamento temporale da canale a canale pari a un periodo di campionamento a 48 kHz. Ciò equivale a 20 µsec di distorsione di fase tra i canali su tutta la banda audio. Holman [10] afferma anche che "una differenza appena percettibile nello spostamento dell'immagine tra gli input dell'orecchio sinistro e destro è di 10 µsec".**

## 7. Distorsione di fase intracanalale

Ricordiamo che usiamo le differenze di ampiezza e fase del segnale per localizzare o determinare la sorgente del suono e che possono essere udibili quantità relativamente piccole di distorsione di fase intercanale. Ma come reagisce il nostro udito quando ogni canale in un sistema multicanale è soggetto a una risposta di fase non lineare ma la risposta di fase è abbinata tra tutti i canali? Douglas Preis [11] ha svolto un'ampia rassegna della letteratura esistente e le esperienze e le ricerche di Tom Holman [10] attraverso il suo lavoro all'USC ci forniscono un'interessante visione di questo fenomeno. Entrambi riferiscono che la soglia di udibilità dipende dalla frequenza, che è correlata a tutte le altre soglie di udibilità. In ambienti di laboratorio quando si utilizzano toni di prova e cuffie, la ricerca ha dimostrato che l'orecchio umano è sensibile a differenze di fase intra-canale di 0,25 msec [8] o +/-0,5 msec [9] nella gamma media con la soglia che aumenta a frequenze più alte e più basse. Preis afferma "le tolleranze indicate.... non sono direttamente applicabili a segnali vocali o musicali irradiati da altoparlanti in un

ambiente riverberante. Molto probabilmente, le soglie percettive per queste condizioni sarebbero più del doppio di quelle mostrate". Essenzialmente, i dati suggeriscono che per la riproduzione musicale o vocale di alta qualità in un ambiente riverberante, una distorsione di fase intra-canale di 1 msec non è udibile per un ascoltatore esperto. Si noti che questa soglia è un'affermazione relativamente prudente ed è ancora di due ordini di grandezza superiore a quella per la distorsione di fase inter-canale!....."

## 8. Effetto di precedenza o "legge del primo fronte d'onda"

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Precedence\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Precedence_effect)

".....L'effetto di **precedenza** o **legge del primo fronte d'onda** è un effetto **psicoacustico binaurale**. Quando un suono è seguito da un altro suono separato da un ritardo di tempo sufficientemente breve (al di sotto della soglia dell'eco dell'ascoltatore), gli ascoltatori percepiscono un'unica immagine uditiva fusa; è percepito la posizione spaziale è **dominata dalla posizione del primo suono arrivato** (il primo **fronte d'onda**). Il suono in ritardo influisce anche sulla posizione percepita. Tuttavia, il suo effetto è soppresso dal suono che arriva per primo...

L'effetto di precedenza compare se i successivi fronti d'onda arrivano tra 2 ms e circa 50 ms dopo il primo fronte d'onda.

**L'effetto di precedenza è importante per l'audizione in ambienti chiusi. Con l'aiuto di questo effetto rimane possibile determinare la direzione di una sorgente sonora (ad esempio la direzione di un altoparlante) anche in presenza di riflessioni a parete...."**

## 9. Importanza della fase nei transitori

Fonte: <http://sound.media.mit.edu/Papers/kdm-phdthesis.pdf>

Pagina 44

"...Da Helmholtz, c'è stato un figurativo tiro alla fune tra i sostenitori della sua "teoria spettrale" del suono musicale e i ricercatori che hanno riconosciuto l'importanza delle proprietà temporali del suono. La ricerca *dell'analisi per sintesi*, cercando di scoprire metodi per sintetizzare suoni realistici, ha rivelato diversi limiti critici delle teorie puramente spettrali. Clark ha dimostrato che le registrazioni riprodotte al contrario, che hanno gli stessi spettri di magnitudine delle loro controparti normali, rendono molto difficile l'identificazione della sorgente sonora. La sintesi basata sugli spettri di Fourier, senza tener conto della fase, non produce suoni realistici, in parte perché le proprietà iniziali del suono non vengono catturate (Clark et al., 1963). Sebbene la maggior parte degli strumenti musicali produca spettri quasi armonici, ovvero le frequenze dei loro componenti (misurate in piccole finestre temporali) sono accuratamente modellate da multipli interi di una fondamentale, le deviazioni dall'armonia rigorosa sono fondamentali per i suoni prodotti da alcuni strumenti. Ad esempio, componenti di toni di pianoforte sotto il Do centrale (261

Hz) deve essere inarmonico per suonare come un pianoforte (Fletcher et al., 1962). Infatti, tutte le corde che vibrano liberamente (ad esempio, pizzicate, percosse o rilasciate dall'archetto) e le campane producono spettri inarmonici, e l'inarmonicità è importante per l'attacco di molti suoni strumentali (Freedman, 1967; Gray & Moorer, 1977). Senza comportamento di frequenza irregolare durante l'attacco di una nota, i pianoforti sintetizzati suonano come se avessero martelli fatti di mastice (Moorer & Grey, 1977).

**Quindi la teoria di Helmholtz è corretta fino in fondo: le fasi relative delle componenti di un suono puramente periodico contano poco per la percezione. Tuttavia, non appena il tono musicale varia nel tempo, ad esempio accendendosi o spegnendosi, le proprietà temporali diventano rilevanti. Nel mondo reale, non ci sono suoni puramente periodici, e lo spettro di grandezza di uno strumento non è che una delle sue sfaccettature.....”**

## 10. Separazione di intonazione, timbro e sorgente

Fonte: David Greisner <http://www.davidgriesinger.com>

[http://www.davidgriesinger.com/Acoustics\\_Today/Pitch,%20Timbre,%20Source%20Separation\\_talk\\_web\\_sound\\_3.pptx](http://www.davidgriesinger.com/Acoustics_Today/Pitch,%20Timbre,%20Source%20Separation_talk_web_sound_3.pptx)

