

665g
claudio gandolfi
un diffusore acustico ultraleggero

La foto in copertina è un ingrandimento all'interno del diffusore acustico 665g.

È vietata la riproduzione anche parziale dei contenuti.

Le tecnologie qui descritte sono protette da:

brevetto italiano n.1419492 rilasciato il 01 dicembre 2015: trasformatore acustico a guida d'onda sospesa,

brevetto europeo depositato EP3022945: wave-guide acoustic transformer,

brevetto italiano n. 1427913 rilasciato il 28 marzo 2017: diffrattore acustico a guida d'onda,

brevetto europeo depositato EP15848137: wave-guide acoustic diffracting device.

Lo scopo di questo documento è la descrizione delle tecnologie brevettate. È permessa esclusivamente la costruzione di un solo prototipo di valutazione per persona ad uso privato. Ulteriori aggiornamenti sul sito robin srl.it.

Indice

Nuova edizione

Diffusori 665g

Materiali

Realizzazione

Collaudo

Configurazione da scrivania

Funzionamento

Misure

Evoluzione

Diffusori 666g

Diffusori 667g

Diffusori 669g

Acustica dei diffusori 6XXg

Psicoacustica delle onde secondarie nei diffusori 6XXg

Diffusori omnidirezionali 6XXg e ambiente d'ascolto

Impianto e cavi 662g

Diffusori 621g

Brevetto

Riassunto

Disegni

Descrizione

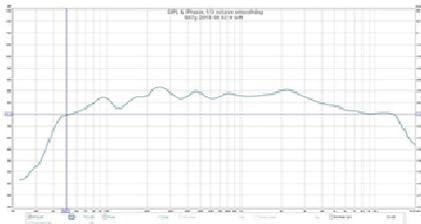
Rivendicazioni

Nuova edizione

Questa edizione migliora l'analisi del funzionamento del diffusore 665g che ha prodotto una serie di progetti (666g, 667g, 669g) di crescente livello qualitativo. Completano l'aggiornamento dell'edizione: un progetto di cavi quadripolari 662g e il progetto 621g, una applicazione semplice e molto economica delle tecnologie del trasformatore acustico a guida d'onda e del diffrattore acustico a guida d'onda.

Il progetto 666g migliora la qualità acustica del diffusore 665g dividendo la guida d'onda in sezioni separate e ottimizzate. Il diffusore non è più ultraleggero in quanto la sezione cilindrica è realizzata con un materiale rigido (pvc). Il trasformatore acustico a guida d'onda e il diffrattore acustico a guida d'onda sono realizzati in carta.

Il progetto 667g è la versione da pavimento del diffusore 666g. Nella riproduzione dei bassi sono importanti le dimensioni e con percorsi interni del suono che arrivano a 1,5 metri è possibile sentire bene anche i 50 Hz.



Il progetto 669g è la versione da pavimento con una sezione quadrata per usare anche materiali come il legno per la guida d'onda principale.

Le geometrie utilizzate hanno come conseguenza anche un'emissione omnidirezionale dei suoni sul piano orizzontale e la totale assenza di riflessioni interne.

I progetti 6XXg sono dei diffusori monovia con carico acustico a sezioni multiple.

Nel dominio delle frequenze le sezioni multiple estendono e regolarizzano la risposta in frequenza. Un'efficienza di 91 dB e un basso costo dei materiali, li rende adatti per l'autocostruzione.

L'analisi nel dominio del tempo evidenzia l'innovazione introdotta dai progetti 6XXg. Dopo l'emissione primaria dell'altoparlante che arriva alle orecchie dell'ascoltatore percorrendo il percorso più breve, il trasformatore acustico a guida d'onda e il diffrattore acustico a guida d'onda emettono una serie di onde secondarie ritardate attenuate e coerenti con l'emissione primaria. Le onde secondarie coerenti arrivano nel punto d'ascolto prima delle riflessioni generate dagli oggetti e dalle pareti dell'ambiente; il risultato è un maggiore realismo della riproduzione e un facile riconoscimento dei suoni registrati.

I cavi per altoparlanti 662g sono progettati con l'obiettivo di minimizzare la capacità parassita e ridurre i campi elettromagnetici emessi dai cavi stessi, realizzati con materiali economici hanno una capacità di soli 30 pF/m.

Il progetto 621g utilizza le tecnologie del trasformatore acustico a guida d'onda e del diffrattore acustico a guida d'onda per migliorare la riproduzione di un sistema 2.1 normalmente abbinato ai PC multimediali. Avendo a

disposizione i diffusori attivi 2.1 per PC con pochi euro li si può migliorare acusticamente rendendoli anche omnidirezionali.

Diffusori 665g

È possibile far suonare bene un altoparlante usando un sottile foglio flessibile di PVC trasparente? Sì con: 545 grammi di altoparlante larga-banda, 20 grammi di cavi e connettori, 10 grammi di gommapiuma, 90 grammi di pvc trasparente, biadesivo e colla.

665g è un diffusore monovia, omnidirezionale su tutta la gamma audio, ultraleggero 665 grammi, senza riflessioni interne, con emissione di fronti d'onda secondari coerenti, ritardati e attenuati rispetto all'emissione diretta dell'altoparlante.

Il progetto 665g ha il migliore rapporto costi/qualità possibile. Si può fare ancora meglio come qualità sonora ma è necessario realizzare strutture più complesse come quella descritte nei progetti 666g, 667g e 669g. Sono sempre realizzazioni che utilizzano materiali economici ma richiedono tempi più lunghi.

Materiale

- 2 fogli pvc trasparente da 0.25 mm 300 g/mq da 260 x 1000 mm
- 2 altoparlanti Faital Pro 3FE25
- 2 spezzoni filo in rame diametro 1,5 mm² lunghi 200 mm
- 2 spezzoni filo in rame diametro 1,5 mm² lunghi 230 mm
- 2 connettori a banana femmina volante 4 mm rossi
- 2 connettori a banana femmina volante 4 mm neri
- Colla vinilica o acrilica
- Nastro biadesivo da 15 mm
- 2 piattine in alluminio 2 x 15 x 1000 mm
- 2 morsetti per fissare lampade al ripiano di lavoro di una scrivania.
- 2 viti 4 x 40 mm con dado
- 2 viti 5 x 20 mm con dado

Realizzazione

Saldare il connettore rosso allo spezzone di filo lungo 200 mm e saldare l'altro capo del filo al polo positivo dell'altoparlante.

Saldare il connettore nero allo spezzone lungo 230 mm e successivamente saldare il filo al connettore polo negativo passando dietro il raggio del cestello dell'altoparlante, in questo modo si evita di creare una spira con all'interno materiale ferromagnetico. Fare attenzione che il filo non tocchi la membrana o lo spider dell'altoparlante, si produrrebbero vibrazioni molto fastidiose alle basse frequenze.

Piegare e attorcigliare i fili per mantenere affiancati i connettori.



Incollare con il biadesivo il foglio di pvc trasparente di 260 x 1000 mm per ottenere un cilindro alto 1000 mm e con un diametro di 78 mm. Piegare il cilindro per 382 mm rendendo la sezione finale del tubo ottagonale con otto lati uguali. Durante la piegatura forare come nella foto con una foratrice manuale da ufficio.



Riempire con colla la fessura tra il bordo esterno della flangia dell'altoparlante e la guarnizione frontale. Inserire nella stessa fessura il bordo del cilindro di pvc. Attendere l'asciugatura della colla.



ATTENZIONE! MANEGGIATE SEMPRE IL DIFFUSORE AFFERRANDO IL CESTELLO DELL'ALTOPARLANTE. L'incollaggio proposto è adatto per fissare il tubo, non per tenere sospeso l'altoparlante. In condizioni statiche si può sollevare l'altoparlante con il tubo ma un movimento brusco può portare ad un cedimento dell'incollaggio con conseguente caduta dell'altoparlante. Mezzo kilogrammo di ferro che cade da 50 cm di altezza può provocare: su un piede un ematoma o la rottura di un dito, su un pavimento ammaccature o crepe.

Ripetere l'operazione per il secondo altoparlante.



Il diffusore acustico 665g può già essere utilizzato appoggiandolo su una superficie stabile. Un riquadro di gommapiuma riduce le riflessioni generate dal lato posteriore dell'altoparlante e migliora la qualità della riproduzione.

Collaudo

Complimenti, avete realizzato il diffusore acustico che utilizza le tecnologie audio attualmente più avanzate, non consideratelo un giocattolo per il fatto che è realizzato con materiali economici. Collegatelo al miglior impianto audio che avete a disposizione e seguite le indicazioni.

Si raccomanda l'uso di un impianto audio di qualità. Un esempio di configurazione economica: amplificatore classe T-Amp, DAC USB, PC con setup audio, connessioni realizzate con cavi dati UTP-cat5.

Primo caso. Il suono è piacevole e realistico, non resta che godervi la musica.

Secondo caso. Il suono è nasale o sembra provenire da una scatola. Il tubo è troppo rigido e si innescano risonanze interne che ne alterano la risposta in frequenza. Aumentate il numero di pieghe nella parte alta del diffusore per aumentare la dissipazione di energia acustica e ridurre le risonanze, se non è sufficiente va utilizzato un materiale più morbido per realizzare il tubo.

Terzo caso. Mancano i bassi. Il tubo è troppo morbido e non funziona da schermo acustico sulle basse frequenze. Il tubo dovrà essere realizzato con un materiale più rigido e/o pesante. In alternativa si può incollare un secondo cilindro per metà della lunghezza alla base in corrispondenza dell'altoparlante, questo accorgimento è stato utilizzato con il cilindro realizzato in cartoncino da 300 g/mq.

Se si producono vibrazioni fastidiose alle basse frequenze controllare il filo che passa dietro il raggio del cestello non tocchi la membrana né lo spider dell'altoparlante.

La riproduzione deve risultare realistica e permettere un facile riconoscimento dei suoni presenti nelle registrazioni. Nessun'altra tecnologia audio permette di avere lo stesso rapporto (costo materiali) / (qualità sonora). L'aspetto strutturale che differenzia maggiormente il diffusore da tutte le altre casse acustiche è l'estrema leggerezza. Non esiste nulla che possa essere confrontato con il suo rapporto (peso) / (qualità sonora), meno di un Kg per ottenere una pressione acustica di 90 dB in qualità realistica.

Buon ascolto.



Configurazione da scrivania 665g

Una serie di prove ha evidenziato che il diffusore acustico 665g posto all'altezza di un metro dal pavimento riproduce in modo più efficace le basse frequenze. Un altoparlante a un metro di altezza pone due problemi: la stabilità e l'eliminazione delle risonanze del supporto. Realizzare un supporto a terra stabile e "sordo" avrebbe un

costo superiore quello del diffusore. Un sistema economico per evitare di rovesciare i diffusori in caso di urti o correnti d'aria è ancorarli al piano di lavoro di una scrivania.



I vantaggi di questa configurazione non si limitano all'acustica ma sono anche ergonomici. Utilizzando dei morsetti e staffe molto sottili si occupano solo pochi centimetri quadrati sul piano di lavoro che resta libero per altre attività.

L'aspetto finale ha anche il vantaggio di essere poco invasivo nonostante le dimensioni, oltre un metro di altezza. La maggior parte delle superficie è trasparente, l'elemento più in evidenza è l'altoparlante che ha un diametro inferiore a 10 cm, anche la staffa di supporto può passare inosservata su un tavolo di lavoro non ordinato.



La configurazione da scrivania del diffusore 665g è ottima per l'ascolto ravvicinato della musica in una postazione di lavoro o di studio. La banda passante è buona, la distorsione ridotta e la potenza più che sufficiente per un ambiente domestico. Quello che rende unico l'ascolto con i diffusori 665g è la presenza di onde secondarie ritardate, attenuate e coerenti con l'emissione primaria dell'altoparlante. Le onde secondarie arrivano nel punto di ascolto prima delle riflessioni non coerenti delle pareti, rendono la scena sonora percepita ampia, dettagliata e con suoni realistici facilmente riconoscibili. Un campo sonoro dello stesso tipo può essere ottenuto solo con l'utilizzo di circuiti elettronici di ritardo e/o altoparlanti multipli.

L'isolamento acustico fra altoparlante e il piano della scrivania è ottenuto con una staffa in piattina di alluminio 2 x 15 x 1000 mm piegata opportunamente. Le pieghe aumentano la cedevolezza in modo da ottenere una risonanza a frequenza infrasonica di pochi Hertz che isola acusticamente l'altoparlante dal supporto nella banda audio udibile. La piattina in alluminio circonda anche il magnete dell'altoparlante e lo fissa in modo stabile e sicuro scaricando completamente le tensioni sul cestello su cui resta applicata solo la forza peso della guida d'onda in pvc trasparente, circa 100 grammi.

Seguono le foto per realizzare la staffa, le pieghe si possono realizzare a mano con l'aiuto di una pinza e del magnete di un altoparlante. Le misure non sono critiche.



Un morsetto per lampade da scrivania con un vite 5 x 20 mm fa da supporto per la staffa in alluminio.





Il filo di collegamento all'amplificatore è esterno e si comporta meccanicamente come elemento smorzante delle oscillazioni. Va sistemato in modo da non provocare vibrazioni spurie né ridurre in modo apprezzabile il tempo di smorzamento dell'oscillazione del diffusore.

