

# QSC LEAF™

## Length Equalized Acoustic Flares™

### Progettazione di guide d'onda

US patent 11,509,997

## Introduzione

Una delle caratteristiche principali dei sistemi di altoparlanti line array è che forniscono una direttività controllata sul piano verticale comportandosi, effettivamente, come sorgenti in linea continua. Questo white paper descrive le finalità e le soluzioni utilizzate nella progettazione del brevetto della guida d'onda QSC LEAF™ (Length Equalized Acoustic Flares™).

## Finalità di progettazione delle guide d'onda

Le guide d'onda svolgono molteplici funzioni, principalmente dirigendo le onde sonore emanate da uno o più driver per le alte frequenze per produrre un fronte d'onda di una forma particolare alla loro uscita, tipicamente un arco di una data curvatura. Nei sistemi line array di altoparlanti, è necessario che gli altoparlanti che li compongono si sommino in modo coerente ("accoppiamento"), in modo che, nel suo insieme, l'intero sistema si comporti come un'unica sorgente in linea. Le guide d'onda progettate correttamente mostrano questo comportamento di accoppiamento quando le singole uscite di ciascun elemento della guida d'onda, si avvicinano molto al totale dell'onda desiderata dell'intero array.

Le guide d'onda si comportano come adattatori di impedenza acustica, cercando di abbinare l'elevata impedenza acustica all'uscita del driver a compressione con la bassa impedenza dell'aria nell'ambiente circostante. Migliorano l'efficienza dei driver e il carico acustico, permettendo la più bassa frequenza dei crossover tra i trasduttori ad alta e bassa frequenza che compongono un line array. Inoltre, gli altoparlanti a bassa frequenza nei line array sono sovrapposti tra di loro e separati dai rispettivi diffusori, l'uscita di questi woofer infatti, si irradia come sorgenti puntiformi quando le lunghezze d'onda emesse diventano più piccole della distanza tra diffusori adiacenti. Di conseguenza, i "lobi" di emissione di ciascun altoparlante se non controllati da corretti punti di crossover sprecano una notevole quantità di energia acustica e tendono a produrre effetti indesiderati.

Le guide d'onda accuratamente progettate forniscono anche una direttività ben controllata nel piano di non accoppiamento, tipicamente quello orizzontale, ottenendo un angolo di copertura scelto e determinato dal design della guida d'onda e dai requisiti del prodotto. Gli obiettivi specifici di progettazione per il QSC LEAF™ guide d'onda saranno:

- Produrre un fronte d'onda coerente all'uscita della guida d'onda con un angolo d'arco di 12 gradi nel piano di accoppiamento (verticale), su una larghezza di banda che si estende dalla frequenza di crossover fino ai 20 kHz. L'angolo d'arco specifico di 12 gradi è stato scelto per approssimare una moltitudine di applicazioni di casi d'uso per i tipici utilizzi line array.
- Fornire un adeguato carico acustico ai driver a compressione HF al fine di consentire l'uso delle frequenze di crossover di 1500 Hz e 1200 Hz rispettivamente per gli altoparlanti LA108 e LA112. Queste frequenze di crossover sono state selezionate in base alla distorsione misurata del driver a compressione montato nella guida d'onda attorno al punto di crossover desiderato, nonché il diagramma di radiazione della guida d'onda nel piano di accoppiamento (verticale).
- Per ottenere una copertura ottimale di 100 e 90 gradi sul piano di non accoppiamento (orizzontale) rispettivamente per gli altoparlanti LA108 e LA112.



Figura 1. Vista ravvicinata della guida d'onda QSC LEAF™ nel diffusore line array attivo LA108.

## Anatomia della guida d'onda

Le guide d'onda QSC LEAF™ sono costituite da tre sezioni illustrate nella Figura 2 dall'uscita della guida d'onda (bocca) all'uscita del driver di compressione (gola):

1. **La sezione dei condotti acustici:** le onde sonore si espandono all'interno di essi nel piano di accoppiamento (verticale) prima di sommarsi all'uscita della guida d'onda lungo un arco di 12 gradi.
2. **La sezione di equalizzazione della lunghezza del percorso:** infatti vengono instradati in modo che le onde sonore in ciascun canale siano allineate in fase.
3. **Sezione "Gola":** le onde sonore vengono prodotte all'uscita o alle uscite dei driver a compressione.