### “Near”, “Far”, and Harmonic Coherence

- Humans can *immediately* hear if a sound is “near” or “far” with a single ear.
  - But how do we perceive it, and how can it be measured?
- The author believes that engagement, near/far, pitch perception, timbre perception, direction detection, and stream formation all derive from the same property of sound
  - **the phase coherence of harmonics in the vocal formant range, ~630Hz to 4000Hz.**

Example: The syllables one to ten with four different degrees of phase coherence. The sound power and spectrum of each group is identical



## 11. Conferma dell'elaborazione a due stadi da parte dell'orecchio, come discusso in (3).

Fonte: [http://www.hauptmikrofon.de/theile/ON\\_THE\\_LOCALISATION\\_english.pdf](http://www.hauptmikrofon.de/theile/ON_THE_LOCALISATION_english.pdf)

### 4.3.1 La "legge del primo stimolo di localizzazione"

**"....Per uno stereo-up convenzionale, una sorgente fantasma passa da  $0^\circ$  a  $30^\circ$  se la differenza di tempo tra due segnali di altoparlanti a banda larga viene aumentata da zero a circa 600  $\mu$ s. Il modello associativo potrebbe spiegare questo fenomeno (stereofonia basata sul tempo così come sul livello) mediante i principi psicoacustici dello stadio associativo gestaltico. Lo stimolo di localizzazione che arriva per primo allo stadio di associazione gestaltica ha un peso maggiore rispetto al secondo stimolo (l'equivalente per la stereofonia basata sul livello sarebbe lo stimolo di localizzazione con il livello più alto). Nonostante la loro identità e il relativo ritardo temporale, gli stimoli di localizzazione possono essere discriminati, poiché ognuno di essi è presente nel pattern di correlazione binaurale in forma completa e discriminabile (vedi Sezione 4.1).**

Tuttavia, un ulteriore aumento della differenza di tempo tra i canali porta a un superamento del ritardo di tempo massimo  $\dot{\gamma}_{max}$ . Per i segnali stazionari a banda larga (rumore continuo), ciò provoca un'interruzione della selezione dello stimolo di localizzazione, che si manifesta ad esempio sotto forma di una ridotta soppressione dell'effetto del filtro a pettine. In questa particolare costellazione di campo sonoro, la legge del primo fronte d'onda non può essere osservata secondo il modello di associazione. Non esistono fronti d'onda analizzabili che consentirebbero una selezione dello stimolo di localizzazione delle componenti sonore che incidono.

Al contrario, per i segnali impulsivi non stazionari (clic, parole, toni impulsivi) un aumento della differenza di tempo tra i canali ha un effetto diverso. Nel modello di associazione, la valutazione dell'involuppo dell'ampiezza assicura che il suono primario e quello ritardato (riflessione) possano essere discriminati come stimoli di localizzazione. Secondo un'ipotetica funzione dello stadio associativo gestaltico, lo stimolo di localizzazione primaria determina l'evento uditivo. Lo fa ancora di più quanto maggiore è la differenza di tempo tra gli stimoli di localizzazione in arrivo. Solo quando viene superata una differenza di tempo di circa 10-30 ms, il successivo stimolo di localizzazione acquisirà peso percettivo. Oltre la soglia dell'evento (per una definizione vedi BLAUERT 1974), sarà percepito come un evento uditivo separato.

Sembra che la "legge del primo fronte d'onda" possa essere interpretata come la "**legge del primo stimolo di localizzazione**"....."

### ".....6. Riassunto

Secondo il modello associativo presentato nei capitoli precedenti, il funzionamento del sistema uditivo rispetto all'udito spaziale è dovuto a due diversi meccanismi di elaborazione. Ciascuno di questi due meccanismi di elaborazione si manifesta sotto forma di una selezione di pattern guidata in modo associativo.

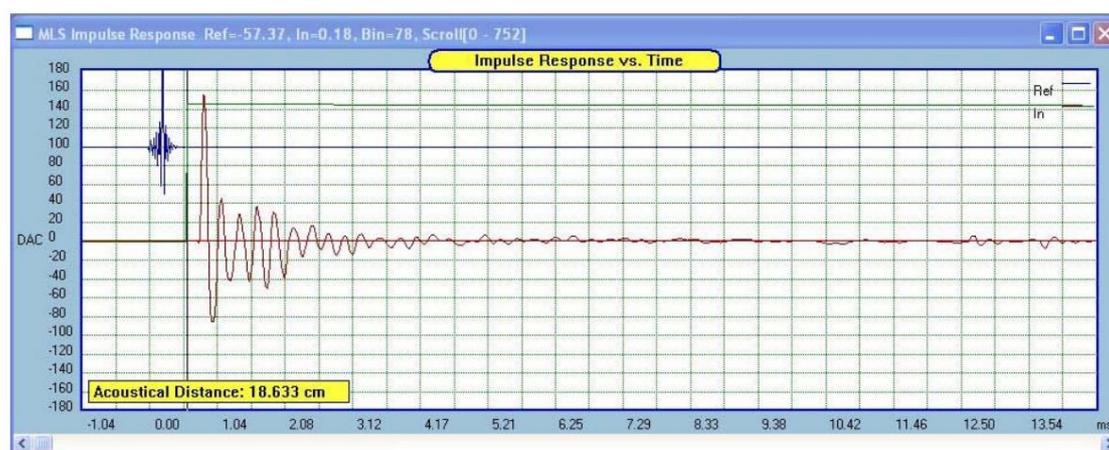
**Uno stimolo corrente derivante da una sorgente sonora a banda sufficientemente ampia dà origine a un'associazione di posizione nella prima ea un'associazione di gestalt nella seconda fase di elaborazione di livello superiore a causa dell'esperienza uditiva. Sebbene le due fasi funzionino indipendentemente l'una dall'altra, determinano sempre le proprietà di**

**uno o più eventi uditivi simultanei in modo congiunto. La rigorosa differenziazione di queste due fasi di valutazione dello stimolo corrisponde interamente alle due aree elementari dell'esperienza uditiva. I segnali auricolari ricevuti possono essere attribuiti alle due caratteristiche della sorgente sonora di "posizione" e "segnale", che sono indipendenti l'una dall'altra ma si verificano sempre.** Pertanto, il modello di associazione presentato è in accordo con molti fenomeni relativi alla localizzazione nel campo sonoro sovrapposto.....”

