

# Albedo: filosofia di progetto

Massimo Costa  
ALBEDO Loudspeakers  
Via C. Calisse, 78 - 00053 Civitavecchia  
e-mail: info@albedoaudio.com

Giuseppe Pucacco  
Dipartimento di Fisica – Università di Roma “Tor Vergata”  
Via della Ricerca Scientifica, 1 - 00133 Roma  
e-mail: pucacco@roma2.infn.it

## 1 Premessa

Illustrare le motivazioni, lo sviluppo e la realizzazione di un diffusore è anche l'occasione per riflettere su molti aspetti della storia recente della progettazione e della fruizione in alta fedeltà. La filosofia di progetto di Albedo scaturisce da una analisi approfondita delle due problematiche che stanno alla base dell'universo della riproduzione sonora: da una parte lo sviluppo tecnologico e, nel caso specifico, il tendere allo stato dell'arte nella realizzazione di un sistema di altoparlanti; dall'altra, le esigenze reali dell'utente in termini di prestazioni elevate, affidabilità e praticità d'uso. La discussione su questi problemi è la linfa del dibattito nel nostro mondo e speriamo che questo contributo possa quindi interessare sia l'appassionato che l'addetto ai lavori.

Dal punto di vista dell'appassionato di riproduzione domestica, il mercato offre molti ottimi prodotti, in particolare nel settore dei sistemi di altoparlanti; d'altra parte, se il suo desiderio è quello di entrare in possesso di un diffusore il più possibile naturale nella ricostruzione timbrica e prospettica ad un costo non proibitivo, la scelta ancora oggi più diffusa è quella del diffusore da stand o comunque di dimensioni contenute. Esistono certo sistemi a gamma intera con le prerogative dei piccoli sistemi di qualità e senza le loro limitazioni in frequenza e dinamica, ma quasi sempre con costi molto elevati e con altri inconvenienti imposti dalle dimensioni elevate. Le motivazioni che, attraverso un lavoro di ricerca e di sviluppo, hanno portato alla realizzazione di Albedo nascono da un'intuizione che era poco più di una speranza: si poteva realizzare una cassa acustica che suonasse bene come un minidiffusore, che ingombrasse come un minidiffusore sul suo stand e che avesse una gamma bassa da grande sistema senza costare una fortuna?

È evidente che una risposta definitiva a questa domanda è elusiva nella misura in cui ogni progetto, anche quello frutto di risorse illimitate e senza vincoli di costi, è sempre un compromesso dettato da altri vincoli di natura tecnica e culturale. Quello di cui eravamo (e siamo) certi è che la domanda ha senso perché individua e circoscrive un problema ben definito e, come sanno quelli che fanno ricerca a qualsiasi livello, la cosa più importante è porsi il quesito giusto.

## 2 La tecnica

I tre aspetti salienti del progetto Albedo sono i seguenti:

1. Sistema a fase lineare.
2. Caricamento del woofer a linea di trasmissione equalizzata acusticamente.
3. Accoppiamento meccanico ultra-rigido.

Questi ingredienti sono stati fin da principio considerati fondamentali per soddisfare le richieste di progetto. La linearità nella risposta in fase è un requisito imprescindibile per la correttezza della riproduzione dei transienti e, di conseguenza, per un'accurata ricostruzione prospettica delle sorgenti e per focalizzarne la collocazione spaziale. Per ottenere il risultato voluto, si deve combinare la disposizione geometrica dei trasduttori con la topologia della rete di crossover (un primo ordine acustico) al fine di compensare esattamente gli sfasamenti intrinseci delle due vie. È da notare che, a causa di meccanismi psicoacustici alla base del nostro sistema percettivo, che solo ora si comincia a comprendere, la coerenza della riproduzione nel dominio del tempo ha anche un ruolo fondamentale per la correttezza timbrica, ruolo altrettanto importante della linearità nella risposta in frequenza.