Per la verticalità del diffusore può essere necessario piegare delicatamente la staffa dopo il montaggio. Procedere con cautela per evitare che ripetute deformazioni provochino la rottura della staffa stessa. Non è possibile usare un supporto più rigido che resti verticale durante il montaggio in quanto parte delle vibrazioni generate dall'altoparlante verrebbero trasmesse al piano di lavoro della scrivania peggiorando la qualità della riproduzione.

Per un funzionamento corretto è necessario che si possano contare facilmente le oscillazioni provocate spingendo il diffusore fuori equilibrio. Le oscillazioni devono durare almeno una decina di secondi. Tecnicamente: la frequenza di risonanza subsonica deve essere di tra 1 e 5 Hz, inoltre il sistema deve avere un elevato fattore di merito (Q).

Funzionamento



Il diffusore 665g è un monovia con un carico acustico a sezioni multiple.

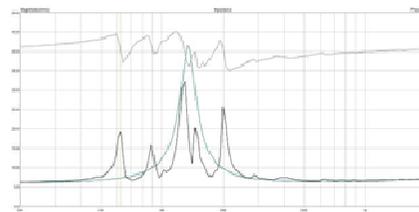
Il diffusore è semplice da realizzare ma ha un funzionamento complesso, con il tubo in PVC trasparente che svolge contemporaneamente le seguenti funzioni:

- guida d'onda sonora;
- radiatore acustico passivo omnidirezionale;
- ritardo acustico;
- contenitore d'aria;

- schermo acustico;
- dissipatore anelastico di energia acustica;
- struttura meccanica semirigida in grado di autosostenersi.

La descrizione che segue utilizza nozioni di fisica e di acustica in particolare ma si può anche studiare il funzionamento del diffusore per acquisire nozioni di fisica ed acustica.

Il carico acustico ha 4 sezioni.



Il grafico mostra l'effetto del carico acustico sull'impedenza dell'altoparlante. La linea verde è ottenuta con l'altoparlante in aria libera, la linea nera è l'impedenza misurata nel diffusore 665g.

Partendo dal basso la **sezione 1** del carico acustico opera sull'intero spettro audio emesso dal lato inferiore dell'altoparlante e a frequenze subsoniche per isolare acusticamente il diffusore dal piano di lavoro della scrivania.

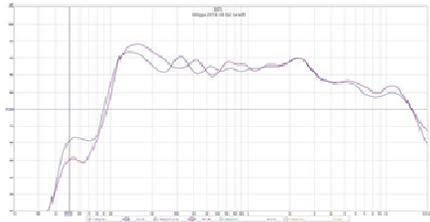
Le onde sonore emesse dal lato inferiore dell'altoparlante sono inviate direttamente nell'ambiente d'ascolto e sono le prime a raggiungere l'ascoltatore con un percorso rettilineo. Tra le onde primarie che arrivano all'ascoltatore prevalgono le basse e medie frequenze, non direzionali, mentre risultano attenuate le frequenze più elevate. Tutte le frequenze emesse dal lato inferiore dell'altoparlante sono diffuse a 360 gradi.

La risonanza subsonica della staffa di supporto impedisce che l'energia delle frequenze udibili generate dall'altoparlante interagisca meccanicamente con il piano di lavoro. La staffa non genera suoni udibili ma eliminando interferenze meccaniche nella gamma udibile migliora la qualità della riproduzione. L'altoparlante virtualmente galleggia ed è la sua inerzia che permette di applicare in modo ottimale la forza all'equipaggio mobile. Sui raggi del cestello è presente solo la forza necessaria a sostenere il foglio di pvc, meno di 100 grammi, e la forza elastica generata dalla deformazione dal bordo in foam del cono dell'altoparlante.

La **sezione 2** del carico acustico è sopra l'altoparlante. La parte cilindrica della guida d'onda funziona come schermo acustico semirigido e come ritardo acustico. Lo schermo acustico permette una buona riproduzione dei bassi mantenendo separate l'onda frontale e l'onda posteriore emesse dall'altoparlante. Il ritardo acustico ritarda l'emissione dell'onda frontale dell'altoparlante di circa 2 millisecondi.

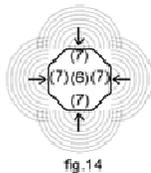
Il trasformatore acustico a guida d'onda è la **sezione 3** del carico acustico. Le onde sonore ritardate che attraversano la guida d'onda ne deformano la sezione ottagonale, le zone in cui si applica una pressione positiva si dilatano radialmente mentre le zone in cui si applica una pressione negativa si comprimono radialmente. I fronti d'onda sonori che attraversano la guida sono piani per cui le deformazioni sono simmetriche rispetto all'asse della guida d'onda ottagonale. L'effetto delle deformazioni è la generazione di una serie di onde sonore secondarie omnidirezionali, attenuate, ritardate (tra i 2 e 3 millisecondi) e coerenti con l'emissione primaria del lato posteriore dell'altoparlante. La deformazione è più ampia alle basse frequenze, diminuisce alle medie e diventa trascurabile per le frequenze più alte che non hanno una energia sufficiente a deformare radialmente la guida d'onda.

Questa sezione ha anche il compito di smorzare risonanze generate dall'aria contenuta nella parte cilindrica della guida d'onda. La deformazione anelastica in corrispondenza delle pieghe funziona come elemento dissipativo che sostituisce il materiale assorbente normalmente utilizzato nei diffusori a guida d'onda.



Nella figura si vede l'effetto della sezione con le pieghe (linea blu): il picco (linea rossa) a 150 Hz è smorzato e aumenta la risposta al di sotto degli 80 Hz. Il grafico è ottenuto con il diffusore 666g nella configurazione (a), in cui lo schermo acustico (sezione 2) e il trasformatore acustico (sezione 3) sono realizzati separatamente e con materiali diversi.

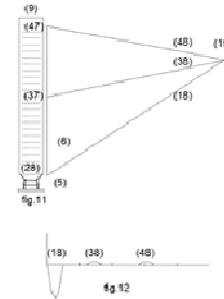
Il diffrattore acustico a guida d'onda è la **sezione 4** del carico acustico. Le onde sonore ritardate che attraversano la guida d'onda emettono per diffrazione onde sonore secondarie omnidirezionali, attenuate, ritardate (circa 3 millisecondi) e coerenti con l'emissione primaria del lato posteriore dell'altoparlante.



La diffrazione è originata in corrispondenza dei fori (7) e del bordo superiore della guida d'onda. Ogni punto di diffrazione genera onde semi-sferiche per cui distribuendo i fori e usando forme simmetriche (ottagono) si ottiene una distribuzione omnidirezionale delle alte frequenze.

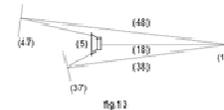
Le tre sezioni superiori della guida d'onda sono percorse da onde piane (6) che si mantengono sempre coerenti con l'emissione primaria del lato posteriore dell'altoparlante. In ogni sezione anulare della guida d'onda la pressione radiale esercitata dalle onde sonore interne è omogenea e dipende unicamente dalla distanza.

Quando si ascolta musica riprodotta in ambiente domestico nel punto d'ascolto si percepisce sia il suono emesso dalla sorgente che i fronti riflessi generati dall'ambiente d'ascolto. Un eccesso di riflessioni rende l'ascolto sgradevole e confuso, nel caso opposto la mancanza di riflessioni rende il suono innaturale in quanto il cervello non lo può associare alle caratteristiche dell'ambiente di ascolto.



Il diffusore 665g emette il primo fronte sonoro che raggiunge il punto d'ascolto (15) percorrendo la retta (18) che ha origine in corrispondenza dell'altoparlante (5), poi emette un serie di fronti secondari attenuati e coerenti (38) (48) che raggiungono il punto d'ascolto in ritardo di pochi millisecondi. Le onde sonore, non coerenti, generate dalle riflessioni dalle pareti raggiungono il punto d'ascolto con ritardi maggiori. A livello psicoacustico i fronti secondari facilitano il riconoscimento dei suoni riprodotti riducendo la rilevanza delle riflessioni dell'ambiente d'ascolto.

Il suono percorre 341 metri al secondo, in un millisecondo 34 cm, per cui una guida d'onda di un metro può generare ritardi fino a tre millisecondi.



L'effetto dei fronti secondari ritardati equivale a quello di pannelli virtuali, acusticamente riflettenti, posti a circa 50 cm dietro l'altoparlante rispetto all'ascoltatore. La guida d'onda non altera il fronte d'onda sonoro che la attraversa per cui il fronte secondario omnidirezionale, attenuato e ritardato non risente di fenomeni di distorsione rispetto al fronte iniziale e mantiene la coerenza di fase con esso. Non esistono le problematiche relative alle riflessioni interne delle casse rigide. La mancanza di riflessioni rende particolarmente efficace la riproduzione dei transienti contenuti nell'involuppo dei suoni: attacco, decadimento e rilascio.

La massa della guida d'onda è di soli 90 grammi ed è realizzata in un materiale di ridotta elasticità, pvc in fogli con pieghe longitudinali, per cui è minimizzato anche il problema delle risonanze attivate dall'energia sonora immagazzinata nella struttura del diffusore.

Per riprodurre le frequenze inferiori alla F_s dell'altoparlante si aumenta virtualmente la massa mobile con l'aria contenuta all'interno della guida d'onda. Si ha anche una diminuzione dell'efficienza e quindi una attenuazione della risposta nella parte più bassa della banda audio ma in un ambiente domestico risultano comunque udibili anche i 50 Hz.

L'ottimizzazione del caricamento acustico dell'altoparlante si può rilevare dal fatto che anche a volume elevato i movimenti del cono dell'altoparlante sono ridotti.

Riassumendo il diffusore 665g è omnidirezionale su tutta la gamma audio, ultraleggero, senza riflessioni interne. L'energia sonora interna è inviata attraverso la guida d'onda per realizzare una funzionalità unica: emettere fronti sonori secondari omnidirezionali, coerenti, attenuati e ritardati su tutta la gamma audio.

Misure

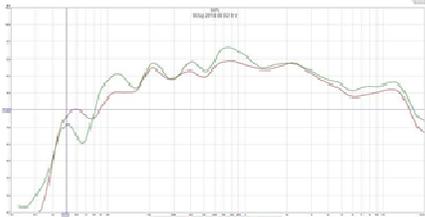
Le seguenti misure sono fatte con la configurazione mostrata nella foto utilizzando il software REW e Arta. Si tratta di misure indicative fatte in ambiente d'ascolto domestico con rumore di fondo non trascurabile, in particolare alle basse frequenze. Meglio delle misure è l'ascolto diretto.

La stanza misura 4 x 4 x 3m, non è trattata acusticamente e riflettente.

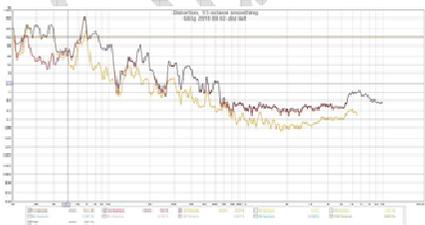


L'impianto utilizza:

- Pc i5 + W10 + REW + Arta,
- Ampli-DAC Teac A-H01 con interfaccia USB,
- Diffusori 665g con altoparlanti 3FE25 Faital-Pro,
- Microfono calibrato MiniDsp UMIK-1 posizionato nella posizione occupata della testa di una persona seduta davanti al monitor.



La linea rossa è il canale sinistro e la linea verde il destro. Le differenze derivano dalla diversa interazione con la stanza dei due canali stereo.



La distorsione normalizzata è elevata ma è prevalente la seconda armonica e l'ascolto risulta comunque gradevole, in un confronto diretto con diffusori con meno distorsione si nota la perdita di dettaglio.

Evoluzione

Sono Claudio Gandolfi, classe 1957. Diploma di perito elettronico, laurea in fisica. Tecnico informatico, insegnante, imprenditore, sperimentatore audio. La Robin srl costituita nel 1997 si è occupata per circa 15 anni di sviluppo software e assistenza hardware, ora è stata riconvertita nel settore audio.

Lo sviluppo del diffusore è frutto di un investimento e divertimento durato circa tre anni.

Decine di prototipi hanno permesso miglioramenti successivi per sfruttare efficacemente i fronti d'onda che viaggiano all'interno di una guida d'onda. L'idea iniziale era realizzare un diffusore economico da abbinare ad amplificatori in classe D (tipo T-Amp) e a DAC USB per l'ascolto della musica liquida. La scelta tecnica era un diffusore monovia con una guida d'onda che funzionasse da schermo acustico per la riproduzione dei bassi con opportuni accorgimenti per rendere regolare la risposta in frequenza.

Allora il mio impianto per l'ascolto della musica era composta da:

- amplificatore Pop-pulse TA2024;
- DAC USB Pop-pulse Super-pro 707;
- casse JonhBlue JB3;
- cavi segnale autocostruiti con cavo UTP-Cat.5;
- cavi diffusori autocostruiti con cavo UTP-Cat.5.

Tutto economico tranne le casse, alcune centinaia di euro.