## Test dello strumento nel dominio del tempo

### Esempio di altoparlante nella vita reale

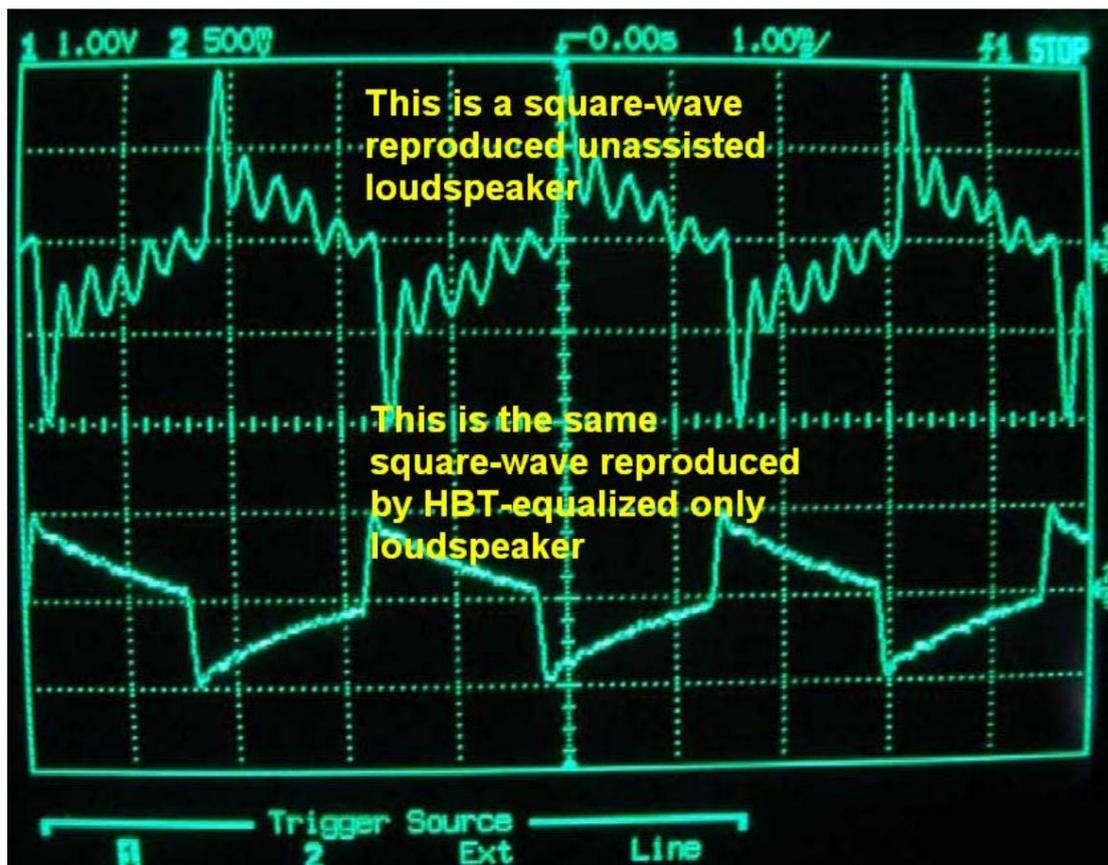
Il sistema in prova discusso qui è costituito da un filtro e un altoparlante in un involucro. Questi due componenti che introdurranno il ritardo sono il filtro e la combinazione di driver e custodia stessa. Per illustrare quanto sopra, è stato misurato un altoparlante per chitarra da 12 pollici in una cassa ventilata e le sue risposte di fase minima sono state ottenute con l'aiuto di una tecnica di misurazione MLS – vedi sotto. È immediatamente osservabile che l'altoparlante ha una risposta in frequenza piuttosto irregolare. Poiché l'altoparlante è essenzialmente un dispositivo a fase minima, anche la risposta di fase corrispondente è molto irregolare e sicuramente non piatta.



Stabiliamo la risposta in frequenza di interesse, che è l'intervallo di frequenza in cui l'SPL sarà equalizzato alla risposta piatta. Nel mio esempio sarà: 90Hz – 5500Hz.



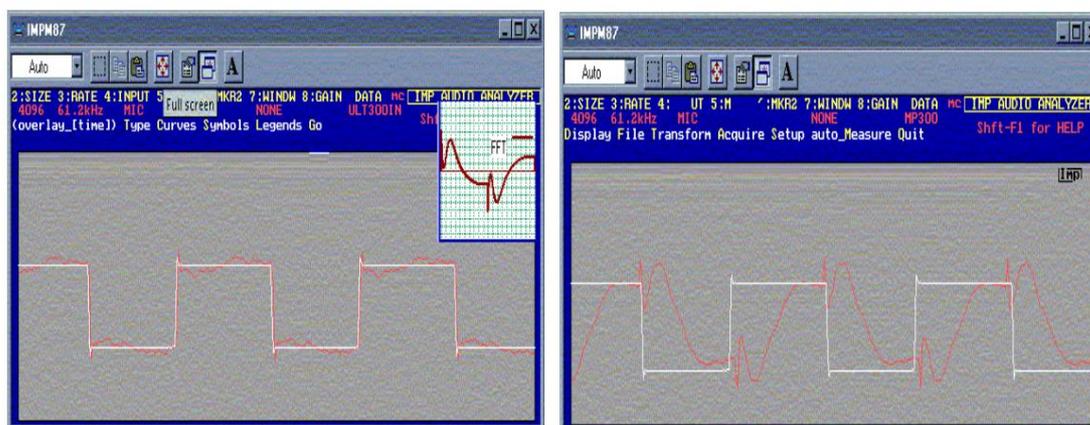
Un'onda quadra a 300Hz riprodotta da questo altoparlante è fortemente distorta. Il forte squillo è dovuto a un picco SPL acuto di 10 dB situato a 3,5 kHz. Puoi vedere che ci sono circa 11 periodi di forma d'onda squillante in un periodo di onda quadra a 300Hz.