La scelta del caricamento del woofer in linea di trasmissione è stata dettata dal convincimento che questo sistema è quello che garantisce allo stesso tempo l'incremento quantitativo più consistente con una resa qualitativa senza compromessi in termini sia timbrici che di risposta ai transitori. D'altra parte, per ottenere le prestazioni desiderate si è realizzato un sistema totalmente innovativo che costituisce un concreto passo in avanti nella tecnologia delle linee di trasmissione. Per ottenere una sensibilità allineata a quella del resto della gamma si è optato per una linea coibentata solo sulle pareti, in cui il controllo delle risonanze è affidato ad un risuonatore opportunamente accordato. Allo stesso tempo la sezione conica decrescente consente di accordare il sistema ad una frequenza più bassa, a parità di lunghezza della linea, consentendo una riproduzione della gamma bassa impensabile per un altoparlante di queste dimensioni.

Per quel che riguarda l'aspetto puramente meccanico, gli altoparlanti montati su un sistema devono lavorare in modo da convertire interamente in energia sonora l'energia elettrica fornita dall'amplificatore. Questo obiettivo si raggiunge tramite un accoppiamento ideale altoparlante-cabinet e cabinet-supporto-ambiente e l'eliminazione degli effetti dovuti ai modi di risonanza del sistema meccanico complessivo.

Insieme a questi criteri, diciamo di filosofia progettuale, va detto che si sono adottati dei componenti che meglio beneficiassero di queste soluzioni: gli altoparlanti Accuton hanno membrane ceramiche a bassa massa ultra-rigide per offrire una eccellente risposta ai transitori e distorsione ridottissima e sono entrambi selezionati in coppie in modo da garantire le minime variazioni nel raggiungimento delle specifiche, contribuendo alla saldezza della ricostruzione prospettica; il woofer ha un'ottima linearità ed estensione in gamma media consentendo una frequenza di incrocio sufficientemente alta da non perturbare la gamma di massima attenzione psicoacustica; nel crossover sono usate solo bobine in aria e condensatori al poliestere su una basetta a doppia faccia ad alto spessore.

## 3 La risposta in fase

I problemi della misura e della valutazione della risposta in fase, per chi fosse interessato all'argomento, sono stati oggetto di un apposito articolo apparso su FdS [1, 2]. Comunque, possiamo in

breve dire che un sistema a fase lineare ha la caratteristica di potere riprodurre nella sua forma pressoché originale un impulso [3]. Ora, visto che un impulso può essere visto come l'insieme di innumerevoli componenti sinusoidali a varia frequenza, la corretta ricostruzione dell'impulso significa che tutte le frequenze inviate al diffusore vengono riprodotte contemporaneamente, ovvero senza ritardi temporali reciproci. La natura impulsiva del segnale musicale fa dunque immaginare quanto sia riduttivo considerare unicamente la risposta in frequenza di un diffusore.

Per ottenere tale comportamento, in Albedo si è agito su due fronti contemporaneamente: allineare fisicamente gli altoparlanti e dotarli di una rete di filtro che permettesse di mantenere tale coerenza temporale. È ormai da qualche anno che i filtri del primo ordine sono “di moda” e si fanno apprezzare specialmente nei minidiffusori, ma ci preme sottolineare che un filtro elettrico del primo ordine, da solo, non garantisce alcun allineamento in fase. L'incrocio del primo ordine deve essere acustico (e non elettrico) e presuppone l'allineamento fisico dei trasduttori.

## 4 La linea di trasmissione

I sistemi basati sulla teoria disponibile finora erano molto semplici: l'altoparlante per la gamma bassa irradia con la faccia anteriore in ambiente e con quella posteriore in un condotto (un tubo) uniformemente riempito di un materiale fibroso fonoassorbente a sua volta irradiante nell'ambiente. L'emissione da parte del condotto si somma, in ampiezza e fase, a quella anteriore in modo da estendere e regolarizzare la gamma bassa; allo stesso tempo l'altoparlante lavora nelle migliori condizioni perché il carico acustico del condotto pieno è particolarmente favorevole. La possibilità di scendere in frequenza viene offerta dal fatto che il condotto pieno di materiale assorbente ha una lunghezza effettiva maggiore di quando è pieno di semplice aria. Esso risuona quindi ad una frequenza sufficientemente bassa da ottenere una buona estensione della risposta in frequenza. Inoltre, al di sopra di una data frequenza di taglio l'assorbente si comporta da filtro e riduce quindi l'emissione del condotto alle frequenze in cui si ha interferenza distruttiva (controfase) con l'emissione principale. Il motivo fisico per cui questo avviene è stato illustrato da Bradbury [4]: quello che succede è che il materiale fibroso che riempie il condotto, a frequenza sufficientemente bassa, si accoppia con le onde acustiche in modo tale che il suono si propaga in un mezzo più denso e meno elastico dell'aria e viaggia più lentamente. Al di sopra della frequenza di taglio, che è determinata dalla densità e dalla struttura del materiale fibroso, l'accoppiamento finisce e si ha solo un effetto di filtraggio (ad una pendenza di 6 dB/ott).