Le JB3 sono state il termine di paragone su cui ho basato lo sviluppo del diffusore 665g e già nel primo anno ho abbandonato il loro utilizzo in quanto meno precise e realistiche del diffusore a guida d'onda. Non sono in grado di definire in termini assoluti il livello qualitativo del diffusore 665g, le casse JB3 restano l'unico diffusore commerciale che ho ascoltato con attenzione e il mio parere soggettivo è che rispetto ad esse il campo sonoro riprodotto dal diffusore 665g è meglio sotto tutti gli aspetti tranne che per la tenuta in potenza.

Nelle casse acustiche convenzionali il mobile in legno ha il compito di mantenere in posizione stabile l'altoparlante ed è quindi è necessaria una struttura robusta e pesante. Nel diffusore 665g l'altoparlante è montato a pochi mm dal pavimento e con il suo peso mantiene in posizione di lavoro la guida d'onda molto leggera. Sostituendo il legno con la carta o il pvc in fogli si ha un notevole risparmio in termini di materiali, lavorazioni e trasporto. Usando il legno non sarebbe stato possibile realizzare le decine di prototipi fatti nello sviluppo del diffusore 665g.

Lo sviluppo di nuove configurazioni è stato collegato di volta in volta alla necessità di migliorare la qualità audio o semplificare il montaggio utilizzando materiale di facile reperibilità e lavorazione. Spesso la semplificazione nel montaggio ha prodotto anche un miglioramento della qualità sonora.

1. Il primo prototipo utilizza un altoparlante HX101 della Ciare, costruito con piccole scatole di legno collegate a tubi in gomma; ha pochi bassi in quanto i tubi scelti sono troppo piccoli per trasportare energia acustica.



2. Il secondo prototipo realizzato con un cilindro aperto in sughero, alto un metro e con il diametro dell'altoparlante; presenta il problema opposto: bassi rimbombanti.

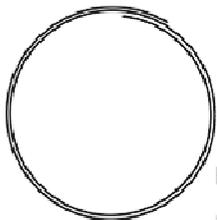


3. Il terzo prototipo utilizza un tubo in plastica per lo scarico dell'acqua alto un metro e con un diametro di 110 mm; il suono migliora ma ci sono ancora troppi bassi.



4. Chiudo il tubo alla base e inserendo all'interno un po' di materiale smorzante e ottengo una riproduzione accettabile in generale, con voci e alcuni strumenti che si sentono in modo particolarmente nitido. L'idea è di realizzare una cassa chiusa a sospensione pneumatica ma mi accorgo che durante l'ascolto le vibrazioni del cilindro sono chiaramente percepibili appoggiando le dita sul tubo. In una cassa chiusa una buona riproduzione dipende dal fatto che l'emissione del lato posteriore dell'altoparlante non interagisce con l'ambiente d'ascolto.

5. Sostituisco il cilindro in plastica con un foglio di cartoncino arrotolato, aumentano le vibrazioni ma aumenta anche la qualità della riproduzione, evidentemente le vibrazioni emettono fronti sonori secondari che migliorano la percezione dei suoni.



6. Aggiungo un piano inclinato a 45 gradi per riflettere le alte frequenze emesse verso l'alto in direzione dell'ascoltatore.



7. Realizzo un subwoofer in carta con l'altoparlante appoggiato direttamente sul pavimento che sostiene un cilindro di carta chiuso. Funziona.



8. Utilizzo cavi per sospendere il cilindro. Ho realizzato Integra001, decido di presentare la domanda di brevetto per il "trasformatore acustico a guida d'onda sospesa". Scrivo anche il manuale omonimo. Da questo momento utilizzo il mio diffusore anche per l'ascolto della musica, le casse JB3 sono relegate in uno scaffale. Forse il diffusore manca un po' di bassi ma tutto è più realistico.

9. Il cilindro e la posizione dell'altoparlante a circa un metro di altezza generano interferenze negative creando un buco nella risposta tra i 150 e i 200 Hz. Affronto il problema realizzando cilindri di lunghezza diversa in modo che i due canali abbiano risonanze a frequenza diversa e si compensino reciprocamente.

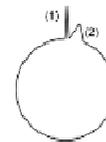


10. Uso una vite e una punta laterale per mantenere in posizione l'anello che sostiene l'altoparlante per isolare acusticamente l'altoparlante dalla staffa di supporto. Il suono risulta più nitido.



11. Decido di utilizzare come altoparlante il 3FE25 della Faital Pro, economico ma con un'elevato rapporto qualità/prezzo.

12. Sostituisco il piano inclinato con un secondo cilindro realizzato con un sottile foglio di carta con pieghe longitudinali, posizionato sopra l'altoparlante. Funziona come guida d'onda deformabile dalle alte frequenze che sono irradiate a 360 gradi nell'ambiente d'ascolto. Presento la domanda di brevetto internazionale per il trasformatore acustico a guida d'onda.



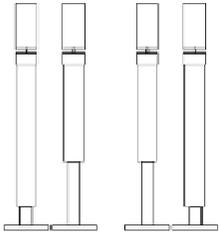
13. Aumentata la qualità di riproduzione delle alte frequenze e mi accorgo della distorsione generata dalla spira con all'interno il materiale ferromagnetico di un raggio del cestello che si realizza collegando direttamente i fili ai contatti dell'altoparlante. Risolvo il problema facendo passare uno dei fili dietro il raggio.

14. Uso come sostegno dell'altoparlante un tubo, interno alla guida d'onda, su cui poggia direttamente il magnete dell'altoparlante stesso. La base è aperta e il sistema ha un funzionamento simile ai diffusori accordati a un quarto d'onda. Con il peso scaricato sul magnete si può alleggerire l'anello di sostegno della guida d'onda.



15. Sostituisco il foglio arrotolato con un cartoncino con una sola piega che permette al cilindro di dilatarsi e comprimersi. Nota l'importanza della precisione della lavorazione per la qualità della riproduzione. Resta il problema della gamma bassa debole.

16. Per ogni canale utilizzo due guide d'onda di lunghezza diversa e la situazione migliora come risposta in frequenza ma il sistema resta sensibile al posizionamento nell'ambiente d'ascolto.

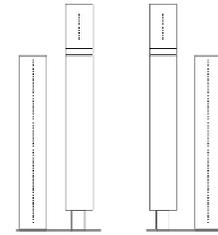


17. Realizzo la guida d'onda con cartoncino ondulato a doppio foglio e la maggiore precisione nella realizzazione delle pieghe, garantito dalla lavorazione automatica, si traduce in una migliore riproduzione. Oltre ai bassi, aumentando il volume, compare anche la distorsione generata dalle deformazioni la cui ampiezza aumenta al diminuire della frequenza portando il punto di lavoro in una zona non lineare.

18. La deformazione non è l'unico sistema per estrarre energia sonora da una guida d'onda, provo con la diffrazione generata da una fila di fori di un paio di mm su un tubo in Polietilene. Funziona. Distribuendo i fori in modo opportuno si ottiene lo stesso campo sonoro omnidirezionale generato dalla guida d'onda deformabile. La diffrazione funziona senza parti meccaniche in movimento ed è quindi adatta anche per la riproduzione di basse frequenze a potenza elevata. La mancanza d'inerzia di parti solide rende la diffrazione adatta anche per la riproduzione delle alte frequenze.



19. La guida d'onda deformabile posta sopra l'altoparlante è sostituita da un cartoncino con una fila di fori di diffrazione. La struttura dei diffusori è piuttosto complessa, per ogni canale ci sono due altoparlanti uguali a larga banda. Il primo altoparlante è per l'unità bassi con una guida d'onda chiusa rigida che lavora per diffrazione. Il secondo altoparlante ha una guida d'onda aperta e deformabile per i medio-bassi e sopra di esso una guida per gli alti che lavora in diffrazione. Il suono è ottimo.

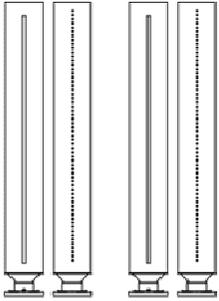


20. Decido di realizzare un prototipo in cartoncino di una struttura da rifare eventualmente in legno. Due guide d'onda quadrate affiancate che sostengono gli altoparlanti, una per i bassi e l'altra per il resto della gamma. Il risultato somiglia a una scatola da scarpe alta un metro. Per ottenere la diffrazione inserisco una striscia di cartoncino ondulato tra i lembi della scatola.

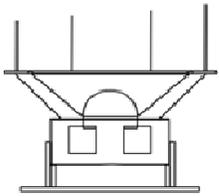
21. Capovolgo la posizione dell'altoparlante che utilizza la diffrazione (inserito nel sistema per riprodurre al meglio i bassi) e ho la conferma che si possono riprodurre le alte frequenze anche con l'altoparlante rivolto verso l'interno del diffusore.



22. Capovolgo il diffusore. Gli altoparlanti in basso in equilibrio su una punta che sostengono le guide d'onda in cartoncino ondulato. Presento la domanda di brevetto per il diffrattore acustico a guida d'onda in Italia. Resta il problema che ogni guida d'onda ha risonanze specifiche e sono necessarie almeno due guide per ogni canale.



23. Sostituisco la punta che sostiene l'altoparlante con un doppio anello in cartoncino. La qualità del suono non cambia ma il tutto è più stabile e più semplice da realizzare.



24. Visto che la diffrazione funziona bene anche con cilindri realizzati in cartoncino ondulato uso la stessa guida d'onda per abbinare le due invenzioni sovrapponendo le guide. Nei primi 90 cm sopra l'altoparlante non ci sono fori di diffrazione e la guida lavora per deformazione (trasformatore acustico). Allargando il diametro a 11 cm si riescono ad ottenere livelli sonori adeguati ad un ascolto domestico senza distorsione. In alto nei restanti 10 cm sono praticati i fori per l'emissione delle alte frequenze per diffrazione. Il cilindro è aperto verso l'alto e l'apertura è un'ulteriore zona di diffrazione.



25. Sostituisco l'anello rigido che unisce l'altoparlante alla guida d'onda con un anello di carta incollato e la maggiore possibilità di deformazione della superficie del cilindro è rivelabile come miglioramento della qualità d'ascolto alle basse frequenze.

26. Applico un tappo in cartoncino al lato superiore del cilindro e l'equilibrio generale del sistema migliora.

27. Elimino la colla tra l'anello in carta e il cilindro. La costruzione diventa ancora più semplice, restano solo tre pezzi: il doppio anello di supporto, l'altoparlante con l'anello in cartoncino, la guida d'onda cilindrica che si infila sopra. Dal punto di vista acustico migliora la risposta alle basse frequenze per l'ulteriore aumento della possibilità di deformazione della base della guida d'onda cilindrica.

28. Allargando il diametro dell'anello in carta e ripiegandone il bordo ho incrementato ulteriormente la risposta alle basse frequenze aumentando la tenuta fra anello e cilindro.

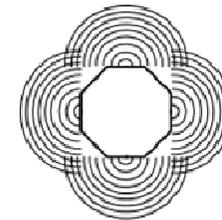
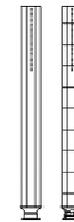
29. La colla che unisce i due fogli del cartoncino ondulato non è adatta alle sollecitazioni delle vibrazioni applicate e dopo un paio di mesi si scolla in un paio di punti generando distorsione. Passo al cartoncino ondulato a singolo foglio utilizzato per la protezione dei pavimenti quando si pitturano le pareti. Il cartoncino è troppo leggero e si attenuano i bassi.

30. Rinforzando la parte iniziale della guida d'onda con un paio di cilindri interni dello stesso materiale si raggiunge una rigidità sufficiente per la riproduzione dei bassi.

31. Provo varie forme e materiali per l'anello di supporto della guida d'onda. Legno, plastica, sughero e infine un semplice anello di carta che prolunga la flangia dell'altoparlante. Il peso della guida d'onda è sostenuto da raggi incollati al doppio anello di supporto.

32. Incollo la guida d'onda direttamente sulla flangia dell'altoparlante e la maggiore tenuta migliora la riproduzione dei bassi.

33. Sostituisco il cartoncino ondulato con un cartoncino liscio da 300 g/mq con alcune pieghe longitudinali. Le fessure di diffrazione diventano quattro distribuite a 90 gradi per azzerare la risultante delle forze generate dalla diffrazione. La gamma medio alta è ottima. La rigidità maggiore del cartoncino abbinata all'elasticità dell'aria innesca risonanze che alterano la risposta nella gamma medio bassa rendendo il suono scatolare. Risolvo il problema aumentando il numero delle pieghe, rendendo la sezione ottagonale. Ogni piega nel cartoncino diventa un dissipatore anelastico di energia acustica che regolarizza la risposta in frequenza. L'equilibrio generale è ottimo.



34. Sostituisco il cartoncino con pvc trasparente da 0,25 mm realizzando una guida d'onda con sezione ottagonale e quattro fessure di diffrazione. Migliora l'estetica del diffusore e la sua robustezza. L'elasticità del PVC peggiora leggermente la qualità del suono riprodotto introducendo una leggera distorsione.

35. Torno alla guida d'onda in cartoncino e aggiungo un tronco di cono che circondando il magnete diminuisce le turbolenze generate dall'emissione posteriore dell'altoparlante. Presento la domanda di brevetto internazionale per il diffrattore acustico a guida d'onda.