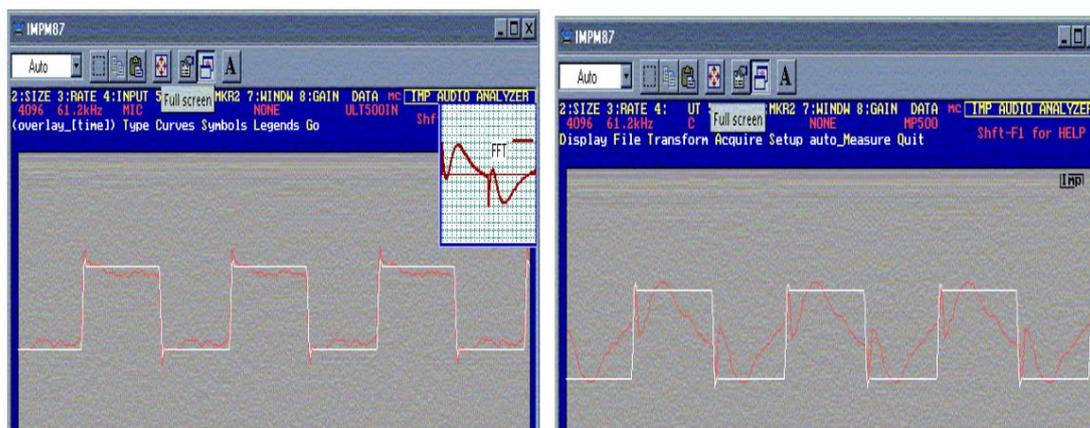
I risultati dei test strumentali ottenuti dagli altoparlanti a fase lineare rivelano la loro reale superiorità nel dominio del tempo. I seguenti risultati dei test sono stati ottenuti da John Kreskovsky di Music and Design ( <http://www.musicanddesign.com> )

Come sottolinea John: "...Le misurazioni non sono state effettuate in un ambiente anecoico e sono del tipo a tempo continuo, registrate su numerosi cicli, non è possibile eseguire finestre su un periodo senza riflessione. Pertanto, c'è una certa contaminazione da parte dei riflessi della stanza che risulta in un certo degrado nella risposta osservata.

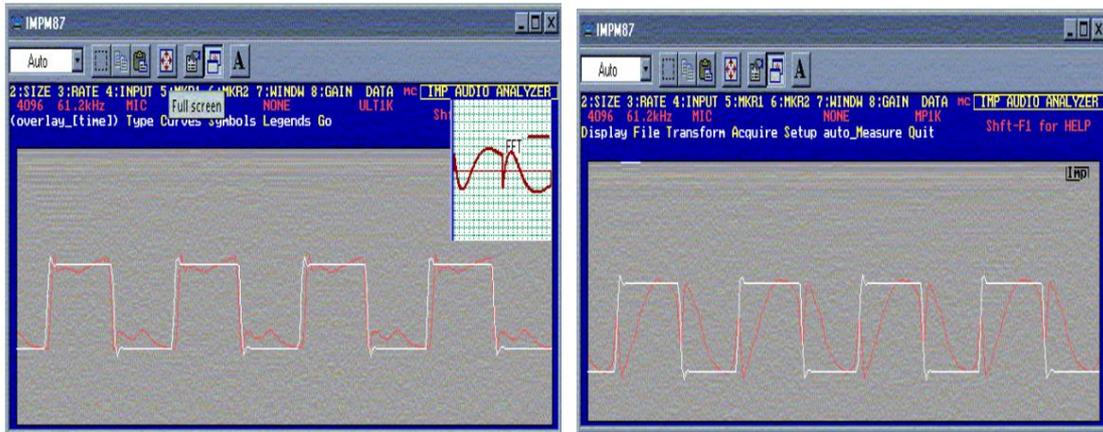
La prima figura mostra la risposta a 300 Hz. Questo è vicino al taglio delle basse frequenze del sistema dove la rotazione di fase e il ritardo di gruppo dovuti al taglio passa-alto a 200 Hz normalmente provocherebbero la perdita del comportamento flat top e il crossover a 2k Hz causerebbe la distorsione dell'aumento iniziale. Questo è mostrato nell'insero in alto a destra del grafico per il sistema linearizzato e confermato dal grafico inferiore che se per il sistema LR4 standard. La traccia bianca è l'ingresso, arancione l'uscita acustica dal sistema di altoparlanti.



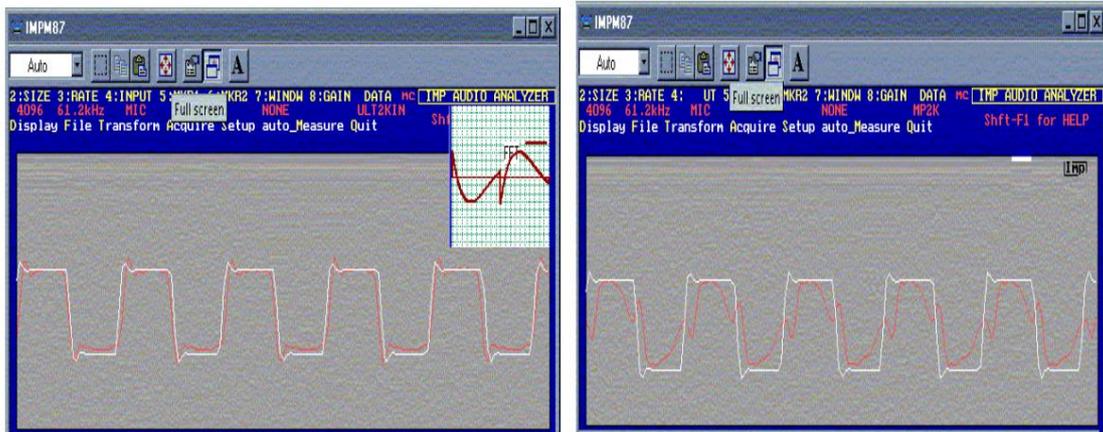
Risposta quadrata a 300 Hz del sistema linearizzato, a sinistra, e crossover LR4 standard, a destra.