Su queste premesse, ci mettemmo a lavorare con materiali vari e tubi di varie lunghezze. Realizzammo un programma di simulazione del sistema, che dava la risposta complessiva, quella del condotto, l'impedenza, etc. e cominciammo a fare dei confronti con le misure fatte con Clio su un sistema vero [8]. Risultato: fra la teoria e le misure c'erano delle discrepanze notevoli. Provammo materiali fibrosi di ogni tipo, dalle lane naturali o artificiali al cotone in varie conformazioni, dalle fibre acriliche ai poliuretani; abbiamo provato addirittura con la lana d'acciaio: sistematicamente il risultato sperimentale era inferiore alle attese, sia in termini di estensione sulle basse frequenze che in termini di efficienza. La conclusione inevitabile era che il modello di Bradbury fosse sbagliato o, quanto meno, incompleto. Una prima modifica della teoria che abbiamo adottato è stata allora quella di tenere conto della elasticità e della dissipazione intrinseca delle fibre; l'accordo con le misure è migliorato ma non in maniera determinante. Un accordo molto migliore, praticamente accettabile entro gli errori, lo abbiamo ottenuto quando abbiamo individuato il principale difetto del modello di Bradbury: in realtà esso è semplicemente troppo ottimistico nel trattare l'accoppia-

mento aria-fibre. Ogni materiale fibroso, per sua natura, mette a disposizione con piena efficienza solo una frazione delle fibre (per effetti di orientamento e di struttura intrinseca): introducendo nel modello un parametro che tenga conto di questo fenomeno, in particolare assumendo che, in media, solo un terzo delle fibre partecipino al trasporto dell'onda acustica, le simulazioni sono in ottimo accordo con le misure. Dal punto di vista della teoria possiamo ritenerci soddisfatti per aver chiarito un problema, ma per quanto riguarda la realizzazione di una linea di trasmissione di buone prestazioni, questi risultati sono negativi. Abbandonammo l'uso delle linee piene.

Cosa rende per contro sconsigliabile l'uso delle linee praticamente vuote? Essenzialmente due problemi [5, 6]: per scendere in frequenza la linea deve essere molto lunga; inoltre, le emissioni secondarie della linea introducono forti alterazioni nella risposta in gamma medio-bassa.

Cominciammo a lavorare per trovare possibili soluzioni a questi problemi. Innanzitutto quello relativo alla frequenza di accordo. Per risolvere questo problema basta riflettere sul fatto che l'uso del condotto a sezione costante non è certo obbligatorio; esso ha solo il vantaggio di rendere molto semplici i calcoli relativi alla determinazione delle frequenze di interesse nel progetto. È d'altra parte possibile descrivere in maniera corretta il propagarsi di onde acustiche anche in altri tipi di condotti: esempi notevoli sono quelli a sezione conica ed esponenziale [9]. Se si prende un condotto a sezione decrescente in una di queste due tipologie si scopre che, a parità di lunghezza, le frequenze di risonanza si abbassano rispetto a quelle del condotto cilindrico. Il fattore di allungamento fittizio della linea è funzione del rapporto fra le sezioni di ingresso e di uscita, pertanto non può essere aumentato a dismisura pena effetti negativi sull'emissione della porta. Nel caso di Albedo con un rapporto di tre a uno fra la sezione di ingresso e quella di uscita, la linea risulta più lunga del settanta per cento: il sistema può essere accordato a cinquanta hertz e la linea è fisicamente lunga meno di un metro.