36. Cambio la forma della guida d'onda: la sezione è circolare sulla flangia dell'altoparlante e quadrata sul lato aperto della guida d'onda, le pieghe sono fatte su due terzi della lunghezza, le quattro fessure lunghe 4 cm sono realizzate sulle pieghe a due cm dal lato aperto. Il suono migliora ancora è pulito e realistico.

37. Il sistema è troppo debole rispetto ad urti accidentali che creando pieghe nella prima metà della guida d'onda e riducono l'efficacia dello schermo acustico per le basse frequenze. Introduco un secondo cilindro dello stesso cartoncino alla base della guida d'onda raddoppiando lo spessore della stessa.

38. Il doppio anello in cartoncino che sostiene il magnete dell'altoparlante risulta troppo rigido. Lo sostituisco con un disco in cartoncino ondulato che risultando maggiormente anelastico e smorza meglio l'energia acustica delle vibrazioni generate dal magnete dell'altoparlante. Migliora la riproduzione dei bassi.

39. Sostituisco il cartoncino alla base con un disco ricavato da un tappetino in poliuretano espanso utilizzato nelle palestre. Il disco poggiato direttamente sul pavimento fa da supporto al magnete dell'altoparlante. Il suono ha un leggero miglioramento, una maggiore pulizia e un'estensione della gamma bassa.

40. Con il disco in poliuretano migliora sensibilmente la qualità di riproduzione con la guida d'onda realizzata in pvc trasparente. Il pvc presenta anche una migliore riproduzione dei bassi rispetto alla guida d'onda in carta.

41. Il disco ricavato dal tappetino è sostituito da un riquadro di 150x150x30 mm di un pannello fonoassorbente in schiuma poliuretana bugnato con forme piramidali. Il riquadro poggia direttamente sul pavimento, ha nove piramidi e su quella centrale alloggia il magnete dell'altoparlante. Il pannello fonoassorbente rende ancora più nitida la riproduzione.

Il diffusore è pronto. L'obiettivo di realizzare un diffusore economico per l'ascolto della musica liquida è pienamente raggiunto. È ancora migliorabile ma non con materiali economici di facile reperibilità in internet o presso un negozio di ferramenta; considerazione di luglio 2016 rivelatasi molto ottimista.

Dal luglio 2016 al luglio 2017 il diffusore 665g non ha subito modifiche di rilievo. La maggior parte del lavoro è stata la ricerca di un posizionamento ottimale. A fine estate 2017 ho realizzato le prime configurazioni da scrivania con supporto a risonanza subsonica. Il progetto pubblicato in Internet con un paio di versioni successive ha generato diverse migliaia di contatti.

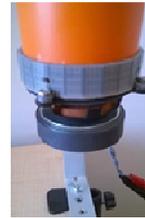
Contemporaneamente ho applicato le tecnologie del diffrattore acustico a guida d'onda e del trasformatore acustico a guida d'onda a un sistema multimediale 2.1 della Philips da utilizzare come audio di un televisore (progetto 621g).

La ricerca della massima qualità degli ultimi mesi (aprile-luglio 2018) ha portato alla realizzazione di versioni con sezioni in materiali diversi per lo schermo acustico, trasformatore acustico a guida d'onda e diffrattore acustico a guida d'onda (666g, 667g e 669g). L'ottimizzazione dei materiali delle sezioni della guida d'onda ha incrementato la risposta sui bassi e ridotto la distorsione migliorando sensibilmente la qualità della riproduzione.

Diffusore 666g

Il diffusore 665g può essere migliorato utilizzando materiali diversi per le varie sezioni del carico acustico. Con un unico foglio che funziona sia da schermo acustico che da trasformatore acustico è possibile ridurre al minimo i costi e i tempi di costruzione ma non ottenere il massimo da uno specifico altoparlante. Per la massima efficacia lo schermo acustico deve essere rigido. All'opposto, per la massima efficacia il trasformatore acustico deve essere facilmente deformabile dalle onde acustiche che lo attraversano. Il diffrattore acustico che è utilizzato principalmente alle alte frequenze funziona adeguatamente con tutti i tipi di materiali.

Nel diffusore 666g lo schermo acustico è un tubo in pvc arancione da 80 mm di diametro esterno e circa 75 mm di diametro interno, è alto 600 mm. Si tratta di tubi utilizzati in edilizia per lo scarico delle acque.



Sono proposti tre livelli di implementazioni: molto semplice (a), difficoltà media (b) e alta (c) che hanno le stesse sezioni 1 e 2 del carico acustico e differiscono nelle sezioni 3 e 4.

Come nel diffusore 665g la **sezione 1** opera sull'intero spettro audio emesso dal lato inferiore dell'altoparlante e a frequenze subsoniche per isolare acusticamente il diffusore dal piano di lavoro della scrivania. L'emissione dal lato inferiore dell'altoparlante è omnidirezionale ed è inviata direttamente nell'ambiente d'ascolto.

Il tubo in PVC rigido è notevolmente più pesante della guida trasparente per cui non si può utilizzare la flangia dell'altoparlante per sostenerlo. Conviene fissare il supporto a risonanza subsonica direttamente al tubo in pvc e usare il tubo per sostenere l'altoparlante. Il supporto subsonico è realizzato con una L (200 x 100 mm) in alluminio con una sezione di 2 x 25 mm.

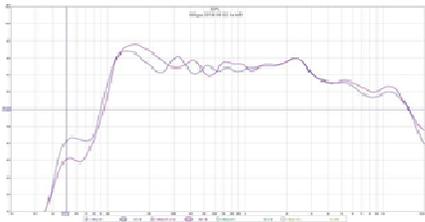
Il diametro interno del tubo in pvc è inferiore al diametro della guarnizione dell'altoparlante per cui durante l'inserimento bisogna forzare leggermente, in compenso è garantita la tenuta d'aria senza l'uso di colle.



Nella foto è utilizzata una flangia in nylon realizzata con una stampante 3D. Qualunque sistema: viti, colle, elastici, fascette in grado di sostenere il peso dell'altoparlante è adatto.

Come nel diffusore 665g la **sezione 2** della guida d'onda funziona come schermo acustico e come ritardo acustico di circa 2 millisecondi per l'emissione frontale dell'altoparlante.

A differenza del diffusore 665g il cilindro è rigido e riduce la distorsione generata da vibrazioni indesiderate veicolate dal foglio in pvc trasparente. Il diffusore 666g con il solo schermo acustico funziona ma il suono non è buono, linea rossa nella figura, lo si percepisce proveniente dal fondo del tubo. La rigidità dello schermo ha come conseguenza che l'aria contenuta al suo interno abbia una forte risonanza a circa 140 Hz.



Da notare che il fatto che gli alti si sentono anche se l'altoparlante è rivolto verso l'interno del tubo. Le frequenze acute provengono dal bordo superiore del tubo e sono emesse per diffrazione dal bordo stesso che svolge la funzione di diffrattore acustico a guida d'onda.

Per migliorare il suono è necessario aggiungere un trasformatore acustico come dissipatore anelastico di energia.

666g configurazione (a)

Il sistema più semplice per realizzare la **sezione 3** del carico acustico è usare un comune foglio di carta A4. Come nel diffusore 665g la sezione 3 del carico acustico funziona da radiatore passivo omnidirezionale per deformazione, da ritardo acustico e da elemento anelastico smorzante delle risonanze interne. Le funzionalità del trasformatore acustico a guida d'onda.



Si avvolge il foglio attorno al tubo e si fissano i lembi su tutta la lunghezza con del nastro adesivo in modo che possa scorrere. Terminata l'unione dei lembi si sposta il cilindro di carta verso l'alto e lo si fissa al tubo in PVC con nastro adesivo. Il suono migliora notevolmente e il diffusore 666g diventa ascoltabile. Il grafico precedente, linea blu, mostra la variazione della risposta in frequenza. Si riduce il picco dovuto alla risonanza a 140 Hz e migliora la risposta sotto gli 80 Hz.

La deformazione anelastica del cilindro in carta riduce il fattore di merito della risonanza dell'aria all'interno del tubo e migliora la risposta in frequenza del diffusore 666g.

Come nel diffusore 665g la **sezione 4** del carico acustico funziona da radiatore passivo omnidirezionale per diffrazione. Le frequenze acute che si sentono provenire da bordo superiore del cilindro in carta sono emesse per diffrazione dal bordo che ora implementa anche la funzionalità di diffrattore acustico a guida d'onda.

Il foglio A4 può essere utilizzato per iniziare l'ascolto mentre si realizzano trasformatori acustici a guida d'onda più sofisticati.

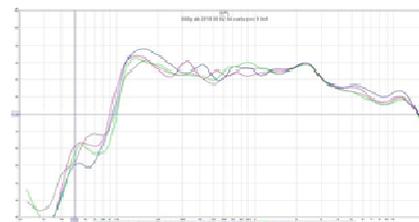
666g configurazione (b)

Sezione 3. Il limite del foglio A4 è che può generare ritardi supplementari rispetto allo schermo acustico (sezione 2) compresi tra 0 e 0,6 millisecondi. Per aver un intervallo più ampio è necessario utilizzare guide d'onda di lunghezza maggiore. Nella foto sono mostrate guide d'onda realizzate in cartoncino da 250 g/mq e pvc trasparente da 0,25 mm ripiegando la guida d'onda di un diffusore 665g su tutta la lunghezza.

Le guide hanno una sezione a forma di poligono a 16 lati con pieghe alternate verso l'interno e verso l'esterno per formare una stella a 8 punte. La lunghezza di 1 metro permette di aggiungere al ritardo del tubo in pvc fino a 3 millisecondi.



Sezione 4. Per aumentare l'effetto della diffrazione è stata realizzata una serie di 16 fori in prossimità del bordo superiore.



In blu la risposta in frequenza con il solo tubo rigido in pvc, in rosso la risposta con la guida d'onda realizzata con il foglio A4 (configurazione a), in verde la risposta con la guida d'onda realizzata con il foglio piegato a stella in carta (configurazione b), in grigio la risposta con la guida d'onda realizzata con il foglio piegato a stella in PVC trasparente (configurazione b).

Il suono riprodotto è risultato migliore con il cartoncino più facilmente deformabile del pvc trasparente. Con carta più leggera 90 g/mq il suono migliora ulteriormente ma basta un piccolo urto per danneggiare la struttura con pieghe indesiderate. La carta ha migliori caratteristiche smorzanti rispetto al pvc e conseguente diminuzione della distorsione.

666g configurazione (c)

Sezione 3. Le risonanze dell'aria all'interno del tubo in pvc interagiscono con le risonanze dell'aria all'interno della guida d'onda in carta e dipendono dalla lunghezza delle guide. Con due guide d'onda: una in pvc rigido e una in cartoncino deformabile è difficile compensare esattamente le risonanze di una guida con l'altra. L'idea alla base della configurazione (c) è di fare interagire il tubo in pvc con sette guide d'onda di lunghezza diversa. La distanza fra fine della guida d'onda e altoparlante va da un minimo di circa 600 mm a circa 1200 mm. Lo scopo è distribuire le risonanze delle guide d'onda in relazione con la loro lunghezza sull'arco di un'ottava.

In altri termini la discontinuità rappresentata dalla fine del tubo cilindrico rigido crea risonanze alle seguenti lunghezze d'onda: $\lambda = 4L/n$ (dove $n = 1,3,5,7,\dots$). La struttura con sette guide d'onda in carta incollate fra di loro distribuisce la discontinuità su una distanza di circa 60 cm.

Con sette guide d'onda è possibile realizzare una struttura sufficientemente rigida anche con un foglio in carta da 90 g/mq e quindi facilmente deformabile dalle onde sonore che lo attraversano.





Ognuna delle sette guide d'onda funziona come trasformatore acustico con la superficie rivolta all'esterno della parte cilindrica. Le onde sonore che attraversano la guida d'onda ne deformano radialmente la sezione dissipando energia elastica rendendo più lineare la risposta in frequenza. Contemporaneamente le deformazioni generano onde secondarie ritardate e coerenti che raggiungono l'ascoltatore con ritardi compresi fra 2 e 4 millisecondi rispetto all'emissione primaria del lato posteriore dell'altoparlante.

Sezione 4. I bordi obliqui realizzati tagliando i cilindri funzionano da diffrattore acustico. La diffrazione genera onde secondarie ritardate e coerenti che raggiungono l'ascoltatore con ritardi compresi fra 2 e 4 millisecondi.

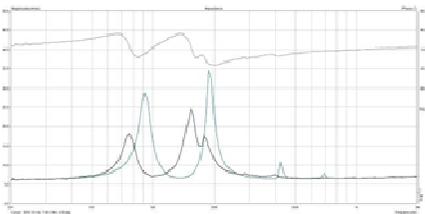
Le deformazioni e le diffrazioni sono generate dallo stesso fronte d'onda che percorre la guida per cui risultano perfettamente sincronizzate.

Utilizzando sette guide d'onda di lunghezza progressiva da 100 a 700 millimetri montate alla fine del tubo in pvc si è ottenuta un'ottima qualità di riproduzione sfruttando quasi al 100% le potenzialità dell'altoparlante larga banda.