Risposta quadrata a 500 Hz del sistema linearizzato, a sinistra, e crossover LR4 standard, a destra.



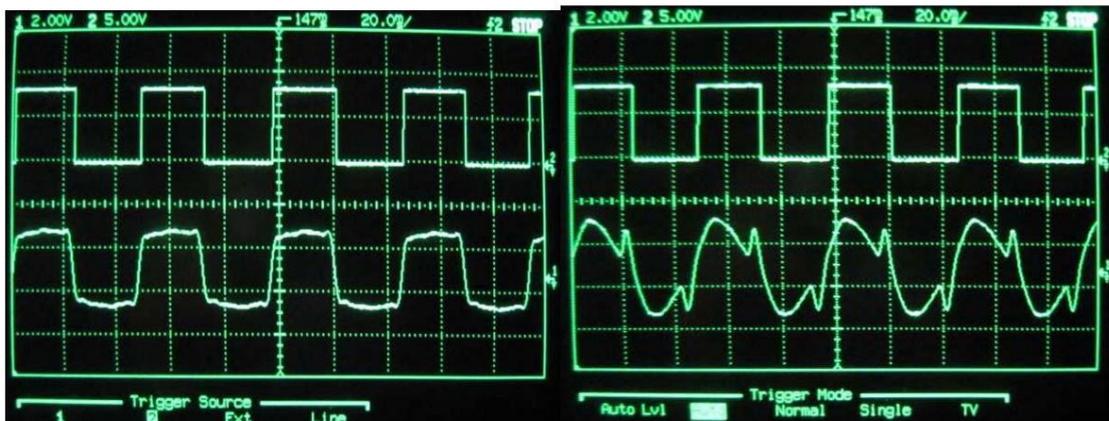
Risposta al quadrato di 1 kHz del sistema linearizzato, a sinistra, e crossover LR4 standard, a destra.



Risposta quadrata a 2kHz del sistema linearizzato, a sinistra, e crossover LR4 standard, a destra.

...” Fine della citazione.

Le mie misurazioni sui subwoofer McCauley da 18 pollici confermano ulteriormente la superiorità nel dominio del tempo degli altoparlanti a fase lineare.



Onda quadrata 20Hz: Modalità fase lineare e

Modalità fase minima

Mostrati sopra, i risultati della misurazione del confronto nel dominio del tempo parlano da soli. Va ricordato che qui abbiamo a che fare con un peso molto pesante

cono, driver da 18", filtro passa-basso, in un involucro ventilato (risonante), eppure, le prestazioni nel dominio del tempo sono quasi perfette. È piuttosto sorprendente vedere un altoparlante ventilato, che mantiene la pressione acustica quasi costante per 25 ms.

Successivamente, ho utilizzato impulsi di 2 ms separati da uno spazio di 350 ms come segnale sorgente. Sull'impulso di 2 ms, la versione a fase minima produceva più di un "tonfo" invece di uno schiocco o di un clic. Questo forse non è sorprendente, poiché il post-squillo del polso si è esteso a 130 ms e ha superato di gran lunga l'"effetto memoria" di 30 ms del sistema uditivo. Qui, il driver, il filtro e la custodia ventilata hanno aggiunto la propria firma combinata. È anche osservabile che la versione a fase minima del subwoofer ha convertito l'impulso chiaramente asimmetrico in un impulso bipolare molto più simmetrico con post-squillo. Questo è chiaramente visibile nelle schermate qui sotto.



Impulso di 5 ms in modalità a fase lineare e

Modalità fase minima

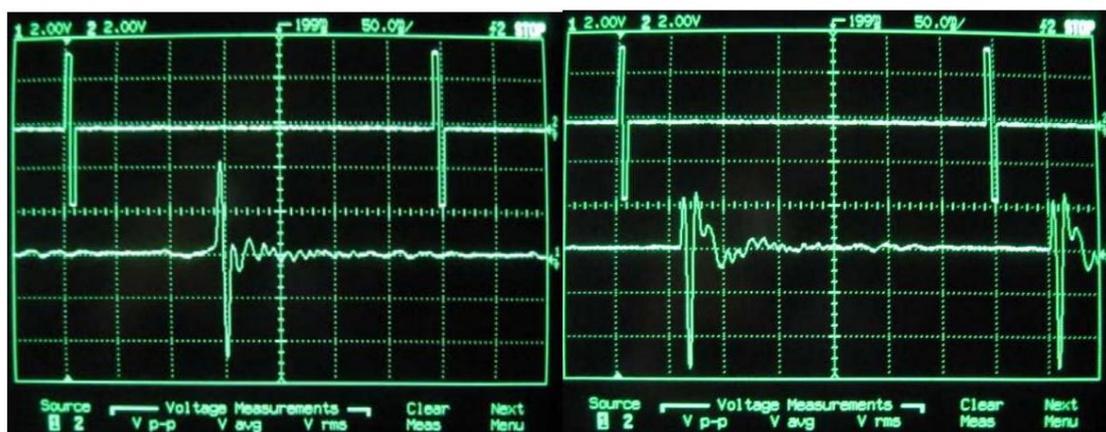
Quando per l'eccitazione veniva utilizzato un impulso bipolare di 2 ms, la versione a fase minima ha fatto l'opposto e ha convertito l'impulso bipolare simmetrico in un impulso con una chiara tendenza asimmetrica. Lo squillo oltre l'impulso è dovuto a un posizionamento del microfono più distante, quindi ora il microfono raccoglie alcuni dei riflessi della stanza.



Impulso bipolare da 2 ms in modalità a fase lineare e

Modalità fase minima

Quando per l'eccitazione è stato utilizzato un impulso bipolare da 10 ms, la versione a fase minima ha una tendenza ancora più asimmetrica.