Esaminiamo ora il problema più complesso della non linearità nella risposta. Innanzitutto, un parziale effetto di filtraggio e di smorzamento delle risonanze indesiderate si ottiene coibentando le pareti del condotto. Utilizzando un materiale opportuno, questo consente di limitare al minimo indispensabile la perdita di efficienza del sistema riducendo allo stesso tempo le cancellazioni di controfase. Si è trovato che un buon poliuretano a celle completamente aperte a media porosità svolge questo compito in maniera eccellente, specie se ne ottimizza la disposizione tramite simulazioni basate su un modello semplificato del filtraggio e i confronti con le misure. Questo però non è ancora sufficiente, perché i buchi nella risposta in corrispondenza della controfase principale e delle sue prime armoniche hanno ancora una profondità inaccettabile. La soluzione di questo problema è una delle peculiarità più originali di Albedo. L'idea è quella di rimuovere dalla risposta della linea le bande indesiderate mediante un filtraggio acustico selettivo tramite risuonatori di Helmholtz tarati sia in frequenza che in fattore di merito. L'aspetto più interessante dell'uso dei risuonatori serie è che, oltre a rimuovere sensibilmente le nonlinearità, ha un benefico effetto regolarizzante del carico acustico visto dall'altoparlante in virtù della sua azione di redistribuzione dell'energia nelle bande limitrofe a quelle di intervento. Per chiarire ulteriormente il fenomeno può essere utile un parallelo elettrico: il risuonatore serie svolge lo stesso effetto di compensazione dell'impedenza acustica di quello effettuato da un RCL serie per compensare l'impedenza elettrica di un altoparlante sotto filtro. Questa regolarizzazione del carico ha come effetto principale quello di agevolare ulteriormente il lavoro del woofer; in particolare l'escursione della membrana del woofer nella zona di maggiore sollecitazione risulta abbastanza contenuta se confrontata, ad esempio, con un reflex di caratteristiche analoghe. Dalla Fig.1, che mostra la risposta in frequenza totale di Albedo, si può dunque apprezzare l'effetto correttivo del risuonatore di Helmholtz. Tra l'altro, le oscillazioni nell'intorno del suo intervento sono più fittizie che reali, in quanto determinate dall'interazione tra

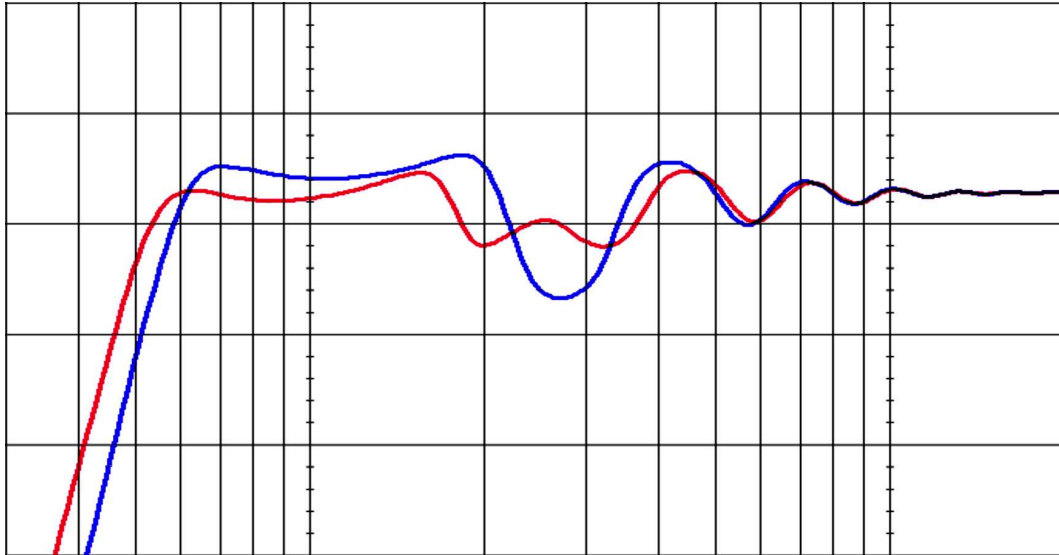


Figura 1: In blu: risposta della linea. In rosso: risposta della stessa linea equalizzata con risuonatore di Helmholtz.

porta e woofer nella misurazione in campo vicino; in altri termini, nelle misure in ambiente, tali discontinuità sono molto più contenute.

## 5 Accoppiamento meccanico ultra-rigido

Gli altoparlanti montati su un sistema devono lavorare in modo da convertire interamente in energia sonora l'energia elettrica fornita dall'amplificatore. Si deve infatti impedire che altre parti del sistema assorbano o immagazzinino energia per poi cederla all'ambiente oppure ritrasferirla agli altoparlanti stessi con ritardo e sfasamento.