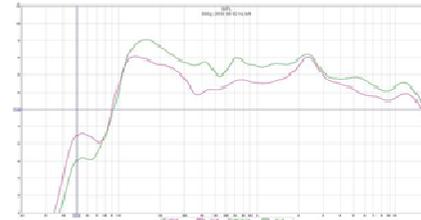


La struttura è complessa, si devono realizzare decine di incollaggi su un materiale facilmente deformabile. In presenza di difetti ogni incollaggio può generare vibrazioni spurie in fase di riproduzione. Le ore di lavoro aumentano ma il risultato che si ottiene le giustifica ampiamente.

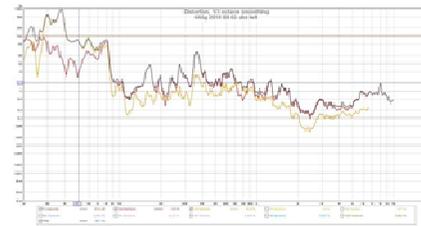
Le misure sono realizzate in ambiente domestico e senza l'uso di apparati professionali. Sono solo indicative del fatto che il diffusore 666g funziona su tutta la banda audio. Per valutare l'effetto specifico delle onde secondarie e ritardate e coerenti non esiste alternativa ad un ascolto diretto. Il microfono è posizionato in corrispondenza delle orecchie di una persona che usa il PC.



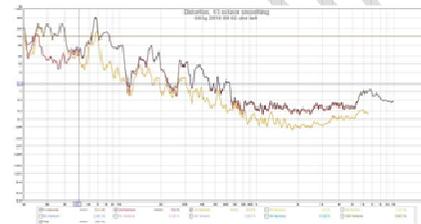
La linea nera è l'andamento dell'impedenza del diffusore 666g e la linea verde è l'impedenza del sistema con il solo tubo in PVC rigido. Si può notare che le sette guide d'onda hanno due effetti: la maggiore lunghezza media riduce le frequenze di risonanza e la deformazione anelastica delle guide d'onda ne riduce l'altezza distribuendole su un intervallo di frequenze più ampio.



In rosso la risposta in frequenza del diffusore 666g con le sette guide d'onda della configurazione (c), in verde la risposta con la sola guida d'onda in PVC rigido.



Il grafico della distorsione del diffusore 666g mostra un miglioramento rispetto al diffusore 665g, dai 100 Hz la distorsione di terza armonica è praticamente sempre sotto il 2%.



Diffusore 667g

Il progetto 667g è la versione da pavimento del diffusore 666g. Nella riproduzione dei bassi sono importanti le dimensioni e con percorsi interni del suono che arrivano a 1,5 metri è possibile sentire bene anche i 50 Hz.

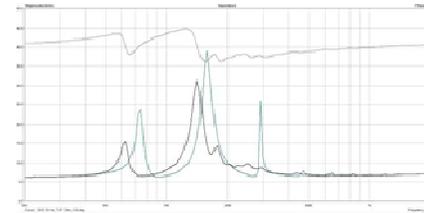
Sezione 1 e 2. L'altoparlante è posizionato a livello del pavimento, lo schermo acustico rigido diventa lungo circa 90 cm. Il maggior peso richiede che la staffa del supporto subsonico sia più robusta; nel prototipo è in acciaio e fissata a una tavola in legno con due viti in modo da regolare l'inclinazione in avanti e indietro. Con le viti posteriori si regola l'inclinazione a destra e sinistra.



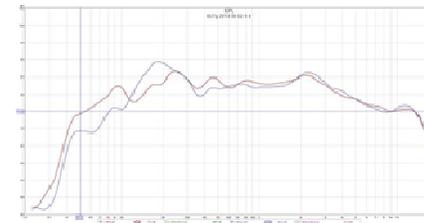
Sezione 3 e 4. Come trasformatore acustico a guida d'onda e diffrattore acustico a guida d'onda è possibile utilizzare lo stesso descritto nel progetto 666g con sette guide d'onda in carta di lunghezza compresa fra 100 e 700 mm.



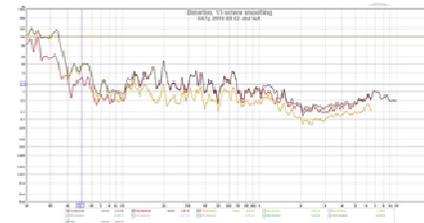
La maggiore lunghezza dello schermo acustico rigido estende verso il basso la risposta in frequenza mantenendo inalterati il realismo della riproduzione e la facilità di riconoscimento dei suoni.



La linea nera è l'andamento dell'impedenza del diffusore 667g e la linea verde è l'impedenza del sistema con il solo tubo in PVC rigido.



In rosso la risposta in frequenza del canale sinistro del diffusore 667g con le sette guide d'onda della configurazione (c), in blu la risposta del canale destro.



Il grafico della distorsione del diffusore 667g mostra un miglioramento rispetto al diffusore 666g, la distorsione prevalente è quella di seconda armonica.

Diffusore 669g

Il progetto 669g è la versione da pavimento che si differenzia del diffusore 667g per l'uso del legno, la sezione quadrata e la presenza di nove guide d'onda in carta con sezione quadrata.

Sezione 1 e 2. La sezione quadrata permette di realizzare la parte rigida della guida d'onda in legno e rende il diffusore simile a casse acustiche tradizionali. Nell'esempio che segue si utilizza compensato in pioppo da 10 mm, la lunghezza della guida è di 1200 mm, i lati esterni di 85 mm e il foro interno è di 65 mm.



La staffa del supporto subsonico, come nel progetto 667g, è in acciaio e fissata a una tavola in legno con due coppie viti in modo da regolare la verticalità.

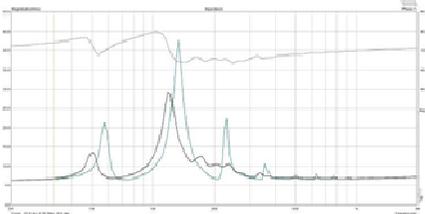


Sezione 3 e 4. Le guida d'onda in carta diventano nove per motivi geometrici. Ogni guida d'onda in carta è quadrata e ha una sezione di 20x20mm, le lunghezze sono comprese fra 100 e 700 mm. Le nove guide d'onda formano una matrice quadrata 3 x 3.

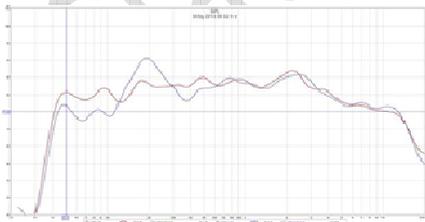




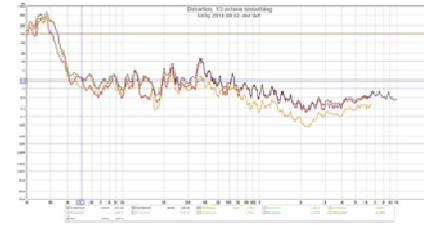
L'ulteriore incremento della lunghezza dello schermo acustico rigido estende ancora verso il basso la risposta in frequenza mantenendo inalterati il realismo della riproduzione e la facilità di riconoscimento dei suoni.



La linea nera è l'andamento dell'impedenza del diffusore 669g e la linea verde è l'impedenza del sistema con il solo tubo quadrato in multistrato.

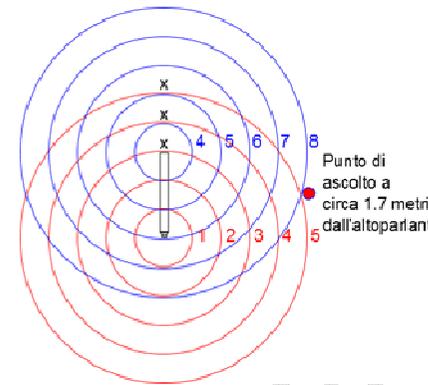


In rosso la risposta in frequenza del canale sinistro del diffusore 669g con le nove guide d'onda a sezione quadrata, in blu la risposta del canale destro.



Il grafico della distorsione del diffusore 669g mostra un miglioramento rispetto al diffusore 667g, la distorsione prevalente è quella di seconda armonica.

Acustica dei diffusori 6XXg



Il lato posteriore dell'altoparlante emette l'onda primaria (rossa) mentre il lato anteriore invia l'energia acustica (in controfase) all'interno della guida d'onda che la emette all'esterno in corrispondenza del suo lato superiore come onda secondaria ritardata, attenuata e coerente (blu).

Sono rappresentate solo le onde secondarie emessa alla fine della guida d'onda, nella realtà ogni sezione anulare del trasformatore acustico a guida d'onda e ogni foro del diffrattore acustico a guida d'onda emettono onde secondarie attenuate, ritardate e coerenti a cui si applicano le stesse considerazioni.

In figura è schematizzata la propagazione dei fronti sonori generati da un impulso: un segnale a 1 KHz della durata di 1 msec (un periodo). I numeri rappresentano i ritardi in millisecondi necessari ai fronti per propagarsi e raggiungere il punto d'ascolto, 5 millisecondi per l'onda primaria e 8 millisecondi per l'onda secondaria. La guida d'onda è considerata lunga circa un metro ed è percorsa dal suono in 3 millisecondi.

Si ragiona in termini qualitativi e non quantitativi. Per semplificare:

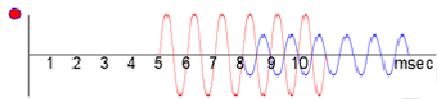
- si considerano l'altoparlante e l'impianto ideali,
- sono trascurate le riflessioni dell'ambiente d'ascolto,
- sono considerati sferici sia il fronte emesso dal lato inferiore dell'altoparlante che quello emesso dal lato superiore della guida d'onda,

- sono trascurate le variazioni d'ampiezza, rappresentate dimezzando l'altezza dell'onda secondaria rispetto alla primaria,
- non sono considerate le differenze fra i fronti percepiti dai due orecchi che si trovano in punti diversi.

La risposta all'impulso può essere assimilata al comportamento della riproduzione delle fasi transitorie dell'involuppo di un suono: attacco, decadimento e rilascio. Dal grafico si vede che a una frequenza di 1 KHz l'onda primaria e la secondaria sono nettamente separate e possono trasportare informazioni sulla dimensione di una sorgente sonora che emette energia nello stesso istante da punti diversi.



La risposta a una serie di impulsi (6 per comodità di disegno) può essere assimilata al comportamento stazionario della riproduzione della fase di mantenimento dell'involuppo di un suono. Dal secondo grafico si vede che a una frequenza di 1 KHz l'onda primaria e la secondaria interagiscono con tre modalità distinte: solo primaria, primaria + secondaria, solo secondaria e possono trasportare anche in questo caso informazioni sulla dimensione della sorgente sonora.



L'effetto della tridimensionalità della sorgente sonora si percepisce a 360 gradi sul piano orizzontale e si annulla sulla verticale del diffusore. In tutti i punti della verticale l'onda primaria e quella secondaria arrivano nello stesso istante. Nel disegno alcuni di questi punti sono indicati con la lettera X.

Le considerazioni fatte per il punto d'ascolto valgono per ogni oggetto riflettente che si trova sul piano orizzontale che diventa a sua volta origine di onde riflesse che contengono informazioni coerenti sulla dimensione della sorgente audio riprodotta.

La mancanza di riflessioni interne al diffusore permette una gestione ottimale dei fronti d'onda secondari ritardati, attenuati e coerenti con l'emissione primaria dell'altoparlante.

Al momento non sono note metodologie di misura standardizzate per questo tipo di effetto acustico.

Psicoacustica delle onde secondarie dei diffusori 6XXg

Le ipotesi di lavoro che seguono sono state utilizzate per lo sviluppo dei progetti 6XXg e si sono evolute di pari passo all'evoluzione dei diffusori. Sono da considerare una base di discussione per gli effetti sull'ascolto delle onde secondarie e soggette a ulteriori variazioni.

Dopo l'emissione primaria dell'altoparlante che arriva alle orecchie dell'ascoltatore percorrendo il percorso rettilineo più breve, il trasformatore acustico a guida d'onda e il diffrattore acustico a guida d'onda emettono una serie di onde secondarie ritardate attenuate e coerenti con l'emissione primaria. Le onde secondarie coerenti arrivano nel punto d'ascolto prima delle riflessioni generate dagli oggetti e dalle pareti dell'ambiente; il risultato è un maggiore realismo della riproduzione e un facile riconoscimento dei suoni registrati.

Le stesse onde secondarie ritardate e coerenti potrebbero essere generate elettronicamente o con altoparlanti multipli. Sono in commercio vari tipi di dispositivi di condizionamento del segnale che hanno lo scopo di migliorare la percezione dei suoni riprodotti con algoritmi specifici. Anche un array di altoparlanti, diffusori

planari con dimensione superiore al metro o la configurazione D'Appolito generano fronti sonori coerenti e ritardati.