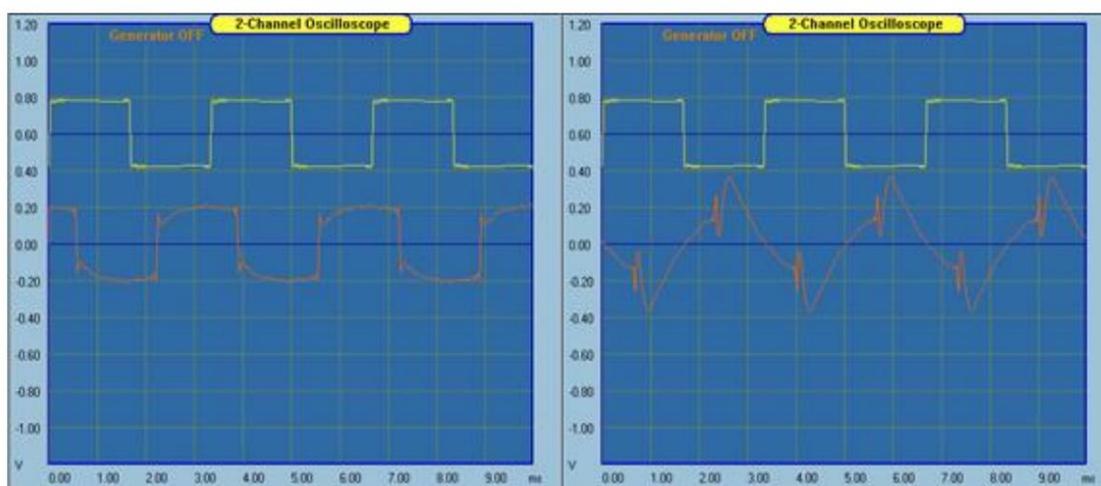
Impulso bipolare da 10 ms in modalità a fase lineare e

Modalità fase minima

Finalmente alcune misure di onde quadre dal Manuale dell'utente dell'UE.

Il risultato della fase lineare è a sinistra e il risultato della fase non lineare a destra. Va notato che c'è una certa distorsione nelle forme d'onda che deve essere attribuita ai riflessi della stanza. Il test dell'onda quadra è un test in stato stazionario e senza una vera camera anecoica gli effetti dei riflessi della stanza non possono essere eliminati.

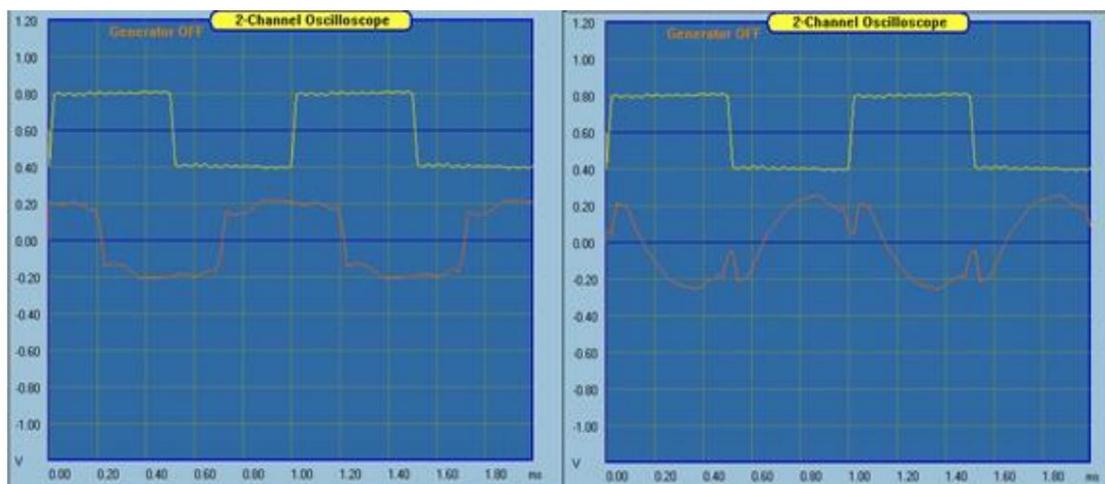
Non di meno, per il caso di 300 Hz mostrato nella prima figura, il sistema di fase lineare mostra il forte aumento e la cima piuttosto piatta prevista. La cassa della fase non lineare mostra la risposta iniziale del tweeter seguita dalla risposta del woofer e la parte superiore inclinata è un artefatto della fase non lineare. La risposta inoltre supera significativamente il livello corretto. Quest'ultimo effetto viene raramente discusso quando si effettuano confronti tra sistemi di fasi lineari e non lineari. Anche se l'ampiezza della componente di frequenza di raggiungimento è riprodotta correttamente nel sistema di fase non lineare, la mancanza di fase lineare significa che le diverse componenti di frequenza non si sommano correttamente poiché sono ritardate di quantità diverse. L'overshoot è il risultato della distorsione temporale.



Risposta onda quadra 300 Hz, fase lineare, sinistra; Fase non lineare, a destra

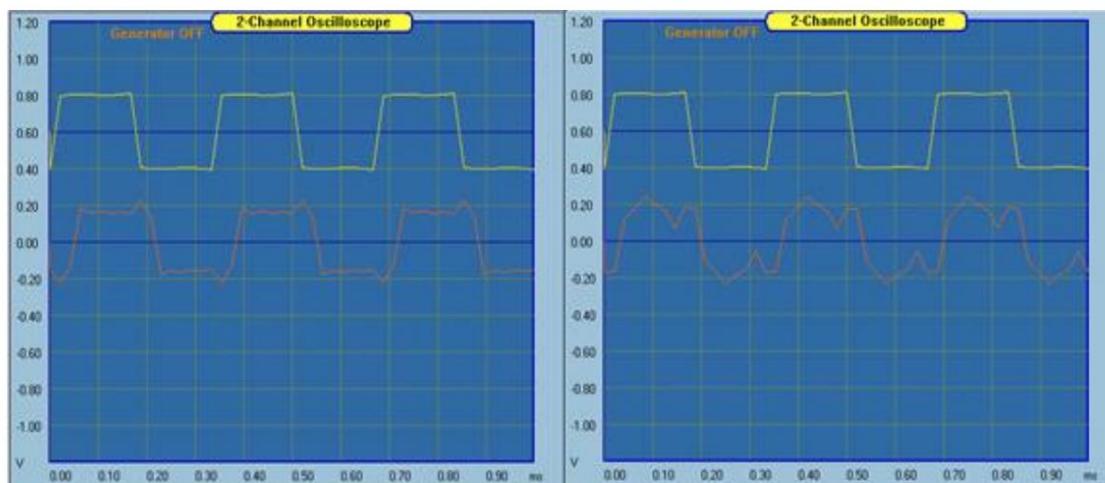
La figura successiva mostra lo stesso confronto per un'onda quadra da 1kHz. Ancora una volta, si osserva una certa distorsione dovuta ai riflessi della stanza. Tuttavia, il caso della fase lineare