Entrambi questi effetti sono deleteri poiché la dispersione di energia come vibrazione delle strutture e dei supporti e come emissione sonora parassita sono, a tutti gli effetti, rumore aggiunto all'emissione imperturbata. Inoltre, il ritrasferimento incoerente di energia agli altoparlanti ne disturba la corretta emissione aumentando ulteriormente rumore e distorsione.

La condizione fondamentale per assicurare l'assenza di questi fenomeni è quella tale da garantire la minimizzazione degli effetti perturbativi. Questo obiettivo si raggiunge tramite un accoppiamento ideale altoparlante-cabinet e cabinet-supporto-ambiente e l'eliminazione degli effetti dovuti ai modi di risonanza del sistema meccanico. Nelle nuove Albedo questo è ottenuto tramite: accoppiamento meccanico ultrarigido del cabinet al supporto e alla 'Terra' mediante barra vincolata in acciaio smorzato; supporto ad elevata massa con punte ultra-rigide regolabili; cabinet rastremato in sandwich caricato; altoparlanti ceramici a bassa massa mobile e cestello ultra-rigido.

## 6 Collocazione in ambiente d'ascolto

A proposito delle interazioni del diffusore con l'ambiente d'ascolto possiamo affermare che valgono gli stessi criteri non particolarmente stringenti che si adottano nel caso di un mini (o "midi")

diffusore sul suo stand: l'allontanamento dalle pareti di fondo e laterali di almeno un metro migliora il soundstage e regolarizza la risposta complessiva.

Un'ultima considerazione riguarda la sensibilità che, ponendosi in anecoico intorno agli 86 dB, non preclude l'utilizzo, almeno in normali ambienti domestici, di ampli a valvole di bassa potenza, considerando anche il favorevole andamento dell'impedenza.

## 7 In sintesi

Per molti aspetti Albedo è un diffusore nuovo. Abbiamo illustrato sopra gli elementi tecnici di innovazione che hanno consentito di soddisfare le richieste che erano alla base della filosofia progettuale. Questi elementi hanno poi determinato anche la forma e l'aspetto del diffusore. L'originale design non è infatti scaturito dalla necessità di proporre a tutti i costi una forma nuova ma è strettamente legato ai criteri ispiratori che abbiamo descritto. La forma tronco-conica del cabinet, l'inclinazione del pannello frontale, i rapporti dimensionali che determinano un ingombro contenuto derivano, in maniera per così dire naturale, dalle scelte tecniche effettuate. Analogamente, i materiali usati, sandwich caricato per i pannelli e acciaio per il basamento, derivano dalla necessità di poter effettuare lavorazioni di precisione su pezzi con angoli non a squadra per assicurare tenuta e rigidità perfette. Il risultato complessivo è tale da offrire facilità di inserimento in ambiente sia dal punto di vista estetico che pratico.

Con le nuove Albedo riteniamo di offrire un innovativo strumento per nuove e coinvolgenti esperienze di riproduzione musicale.

## Riferimenti bibliografici

- [1] M. Costa & G. Pucacco: La Fase Acustica, come misurarla e come interpretarla, *Fedeltà del Suono*, **39**, 75–82 (1995).
- [2] M. Costa & G. Pucacco: Interpretation and measurement of acoustic phase response, *Note tecniche*, [www.albedoaudio.com](http://www.albedoaudio.com) (2008).
- [3] H. Møller: Loudspeaker phase measurements transient response and audible quality, *Brüel & Kjær Application Notes*, presentata alla 48<sup>a</sup> Convention della Audio Engineering Society, California (1974).
- [4] A. J. Bradbury: The Use of Fibrous Materials in Loudspeaker Enclosure, *JAES* (Aprile 1976).
- [5] V. Dickason: Loudspeaker Design Cookbook, 7th edition, *Audio Amateur Press* (2006).
- [6] G. L. Augspurger: Transmission Lines Updated – Stuffing Characteristics, *Speaker Builder* (Marzo 2000).
- [7] M. Bigi & M. Jacchia: Clio User Manual, *Audiomatica* (2008).
- [8] J. D'Appolito: Misurare gli altoparlanti, *Audiomatica* (2007).
- [9] J. Merhaut: Theory of Electroacoustics, *McGraw-Hill* (1981).