La presenza di onde secondarie ritardate e coerenti aumenta il realismo della riproduzione in quanto simula la presenza di fronti sonori emessi nello stesso istante da punti diversi della sorgente sonora registrata. Negli strumenti musicali, nelle persone, negli animali non è mai un unico punto ad emettere energia sonora, ritardi di 2-5 millisecondi simulano l'effetto prodotto da strumenti o corpi di 70-170 centimetri. Le onde secondarie coerenti prodotte dai diffusori 6XXg non hanno solo i ritardi adatti ma provengono effettivamente da punti diversi nello spazio, nessuna sorgente puntiforme può ricreare questo effetto senza una complessa rielaborazione del segnale stereo registrato che resta valida in zone limitate dell'ambiente d'ascolto.

Il senso dell'udito si è evoluto per riconoscere la sorgente sonora e l'ambiente che la circonda, la sorgente è un termine di paragone per avere informazioni sull'ambiente d'ascolto e le riflessioni dell'ambiente possono complicare il riconoscimento del suono. Uno stereo può riprodurre alla perfezione le riflessioni registrate di un ambiente con caratteristiche acustiche totalmente diverso da quello in cui si ascolta. Può capitare che il locale d'ascolto aggiunga riflessioni che confondono il cervello con segnali in contrasto con i segnali registrati.

Usando uno stereo con sorgenti puntiformi all'ascoltatore arriva prima il suono diretto della sorgente registrata che contiene segnali emessi in posizioni diverse nello stesso istante, i ritardi sono corretti ma risultano riprodotti nello stesso punto. Se la stanza d'ascolto è più piccola del locale della registrazione successivamente arrivano le riflessioni introdotte dalla stanza e infine le riflessioni presenti nel locale in cui è avvenuta la registrazione. L'ascoltatore deve decodificare tre informazioni in contrasto fra di loro: la sorgente sonora tridimensionale riprodotta come puntiforme, l'ambiente d'ascolto che riflette le onde sonore di una sorgente puntiforme, l'ambiente della registrazione che può essere molto diverso. Non è detto che sia un'esperienza gradevole.

Per migliorare le cose si può eliminare la sorgente puntiforme con un array di altoparlanti, diffusori planari o una configurazione D'Appolito e trattare la stanza d'ascolto per minimizzare le riflessioni tipiche del locale. Il risultato è la riproduzione più fedele possibile all'esecuzione originale, chiudendo gli occhi si può avere l'impressione di assistere all'evento. Gli occhi è meglio tenerli chiusi in quanto quello che si sente non corrisponde a quello che circonda l'ascoltatore. Spesso l'area d'ascolto ottimale si riduce ad una zona limitata in corrispondenza del vertice del triangolo con alla base la linea che unisce i due diffusori.

Le emozioni prodotte dall'ascolto della musica registrata si possono ottenere anche senza trattare acusticamente il locale e con un economico altoparlante larga-banda utilizzando uno dei progetti 6XXg.

Il trasformatore acustico a guida d'onda e il diffrattore acustico a guida d'onda aggiungono onde secondarie ritardate e coerenti a tutte le sorgenti anche se la registrazione è stata fatta con microfoni posizionati in punti non ideali. L'effetto potrebbe modificare la percezione della sorgente registrata ma in nessun caso può farla ridiventare puntiforme. Successivamente l'onda primaria e quelle secondarie sono riflesse dall'ambiente arrivano all'ascoltatore che le percepisce come compatibili con una sorgente tridimensionale presente nella stanza. L'emissione omnidirezionale in un ambiente riflettente aumenta l'effetto delle onde riflesse dal locale d'ascolto. Quando si riproducono le riflessioni della sala di registrazione per l'effetto Haas il cervello percepisce queste ultime come una prosecuzione dei segnali precedenti. La successione: onda primaria, onde secondarie coerenti e ritardate, riflessioni del locale d'ascolto, riflessioni della sala di registrazione diventano per il cervello un unico suono più facile da interpretare e piacevole da ascoltare. Diminuisce il tempo necessario alla memoria per la decodifica dei suoni e aumenta il tempo a disposizione della fantasia.

La riproduzione è simile all'ascolto dal vivo degli strumenti nella propria stanza. Non sono le condizioni di massima fedeltà alla registrazione originale ma può essere molto divertente. Tenendo gli occhi aperti c'è l'inconveniente che non si vedono gli strumenti che si stanno ascoltando. La zona d'ascolto ottimale è ampia e si può seguire al meglio la musica in ogni punto della stanza.

Diffusori omnidirezionali 6XXg e ambiente d'ascolto

Con la musica registrata si percepisce sempre il risultato dell'interazione della catena di riproduzione con l'ambiente d'ascolto, con un'acustica non adatta può suonare male anche lo strumento dal vivo.

L'ascolto con i diffusori 6XXg può essere favorito o penalizzato dall'interazione con l'ambiente d'ascolto, in particolare l'emissione a 360 gradi delle alte frequenze è adatta anche in ambienti riflettenti non trattati acusticamente. L'emissione omnidirezionale redistribuisce l'energia delle alte frequenze (normalmente concentrata in un lobo frontale) evitando che peggiori la qualità della riproduzione. In un ambiente con molto materiale acusticamente assorbente: tende, tappeti, scaffali di libreria aperti, ecc., si sono verificati livelli di riproduzione sugli alti ridotti. Anche in questo caso l'ascolto può risultare comunque gradevole per la presenza delle onde secondarie. La presenza di oggetti che possano funzionare da specchi acustici migliora la riproduzione. Si possono sistemare gli altoparlanti e la fine della guida d'onda vicino a copertine di libri, ante di mobili, superfici vetrate, ecc...

Sui bassi si possono verificare due situazioni sfavorevoli. Nella prima sono presenti picchi nella risposta derivanti dalla geometria del locale e in questo caso i diffusori li compensano parzialmente funzionando da trappole acustiche, le pieghe della guida d'onda sono in grado di dissipare energia in modo anelastico e ridurre l'effetto rimbombo. Nella seconda sono presenti buchi nella risposta legati alla geometria del locale, in questo caso va ricercato un migliore posizionamento dei diffusori.

Cavi 662g e impianto

L'impianto utilizzato per lo sviluppo dei diffusori 6XXg è composto da:

- Sorgente di musica liquida: PC + TIDAL;
- Amplificatore-DAC: TEAC A-H01;
- Cavi diffusori 662g autocostruiti in configurazione quadripolare.

La scelta di TIDAL in un Pc con Internet mette a disposizione milioni di titoli in qualità CD.

L'amplificatore con DAC integrato semplifica il cablaggio dell'impianto.

Nei cavi dei diffusori le perdite legate ai parametri elettrici (resistenza, capacità e induttanza) ci sono e vanno minimizzate ma non è da sottovalutare il fatto che passa un segnale di potenza e il cavo stesso è di fatto un'antenna che genera disturbi elettromagnetici che interagendo con il resto dell'impianto possono peggiorare la riproduzione.

La configurazione quadripolare adottata presenta diversi vantaggi.

Per ogni polo i conduttori raddoppiano e di conseguenza si riduce la resistenza e l'eventuale effetto pelle.

La riduzione della capacità parassita è ottenuta utilizzando come supporti i distanziatori a croce in plastica per la posa delle piastrelle di ceramica. I conduttori hanno una distanza relativa di alcuni cm e una capacità di un ordine di grandezza inferiore alla configurazione con gli stessi conduttori alla distanza di 1-2 mm all'interno di una guaina. Il fatto che in vari punti i cavi piegandosi arrivino a toccarsi non ha molta influenza sulla capacità totale che si mantiene al di sotto di 30 pF/m.



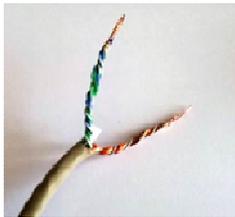
Un'onda sonora con una frequenza di 10 KHz ha una lunghezza d'onda di soli 3,4 cm.

Un'onda elettromagnetica a 10 KHz ha una lunghezza d'onda di 30 Km per cui il campo magnetico alternato generato dall'induttanza del cavo dei diffusori, se abbastanza intenso, può influenzare contemporaneamente tutti gli apparati dell'impianto generando interferenze. Posizionando in diagonale i due fili dello stesso polo elettrico,

lateralmente al cavo si avrà sempre l'effetto di spire che generano campi magnetici opposti riducendo le possibili interferenze sugli apparati audio e mantenendo ridotta l'induttanza parassita.

Nel caso in cui i cavi 662g siano troppo ingombranti o scomodi una valida alternativa è utilizzare un cavo UTP cat6 per reti dati Ethernet in rame. Vanno collegati assieme i colori:

- bianco-arancio, arancio, bianco-marone, marrone
- bianco-verde, verde, bianco-blu, blu



La capacità aumenta a circa 100 pF/m ma sono molto più comodi da usare. La configurazione elettrica è sempre quadripolare con un separatore plastico interno che mantiene in posizione diagonale le coppie di fili. Resta minimizzata l'emissione di disturbi elettromagnetici.

Diffusore 621g

La base del diffusore 621g è un sistema multimediale amplificato, in questo esempio un A2.310/20 della Philips.



Con pochi euro e un paio di ore di lavoro si possono trasformare i satelliti da posizionare a fianco del monitor in diffusori omnidirezionali in grado di generare un'immagine sonora molto più ampia degli originali contenitori in plastica.



Questo è il sistema più economico per provare gli effetti delle tecnologie del trasformatore acustico a guida d'onda e del diffrattore acustico a guida d'onda, descritti nelle sezioni 3 e 4 dei precedenti progetti.

La presenza del subwoofer semplifica notevolmente il lavoro in quanto tutti i segnali ad alto contenuto energetico delle frequenze più basse continuano ad essere riprodotti con il progetto originale.

Smontare gli altoparlanti dai satelliti conservando il comando di accensione e il controllo di volume inserito in uno di essi.

Si realizzano due guide d'onda cilindriche in pvc trasparente con fogli da 0,25 mm. Si può utilizzare biadesivo o altri tipi di nastri o colle. L'altezza può essere di circa 50 cm e il diametro adatto a essere incollato sulla flangia degli altoparlanti.

Per un terzo della lunghezza si realizzano delle pieghe trasformando la sezione da circolare a ottagonale.

Nella parte alta della guida d'onda si praticano quattro tagli contrapposti di 3-4 cm (i fori circolari sono ininfluenti e derivano da prove precedenti).



Con colla a caldo si fissano le guide d'onda alle flange degli altoparlanti.



Con i circuiti accessibili è consigliabile ricablare gli altoparlanti, si può utilizzare un cavo di rete cat.5 o superiore.

I diffusori 621g vanno posizionati ai lati del monitor su riquadri in gommapiuma dove continuano ad occupare lo stesso spazio dei satelliti originali. Il subwoofer resta nella posizione originale e il sistema è pronto per l'ascolto.

Il suono è notevolmente diverso. Alle orecchie non arriva più solo il suono emesso direttamente dall'altoparlante in posizione ravvicinata e una sovrapposizione casuale di riflessioni interne e onde riflesse. Alle orecchie arrivano prima le onde sonore primarie emesse dal lato inferiore dell'altoparlante. Successivamente arrivano le onde secondarie coerenti ritardate di 1, 2 millisecondi dalle guide d'onda. L'immagine sonora percepita risulta molto più ampia dell'originale e i suoni riprodotti sono riconoscibili più facilmente.

Il sistema visibile nelle foto è attualmente utilizzato come audio di un televisore LCD nascosto dietro una griglia in tela nera.

Nei sistemi 2.0 l'applicazione è più complicata in quanto i satelliti devono riprodurre anche le basse frequenze che generano pressioni elevate in grado di deformare la guida d'onda che deve essere costruita con una precisione molto maggiore. Nel caso si vogliano trasformare dei sistemi 2.0 meglio utilizzare il progetto 666g con parte della guida d'onda rigida.

Brevetto

Segue un estratto della traduzione della domanda di deposito del brevetto internazionale PCT/IT2015/000310 del: diffrattore acustico a guida d'onda. La domanda precede almeno una decina di ulteriori modifiche per cui si rilevano alcune differenze. Il brevetto resta il documento base per la proprietà industriale mentre per realizzare un prototipo conviene fare riferimento ai paragrafi sul funzionamento e sull'evoluzione del progetto.

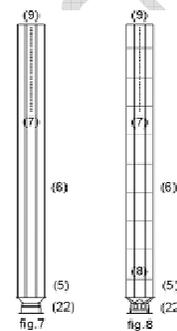
Si tratta della domanda di deposito del brevetto del diffrattore acustico a guida d'onda ma molte delle considerazioni sul suo funzionamento sono valide anche per il trasformatore acustico a guida d'onda. Entrambi sono omnidirezionali sul piano orizzontale ed emettono onde sonore secondarie coerenti, attenuate e ritardate.