mostra ancora una volta il brusco aumento previsto e il massimo relativamente piatto. Il sistema di fase non lineare mostra più chiaramente l'intervallo di tempo tra la risposta del woofer e quella del tweeter.



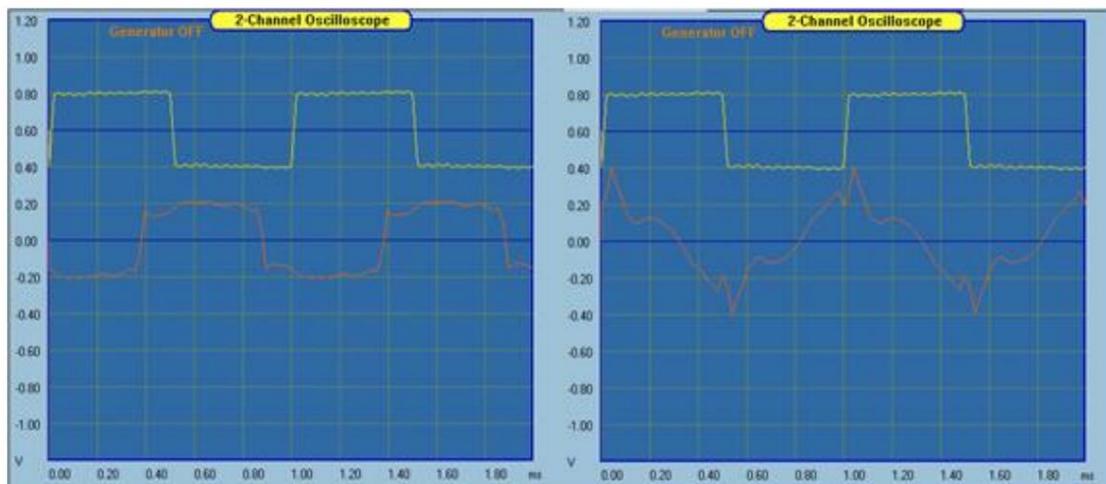
Risposta onda quadra 1kHz, fase lineare, sinistra; Fase non lineare, a destra.

La figura successiva mostra il risultato per un'onda quadra da 3 kHz. Le differenze tra fase lineare e non lineare, sebbene chiaramente evidenti, sono meno significative perché la fondamentale è al di sopra del punto di crossover e c'è poco contributo dal woofer a causa della risposta passa-basso di 4° ordine. Con il sistema progettato si può esaminare un'altra caratteristica interessante del sistema a fasi lineari, l'effetto della pendenza di crossover.



Risposta onda quadra 3kHz, fase lineare, sinistra; Fase non lineare, a destra.

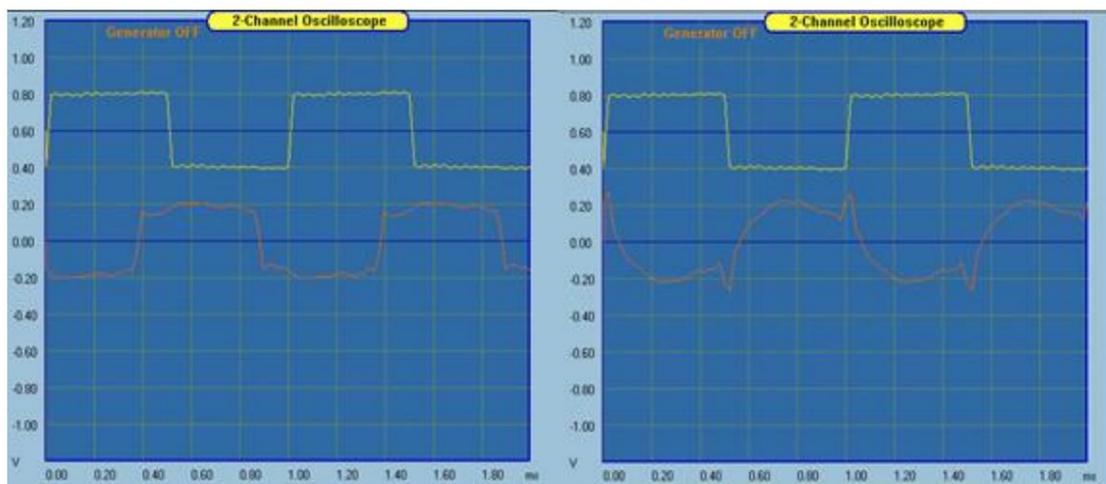
La figura successiva mostra la risposta a 1 kHz del sistema di fase lineare e non lineare quando la pendenza del crossover tra woofer e tweeter viene aumentata all'ottavo ordine, 48 dB/ottava. Con *Ultimate Equalizer* questo è facilmente realizzabile selezionando le nuove pendenze di 48dB/ottava e facendo clic su *Show complete system* per calcolare e caricare i nuovi filtri.



Risposta a 1 kHz del sistema di fase lineare e non lineare con crossover a 8<sup>th</sup> ordini.

Questo risultato dovrebbe essere confrontato con quello della figura in cui il crossover era ordinato. La modifica dell'ordine non ha alcun effetto sul sistema di fase lineare nel punto di progettazione. La risposta del sistema di fase non lineare è significativamente diversa unicamente a causa del cambiamento nell'ordine di crossover.