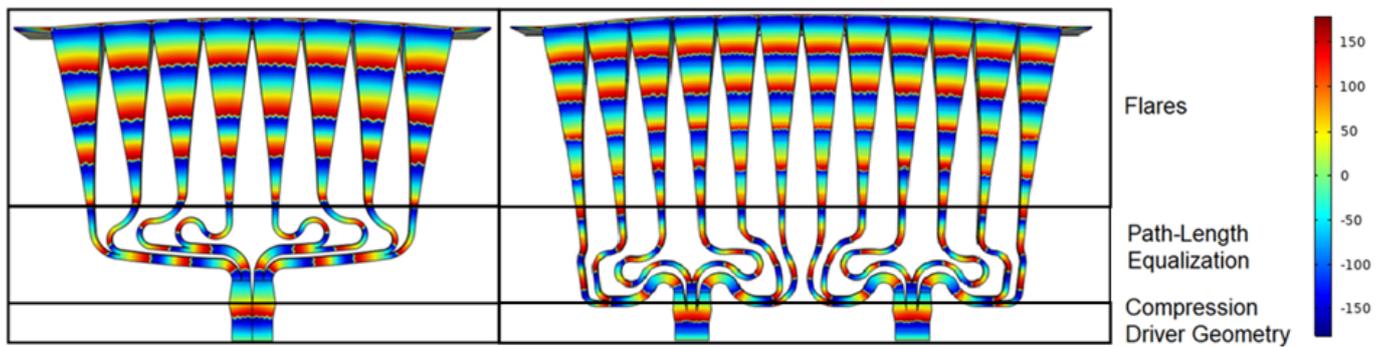


Figura 2. Analisi di fase all'interno delle guide d'onda LA108 (sinistra) e LA112 (destra) a 15 kHz in una sezione trasversale all'interno del piano di accoppiamento.

## La sezione dei condotti acustici

Per produrre un fronte d'onda coerente all'uscita della guida d'onda e anche a fornire un adeguato carico a bassa frequenza ai driver di compressione, si ottiene progettando i condotti acustici in modo che siano il più lunghi possibile. Più profondi o lunghi sono i condotti acustici, migliore è il carico acustico alle frequenze più basse e più vicine saranno le pareti laterali di ciascuna di esse. Sono auspicabili pareti laterali quasi parallele, in quanto piegheranno minimamente le onde sonore quando escono dalle guide d'onda, consentendo una migliore somma con le onde adiacenti emanate da altre. Ottenendo così la migliore somma e gittata possibile alle alte frequenze.

Questo design massimizza l'accoppiamento tra guide d'onda adiacenti, assicurando che la distanza fisica tra di loro sia ridotta al minimo. La progettazione dell'espansione e della forma delle guide d'onda sono state progettate sulla base del 3D iterativo con simulazioni di analisi agli elementi finiti (FEA) nel tentativo di trovare un equilibrio ottimale tra il carico acustico a bassa frequenza nel punto di crossover utilizzato e il necessario smorzamento delle risonanze all'interno di ciascun canale riferite alla larghezza di banda relativa. Nei condotti acustici i canali si espandono anche nel piano di

non accoppiamento (orizzontale) per produrre i modelli di copertura desiderati (Figura 3). Questa forma di espansione simile a una tromba è stata creata utilizzando una variazione del metodo presentato nell'articolo JAES "An Approach for the Optimization of 3D Loudspeaker Horns".

## La sezione di equalizzazione della lunghezza del percorso

A causa delle dimensioni compatte dell'altoparlante che limitano lo spazio disponibile all'interno dell'involucro, la massimizzazione della profondità della sezione dei condotti acustici è stata resa possibile solo riducendo al minimo la profondità della sezione di equalizzazione della lunghezza del percorso. Tale ottimizzazione è stata ottenuta curvando ogni canale, in alcuni casi in modi estremi, implementando curve fino a 270 gradi.