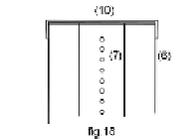
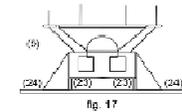
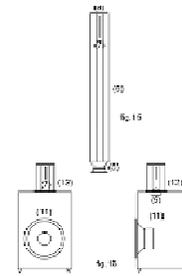
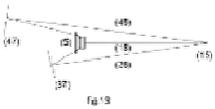
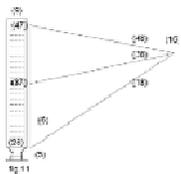
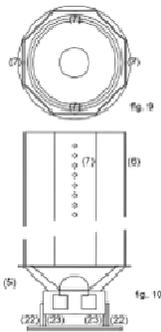
Riassunto

È descritto un diffrattore acustico a guida d'onda comprendente: una guida d'onda (6), di forma allungata a sezione ottagonale aperta ai lati realizzata con un foglio di cartoncino ripiegato, un altoparlante (5) atto a generare onde sonore (8) inviate all'interno della guida d'onda (6) e a sostenere la guida d'onda (6) fissata alla flangia dell'altoparlante (5) stesso, una base d'appoggio costituita da un doppio anello cilindrico (22, 23) che mantiene in posizione l'altoparlante (5) isolandolo acusticamente dal pavimento, in cui la guida d'onda (6) ha più serie di fori (7) sulla parete laterale e svolge contemporaneamente le seguenti funzioni:

- guida d'onda (6),
- radiatore acustico passivo omnidirezionale,
- ritardo acustico,
- contenitore,
- schermo,
- dissipatore anelastico di energia acustica,
- elemento strutturale autoportante e leggero.

Disegni





Descrizione

La presente invenzione è un diffrattore acustico a guida d'onda. È un diffusore acustico con emissione omnidirezionale orizzontale sull'intera banda audio in grado di generare un campo sonoro realistico.

La struttura è estremamente leggera, realizzabile con materiali economici di facile reperibilità e lavorazione.

Nella progettazione delle casse acustiche, la diffrazione prodotta dagli spigoli è un effetto indesiderato che si cerca di minimizzare: al contrario nella presente invenzione si utilizza una geometria che ne massimizza gli effetti.

Nella riproduzione di un brano musicale registrato è critico il posizionamento dei diffusori acustici nell'ambiente d'ascolto. Le onde sonore che arrivano direttamente dai trasduttori al punto d'ascolto precedono le riflessioni generate dalle pareti e dagli oggetti presenti nell'ambiente. Troppe riflessioni rendono l'ascolto confuso, poche riflessioni rendono innaturale il suono in quanto l'udito non può ricostruire mentalmente le caratteristiche dell'ambiente.

Un primo obiettivo della presente invenzione è facilitare il posizionamento dei diffusori acustici nell'ambiente d'ascolto e rendere l'ascolto realistico. Il primo fronte d'onda (18) percepito dall'ascoltatore è relativo all'onda sonora che percorre la distanza più breve tra l'altoparlante (5) e il punto d'ascolto (15). Successivamente, sono emesse per diffrazione onde sonore secondarie (38, 48) con fronti d'onda ritardati dal percorso all'interno della guida d'onda (6) che raggiungono il punto d'ascolto prima delle riflessioni generate dalle pareti e dagli oggetti presenti nell'ambiente d'ascolto. Intensità e i ritardi delle onde secondarie (38, 48) sono identiche per i due canali stereo, sono controllabili a livello progettuale e prevalgono a livello psicoacustico sulle riflessioni dell'ambiente d'ascolto, rendendo realistico il campo sonoro riprodotto. L'emissione omnidirezionale in orizzontale evita che l'energia sonora concentrata su un singolo oggetto o parete nell'ambiente generi riflessioni che risultino predominanti o eccessive in una parte dello spettro audio.

Il suono di uno strumento musicale deriva dalla combinazione dei modi vibrazionali delle sue parti, nello stesso istante si generano onde sonore in punti diversi della sua struttura. Le dimensioni degli strumenti variano nella maggior parte dei casi da 50 cm a un paio di metri, per cui onde sonore emesse contemporaneamente da parti

distinte possono arrivare all'ascoltatore sfasate di alcuni millisecondi. Lo sfasamento delle onde sonore emesse nello stesso istante è ulteriormente aumentato dai possibili percorsi delle riflessioni nell'ambiente d'ascolto. I ritardi introdotti dagli sfasamenti contribuiscono alla percezione delle caratteristiche sia del suono emesso dallo strumento sia dell'ambiente in cui si ascolta.

Un secondo scopo di questa invenzione è simulare la dimensione dello strumento musicale emettendo frazioni di energia sonora della stessa onda più volte, con ritardi crescenti e in posizioni diverse.

I suddetti e altri scopi e caratteristiche dell'invenzione, quali risulteranno dalla seguente descrizione, sono ottenuti da un diffrattore acustico a guida d'onda come rivendicato nella rivendicazione 1. Forme di realizzazione preferite e varianti non banali della presente invenzione formano l'oggetto delle rivendicazioni dipendenti.

Resta inteso che le rivendicazioni allegate costituiscono parte integrante della presente descrizione.

La presente invenzione sarà meglio descritta da alcune forme di realizzazione preferite, esemplificative e non limitative, con riferimento ai disegni allegati, in cui:

(... ..)

La figura 7 è una vista frontale del diffrattore secondo una seconda forma di realizzazione preferita della presente invenzione.

La figura 8 è una vista schematica frontale in sezione del diffrattore di figura 7.

La figura 9 è una vista schematica dall'alto del diffrattore di figura 7.

La figura 10 illustra in sezione il dettaglio della base dell'altoparlante del diffrattore in figura 7.

La figura 11 illustra il percorso delle onde sonore emesse dal lato posteriore dell'altoparlante e i percorsi relativi alle onde sonore secondarie emesse per diffrazione da un foro al centro della guida d'onda e un foro alla fine della guida d'onda.

La figura 12 illustra l'andamento della pressione acustica nel punto d'ascolto per un segnale acustico, formato da una sola semionda positiva a 1 KHz, inviato all'altoparlante considerando solo l'emissione posteriore e quella dei fori.

La figura 13 illustra una configurazione virtuale in grado di generare l'andamento della pressione acustica descritta in figura 12.

La figura 14 illustra la distribuzione omnidirezionale delle onde secondarie emesse per diffrazione e le principali forze generate dalla diffrazione stessa.

La figura 15 illustra come i fori possono essere sostituiti da una sottile fessura.

La figura 16 illustra come il diffrattore acustico possa essere utilizzato in un sistema a 2 vie.

La figura 17 illustra come diminuire le turbolenze generate dall'emissione posteriore dell'altoparlante.

La figura 18 illustra la sezione di un tappo che copre l'apertura superiore della guida d'onda (7).

(... ..)

Secondo la seconda forma di realizzazione preferita del diffrattore acustico della presente invenzione, come illustrata nelle figure da 7 a 18, un foglio di cartoncino da 350 g/mq ripiegato con una sezione ottagonale è la guida d'onda aperta ai lati utilizzata nel diffrattore acustico a guida d'onda.

La posizione vicina al pavimento dell'altoparlante presenta due vantaggi: semplifica la costruzione del diffusore e facilita l'eliminazione di vibrazioni indesiderate.

Al di sopra dell'altoparlante resta solo la guida d'onda (6), fissata alla flangia dell'altoparlante (5), che può essere realizzata anche con materiali molto leggeri come il cartoncino. Il baricentro del diffusore è vicino al pavimento e coincide con l'altoparlante: questo rende il diffusore stabile.

La vicinanza tra l'altoparlante e il pavimento, separati da un materiale anelastico come la carta, evita che si generino vibrazioni indesiderate che si propagherebbero alla struttura.

Nel diffrattore acustico a guida d'onda della presente invenzione, l'onda sonora (18) emessa dal lato posteriore dell'altoparlante è inviata direttamente nell'ambiente d'ascolto. L'onda sonora (28) emessa dal lato anteriore dell'altoparlante (5) è inviata all'interno della guida d'onda (6). La guida d'onda non ha rilievi trasversali per cui l'onda emessa al livello del pavimento dall'altoparlante (5) viaggia fino all'altezza delle orecchie dell'ascoltatore (15) senza generare riflessioni e infine esce dal lato aperto della guida d'onda (9).

Lungo il percorso l'onda sonora interna genera per diffrazione, in corrispondenza dei fori (7), onde sonore secondarie (38, 48) con ritardi crescenti rispetto all'onda sonora (18) emessa dal lato posteriore dell'altoparlante e con fronti d'onda sferici (fig.14) con centro in corrispondenza dei fori (7).

La diffrazione sonora dipende dalla velocità del suono nell'aria e dai parametri geometrici del diffrattore acustico: quindi, le onde secondarie emesse per diffrazione in punti diversi e in momenti diversi si propagano con intensità e ritardi predeterminati anche nel punto d'ascolto. Intensità e ritardi sono identici per i due canali stereo. Le onde sonore secondarie raggiungono il punto d'ascolto prima delle riflessioni generate dalle pareti della stanza d'ascolto. A livello psicoacustico l'effetto delle onde secondarie (38, 48) diffratte dal diffusore prevale sull'effetto delle riflessioni dell'ambiente d'ascolto, facilitando il riconoscimento dei singoli suoni, rendendo la riproduzione realistica e riducendo la criticità della posizione sia dei diffusori, sia dell'ascoltatore.

Ogni foro (7) è complanare ad altri tre fori distribuiti simmetricamente alla stessa distanza dall'altoparlante.

Si ottiene una emissione orizzontale omnidirezionale su tutta la gamma audio da 20 Hz a 20 KHz, efficace su un angolo di 360 gradi come evidenziato in figura 14.

La simmetria dei fori rende nulla la risultante delle forze derivanti dai fenomeni diffrattivi riducendo al minimo la perturbazione dell'onda sonora interna (8). L'emissione orizzontale omnidirezionale evita che l'energia sonora si concentri in alcuni settori angolari in cui siano presenti oggetti o pareti in grado di generare eccessive riflessioni in una parte dello spettro audio.

La guida d'onda (6) lunga 1 metro, fissata all'altoparlante (5), permette di generare ritardi da 0 a circa 3 millisecondi. Il campo sonoro prodotto dal diffrattore acustico a guida d'onda equivale a quello prodotto da un altoparlante virtuale (5') posto in corrispondenza del diffusore e all'altezza delle orecchie dell'ascoltatore (15), circondato da una serie di pannelli acusticamente riflettenti (37', 47') arretrati rispetto all'altoparlante virtuale (5') se visto dal punto d'ascolto (15). La distanza fra pannelli virtuali (37', 47') e altoparlante virtuale (5') è circa la metà della distanza fra altoparlante reale (5) e i fori di diffrazione (37, 47). L'emissione è omnidirezionale per cui se l'ascoltatore (15) si sposta anche i pannelli virtuali (37', 47') si spostano dietro l'altoparlante virtuale (5') che resta fisso. L'ascoltatore può muoversi liberamente di fronte ai diffusori avendo sempre un'ottima immagine stereofonica. Anche nel caso di più persone sedute di fronte ai diffusori tutti ascolteranno in ottime condizioni acustiche.

Il volume d'aria contenuto all'interno della guida d'onda (6) aperta sul lato superiore (9) ha una massa che si aggiunge alla massa mobile dell'altoparlante (5) riducendone la frequenza di risonanza e migliorando la risposta del diffrattore acustico alle basse frequenze.

Dalle prove empiriche effettuate sui prototipi, si è verificato che l'efficacia dello schermo acustico costituito dalla guida d'onda (6) si può ottenere anche con materiali deformabili dalle onde sonore come il cartoncino. La densità di un cartoncino da 350 g/mq è sufficiente per confinare le onde sonore emesse all'interno della guida d'onda (6). Le deformazioni elastiche del cartoncino sono utilizzate per dissipare energia acustica e smorzare le basse frequenze all'interno della guida d'onda (6). Medie e alte frequenze non sono attenuate in quanto l'inerzia dovuta alla massa del cartoncino impedisce che generino deformazioni apprezzabili. La massima deformazione lineare della sezione della guida d'onda per effetto della pressione acustica interna limita la massima pressione acustica utilizzabile dal diffrattore acustico. La presenza degli spigoli dell'ottagono aumenta la massima deformazione lineare. La sezione ottagonale è stata scelta per la facilità di realizzazione e può essere sostituita con altre forme che mantengono la simmetria rispetto all'asse della guida d'onda (6) con pieghe che ne facilitino la deformazione.

Le pieghe costituiscono nervature che aumentano la robustezza meccanica rendendola adatta a realizzare guide d'onda anche di un metro di lunghezza autoportanti.

Nel trasformatore acustico, gli sfasamenti temporali e spaziali delle onde sonore sono ottenuti sfruttando la deformazione della guida d'onda per emettere onde sonore secondarie. Sulle basse frequenze ad elevata potenza si manifesta il limite della linearità della deformazione che riduce la massima pressione acustica riproducibile. Altro limite del trasformatore acustico è alle frequenze più elevate dove diventa importante la densità della membrana della guida d'onda. Nel diffrattore acustico a guida d'onda non si sfrutta la deformazione della struttura per l'emissione delle onde sonore secondarie, per cui si può utilizzare tutta la potenza degli altoparlanti alle basse frequenze e riprodurre al meglio anche le alte frequenze.

La guida d'onda (6) non presenta rilievi in senso trasversale che possano generare riflessioni o perturbare le onde sonore (8) che la attraversano.

La guida d'onda (6) realizzata in materiali rigidi come legno o plastica rende il diffrattore acustico adatto a installazioni mobili e/o per esterno.