Infine, l'ultima figura mostra l'effetto della riduzione del crossover al 2° ordine. La risposta del sistema di fase non lineare sembra leggermente migliore ora. Tuttavia, per una risposta piatta il tweeter deve essere collegato con polarità invertita nel sistema di fase non lineare e l'impulso iniziale del tweeter è quindi nella direzione sbagliata. Va notato che molti appassionati di audio ritengono che il crossover di 2° ordine suoni meglio di quelli di ordine superiore. Questo potrebbe essere il risultato della forma d'onda migliorata osservata qui e potrebbe essere un'indicazione del potenziale del crossover lineare e dei diffusori di qualsiasi ordine poiché conserveranno tutti la forma d'onda rispetto al punto di progettazione.



Risposta a 1 kHz del sistema di fase lineare e non lineare con crossover di 2° ordine.

## Conclusioni

Al momento della stesura di questo articolo, i diffusori a fase lineare sono ancora un nuovo "ragazzo sul blocco". I tentativi passati di crearli hanno portato a offerte che erano semplicemente troppo costose per un uso diffuso. L'implementazione più accurata dell'altoparlante a fase lineare richiede un set completo di misurazioni dei singoli driver, insieme a un approccio DSP, oltre a un sistema di amplificazione attivo. Questo rende davvero il sistema a fase lineare un dispositivo altamente personalizzato - un mondo di differenza rispetto all'attuale approccio dell'industria degli altoparlanti.

Tuttavia, questa particolare caratteristica rende il sistema a fase lineare un dispositivo fai-da-te ideale. Nel nostro mondo, tutto è costruito su misura, con l'obiettivo di superare in genere progetti commerciali comparabili. Gli altoparlanti a fase lineare offrono tutto ciò che gli altoparlanti a fase minima possono offrire, e quindi ti premiano con prestazioni spesso di gran lunga superiori nel dominio del tempo, come spiegato nelle pagine precedenti.

Sembra che le mie cattive e obsolete abitudini di ascolto/valutazione, unite alla mancanza di una metodologia di ascolto standard per la valutazione nel dominio del tempo/spazio degli altoparlanti, abbiano cospirato per offuscare la mia capacità di ascoltare in modo critico l'intero set dei miei altoparlanti durante alcune delle mie valutazioni test. In secondo luogo, non tutti i materiali musicali riveleranno allo stesso grado tutte le caratteristiche del dominio del tempo. Ad esempio, bassi serrati e ben definiti si manifesteranno con colpi di arma da fuoco ed esplosioni nei film in DVD, ma non risaltano durante gli effetti di terremoti sismici a bassa frequenza sul canale LFE. In test più critici, ho scelto la caratteristica dei "bassi più stretti", poiché era troppo ovvio per non essere vista sui grandi subwoofer da 18 pollici. Inoltre, ho sottolineato in precedenza l'effetto di sentirsi più vicini all'orchestra, come se potessi discriminare meglio la loro disposizione di seduta. Entrambi questi effetti non hanno davvero nulla a che fare con il dominio della frequenza: sono entrambi più dei fenomeni del dominio spazio/tempo.

È chiaro che la progettazione di altoparlanti utilizzando le caratteristiche del dominio della frequenza come criteri principali (o unici) porta a un sistema stagnante, eccessivamente semplificato e, in definitiva, impreciso. Se continuassi a progettare altoparlanti che non rivelano mai sottigliezze nel dominio del tempo o nello spazio, non saprei nemmeno dell'esistenza di tali sottigliezze, quindi non sarei mai motivato a cambiare, permettendo così al circolo vizioso di continuare. È evidente che l'orecchio esamina lo stimolo audio in arrivo in un processo a due stadi: (1) posizione - qui viene esaminato il transitorio dello stimolo e (2) segnale - qui vengono esaminate le proprietà spettrali dello stimolo.

I due processi funzionano sempre in tandem. È quindi essenziale che l'altoparlante fornisca forme d'onda non distorte al sistema uditivo per consentire la corretta elaborazione di entrambi gli stadi.

Quindi, eccomi qui. Lottando per uscire dalla "scatola del dominio della frequenza" e nel nuovo mondo delle caratteristiche del dominio del tempo/frequenza/spazio dei diffusori contemporanei. Ma anche in queste prime fasi dell'adozione di una nuova tecnologia, la trovo già molto gratificante. Questo perché è evidente che si sta realizzando una nuova **tecnologia di trasduzione acustica accurata e realistica** in un modo commerciale molto più accessibile.

Grazie per aver letto.

Bohdan

## Appendice A

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sound\\_localization](http://en.wikipedia.org/wiki/Sound_localization)

### Informazioni laterali (sinistra, avanti, destra)

Per determinare la direzione di ingresso laterale (sinistra, anteriore, destra) del sistema uditivo analizza il seguente orecchio informazioni sul segnale:

- Differenze temporali interaurali II

suono dal lato destro raggiunge l'orecchio destro prima dell'orecchio sinistro. Il sistema uditivo valuta le differenze di tempo interaurale da o Ritardi di fase alle basse frequenze o Ritardi di gruppo alle alte frequenze • Differenze di livello interaurale Il suono dal lato destro ha un livello più alto all'orecchio destro rispetto all'orecchio sinistro, perché la testa fa ombra all'orecchio sinistro . Queste differenze di livello dipendono fortemente dalla frequenza e aumentano con l'aumentare della frequenza.

---

Per frequenze inferiori a 800 Hz, vengono valutate principalmente le differenze temporali interaurali (ritardi di fase), per frequenze superiori a 1600 Hz vengono valutate principalmente le differenze di livello interaurale. Tra 800 Hz e 1600 Hz c'è una zona di transizione, in cui entrambi i meccanismi svolgono un ruolo.

**La precisione della localizzazione è di 1 grado per le sorgenti di fronte all'ascoltatore e di 15 gradi per le sorgenti ai lati. Gli esseri umani possono discernere differenze di tempo interaurali [5][6] di 10 microsecondi o meno.**