Il richiedente ha realizzato un prototipo del diffrattore inventivo della seconda forma di realizzazione sopra descritta. Un doppio cilindro di cartoncino (22, 23) da posizionare in corrispondenza del pavimento della stanza di ascolto sostiene e mantiene in posizione l'altoparlante (5). La carta è un materiale anelastico che ostacola la formazioni di vibrazioni indesiderate fra altoparlante (5) e pavimento che propagandosi alla struttura del diffusore andrebbero a mascherare gli effetti prodotti dalle onde secondarie (38, 48).

Sul lato anteriore dell'altoparlante (5) è fissata una guida d'onda (6) realizzata con un tubo alto 1 metro, la sezione di un ottagon con apotema di 4 cm e il lato superiore aperto. Lungo la parete laterale sono allineati i fori (7) da 3 mm alla distanza di 1 cm distribuiti su quattro file simmetriche rispetto all'asse della guida d'onda.

Le onde sonore emesse dal lato anteriore dall'altoparlante (5) sono inviate all'interno della guida d'onda (6) e, percorrendola, interagiscono con i fori (37, 47) che diventano punti di origine di onde sonore secondarie diffratte con fronti d'onda sferici (7). Alla fine le onde sonore escono dal lato superiore della guida d'onda (9) che è un ulteriore punto di generazione di onde sonore secondarie diffratte con fronti d'onda sferici per le frequenze medie e basse. Le frequenze più elevate, direttive, proseguono verso l'alto e sono successivamente riflesse dal soffitto della stanza.

Le onde sonore emesse dal lato posteriore dell'altoparlante (18), a pochi centimetri di altezza rispetto al pavimento, sono irradiate direttamente nell'ambiente d'ascolto senza incontrare ulteriori ostacoli.

L'involuppo dei suoni generati dagli strumenti si suddivide nelle fasi di attacco, decadimento, tenuta e rilascio. Le fasi di attacco, decadimento e rilascio sono transitori con variazioni molto rapide dell'ampiezza della pressione sonora assimilabili a impulsi. La fase di tenuta può essere assimilata in prima approssimazione ad un regime stazionario.

La risposta all'impulso del diffrattore acustico a guida d'onda è ottimizzata dalla mancanza di riflessioni aggiunte dalla struttura del diffusore. L'onda sonora emessa verso l'alto (28) si diffonde nell'ambiente attraversando la guida d'onda (6). L'onda sonora emessa verso il basso si diffonde nell'ambiente limitata solo dal pavimento. Il diffrattore acustico a guida d'onda genera una serie di onde sonore secondarie in tempi e posizioni diverse, utilizzando frazioni di energia dello stesso impulso. I ritardi di fase fra le onde sonore secondarie sono predeterminati dalla geometria del diffrattore acustico, sono identici per i due canali e permettono una precisa ricostruzione dell'immagine stereofonica.

Nella fase di tenuta, lo strumento reale emette energia da zone diverse della struttura che irradiano contemporaneamente verso il punto d'ascolto. L'energia sonora è distribuita nello spazio su più onde emesse contemporaneamente. Nel diffrattore acustico, la somma delle onde sonore secondarie con fronti d'onda sferici generate dai fori (7) crea un complesso sistema dinamico assimilabile a un cilindro con lo stesso asse del diffrattore acustico che si espande orizzontalmente verso il punto d'ascolto. Su questa superficie i profili della modulazione della pressione acustica traslano verso l'alto per i ritardi generati all'interno della guida d'onda (6). Mentre le onde sonore secondarie interagiscono con il padiglione auricolare, trasportano informazioni in relazione sia al movimento in orizzontale, sia allo spostamento in verticale del profilo della pressione, facilitando la decodifica del suono. Il realismo della riproduzione è riconducibile al fatto che nel punto d'ascolto più onde sonore secondarie generate dall'altoparlante in momenti diversi simulano le onde sonore generate dallo strumento nello stesso momento in punti diversi della sua struttura.

La distribuzione dei fori sulla superficie laterale della guida d'onda può essere variata in base alle necessità progettuali. Più fori possono essere uniti in una fessura per aumentare l'energia sonora emessa all'esterno. La stessa sezione superiore aperta della guida origina fenomeni di diffrazione. In generale, aumentando l'energia emessa per diffrazione, si riduce l'effetto di schermo acustico della guida d'onda e la risposta alle basse frequenze.

Realizzando un tappo mobile (10) in materiali con forme, potere trasmissivo e riflettente opportuni, è possibile modificare la risposta in frequenza del diffrattore acustico. Un tappo mobile (10) realizzato in materiale acustico riflettente permette l'utilizzo di altoparlanti progettati per lavorare in volumi chiusi. Un tappo (10) realizzato con un sottile foglio di carta lascia inalterate le caratteristiche acustiche e protegge dalla polvere l'interno del diffrattore acustico.

La dicitura "cassa acustica" non è adatta a classificare il diffrattore acustico realizzato in cartoncino.

Il cartoncino non è adatto per l'utilizzo all'aperto, in ambienti umidi o in installazioni mobili soggette agli urti durante il trasporto. In questi casi per realizzare la guida d'onda (6) si può utilizzare un materiale più resistente agli urti e all'umidità come plastica o legno. Il diffrattore acustico diventa più pesante e si ha una leggera perdita di qualità legata al fatto che materiali come plastica o legno hanno una maggiore elasticità rispetto al cartoncino e facilitano la formazione di vibrazioni spurie nella struttura.

La funzione del diffrattore acustico a guida d'onda di radiatore acustico omnidirezionale per le alte frequenze è applicabile anche in casse acustiche multi-via come mostrato in figura 16. Il tweeter (5) è orientato verso l'alto, su di esso è fissata la guida d'onda (12) a forma di ottagon con quattro fessure (7) sulle pareti laterali.

La funzione del diffrattore acustico a guida d'onda di adattatore di impedenza acustica per le basse frequenze richiede dimensioni dell'ordine del metro e quindi si possono innescare risonanze all'interno della guida d'onda (6). Si tratta di risonanze la cui frequenza è in relazione con le dimensioni. Il problema può essere risolto con un DSP che permette anche di compensare anche eventuali risonanze generate dall'ambiente d'ascolto. Per poter percepire la ricostruzione realistica dei suoni è necessario che tutta la catena di riproduzione sia di livello adeguato. Le distorsioni e/o rumori di fondo possono coprire le informazioni che sono veicolate da minime variazioni di fase delle onde sonore secondarie e anche l'interazione fra diffusore e pavimento (se elastico) può degradare la qualità della riproduzione.

L'ultimo prototipo ha un peso totale di soli 675 grammi connessioni elettriche comprese. Il solo altoparlante pesa 525 grammi. Con la tecnologia del diffrattore acustico a guida d'onda aggiungendo solo 150 grammi di cartoncino e colla a un comune altoparlante elettrodinamico a larga banda da 3 pollici si ottiene un diffusore

acustico con una qualità da audiofilo, in grado di generare oltre 90 dB di pressione acustica in un ambiente domestico.

La descrizione, sopra descritta, del diffrattore acustico a guida d'onda è valida in molte parti anche per il trasformatore acustico a guida d'onda. Entrambe le invenzioni generano fronti sonori secondari omnidirezionali, attenuati e ritardati che rendono la riproduzione realistica.

Rivendicazioni

1. Diffrattore acustico a guida d'onda, caratterizzato dal fatto di comprendere:

- a) una guida d'onda (6), di forma allungata a sezione ottagonale aperta ai lati realizzata con un foglio di cartoncino ripiegato,
- b) un altoparlante (5) atto a generare onde sonore (8) inviate all'interno della guida d'onda (6) e a sostenere la guida d'onda (6) fissata alla flangia dell'altoparlante (5) stesso,
- c) una base di appoggio costituita da un doppio anello cilindrico (22, 23) che mantiene in posizione l'altoparlante (5) isolandolo acusticamente dal pavimento, in cui la guida d'onda (6) ha più serie di fori (7) sulla parete laterale e svolge contemporaneamente le seguenti funzioni:
- d) guida d'onda (6) per trasferire l'energia sonora emessa al livello del pavimento dall'altoparlante (5) fino all'altezza delle orecchie dell'ascoltatore (15) senza generare riflessioni delle onde sonore (28) che la attraversano,
- e) radiatore acustico passivo omnidirezionale sul piano orizzontale su tutta la banda audio, preferibilmente da 20 a 20 KHz, con onde sonore emesse per diffrazione dai fori (7) sulla parete laterale della guida d'onda,
- f) ritardo acustico che simula la presenza di pannelli acusticamente riflettenti (37', 47') arretrati rispetto ad un altoparlante virtuale (5') coincidente con il diffrattore acustico visto dal punto d'ascolto, in cui, cambiando il punto d'ascolto (15), i pannelli virtuali (37', 47') cambiano posizione,
- g) contenitore che vincola la massa d'aria all'interno della guida d'onda (6) aperto solo verso l'alto, che riduce la frequenza di risonanza inferiore del diffusore acustico,
- h) schermo che separa acusticamente l'emissione anteriore (28) dell'altoparlante (5) da quella posteriore (18) irradiata direttamente nell'ambiente d'ascolto per la riproduzione delle basse frequenze,
- i) dissipatore anelastico di energia acustica tramite le deformazioni della sezione di cartoncino ripiegato (6) causate dalle onde sonore a bassa frequenza (28) presenti all'interno della guida d'onda (6),
- j) elemento strutturale autoportante e leggero, per realizzare un diffusore acustico con un peso totale ridotto alla somma di soli tre elementi: base (22, 23), altoparlante (5) e guida d'onda (6).

2. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto doppio anello cilindrico (22, 23) di detta base di appoggio è realizzato in cartoncino.

3. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto che un altoparlante (5) azionato con un segnale elettrico a frequenza acustica, preferibilmente da 20 Hz a 20 KHz, è utilizzato per inviare onde sonore (28) all'interno della guida d'onda, mentre un segnale elettrico positivo genera una pressione acustica positiva sopra l'altoparlante (5) e contemporaneamente una pressione acustica negativa sotto l'altoparlante (5), e viceversa per un segnale elettrico negativo, le onde sonore (28) generate dall'altoparlante (5) attraversano la guida d'onda (6) con fronti d'onda piani aventi la stessa forma della sezione della guida d'onda (6).

4. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che i fori (7) hanno una dimensione di alcuni millimetri, inferiore alla lunghezza d'onda delle onde sonore (28) generate dall'altoparlante che si propagano con fronti d'onda piani all'interno della guida d'onda (6) e generano all'esterno per diffrazione acustica onde sonore (38, 48) con fronti d'onda a simmetria sferica (7), l'onda sonora emessa dal lato posteriore (18) dell'altoparlante (5) è la prima a raggiungere il punto d'ascolto (15), raggiunto successivamente dalle onde sonore (38, 48) emesse per diffrazione dai fori (37, 47), nel punto d'ascolto (15) l'emissione (38, 48) dei fori è percepita come proveniente da pannelli virtuali acusticamente riflettenti (37', 47') arretrati rispetto all'altoparlante virtuale (5') se visto dal punto d'ascolto (15).

5. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che decine di fori (7) di diffrazione posti a distanze crescenti dall'altoparlante (5) simulano altrettanti pannelli virtuali (37', 47') arretrati e a distanze crescenti rispetto all'altoparlante virtuale (5') se visto dal punto d'ascolto.

6. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che i fori di diffrazione complanari e alla stessa distanza dall'altoparlante (5) sono distribuiti simmetricamente rispetto all'asse della guida d'onda (6) e rendono efficace la diffusione delle onde sonore su un angolo orizzontale di 360 gradi, ed inoltre annullano la risultante delle forze generate dai fenomeni di diffrazione.

7. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che una fessura (7), di larghezza preferibilmente pari a 2 – 5 millimetri, inferiore alle lunghezze d'onda delle onde sonore generate dall'altoparlante (5) sostituisce più fori di diffrazione allineati.

8. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che la guida d'onda (12) con quattro fessure (7) simmetriche abbinata a un tweeter (5) realizza un'unità per le alte frequenze con emissione omnidirezionale a 360 gradi per un sistema multi-via.

9. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il cartoncino utilizzato per realizzare la guida d'onda (6) è un materiale anelastico adatto a dissipare energia acustica per attenuare le onde sonore interne (8) alle basse frequenze, l'inerzia derivante dalla massa del cartoncino impedisce che medie e alte frequenze generino deformazioni significative e pertanto non sono attenuate.

10. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che le pieghe longitudinali del cartoncino aumentano la massima deformazione lineare della sezione della guida d'onda (6) prodotta dalla pressione delle onde sonore (28) che la attraversano aumentando la massima pressione acustica riproducibile.

11. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che la sezione ottagonale può essere modificata sia come forma, sia come dimensioni in direzione longitudinale utilizzando sezioni di forma simmetrica rispetto all'asse della guida d'onda (6) in modo da mantenere nulla la risultante delle forze applicate sul perimetro dai fenomeni di diffrazione.

12. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che un tronco di cono forato (24) realizzato in legno o altro materiale plastico sostituisce il cilindro (22) allo scopo di diminuire le turbolenze generate dall'emissione posteriore (18) dell'altoparlante (5).

13. Diffrattore acustico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'apertura superiore (9) della guida d'onda (6) viene chiusa totalmente o parzialmente con un tappo mobile (10) realizzabile in diversi materiali per ottimizzare la risposta in frequenza e proteggere l'interno dalla polvere.

(... ..)