Queste curve estreme sono accettabili solo quando la larghezza di ciascun canale è più piccola rispetto al raggio di curvatura della curva e alla lunghezza d'onda del suono emesso nel canale. Ad esempio, se un canale molto largo viene curvato bruscamente, l'onda che viaggia all'interno del

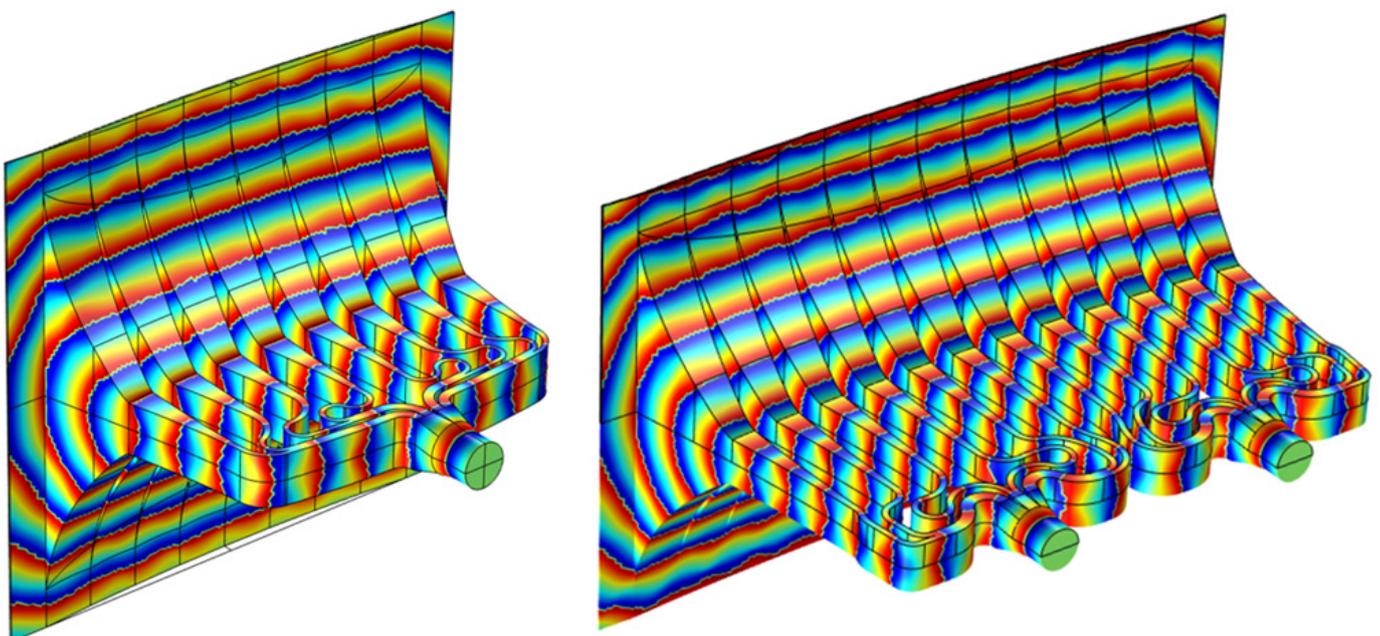


Figura 3. Viste isometriche che illustrano l'analisi di fase all'interno delle guide d'onda LA108 (sinistra) e LA112 (destra) a 15 kHz.

canale non sarà più planare (completamente perpendicolare alle pareti del canale della guida d'onda), poiché la porzione dell'onda che viaggia all'esterno della curva è ritardata rispetto alla parte che viaggia all'interno, mostrando una interferenza di fase quando l'onda entra nella sua sezione del condotto (e sarà anche presente anche all'uscita dello stesso), causando problemi di somma di fase con gli altri, producendo quindi un fronte d'onda non coerente all'uscita della tromba.

Inoltre, ogni volta che viene introdotta una curva nel design del canale, la lunghezza acustica effettiva di questo canale cambia, il che significa che la sua lunghezza fisica deve essere modificata. Attraverso attente regolazioni iterative e simulazioni FEA, tutti le uscite delle sezioni di equalizzazione percorso-lunghezza sono stati allineati in fase, assicurandosi, allo stesso tempo, che nessuna curvatura introducesse gravi distorsioni alla risposta di fase globale.

## La Sezione della "Gola"

La sezione della "Gola" è importantissima per la transizione dalla geometria di uscita del driver a compressione circolare ai canali sonori della sezione trasversale rettangolare, prestando particolare attenzione alla conservazione dell'area

della sezione trasversale la forma della sezione trasversale cambia da circolare a rettangolare e i singoli canali sono così ottimizzati.

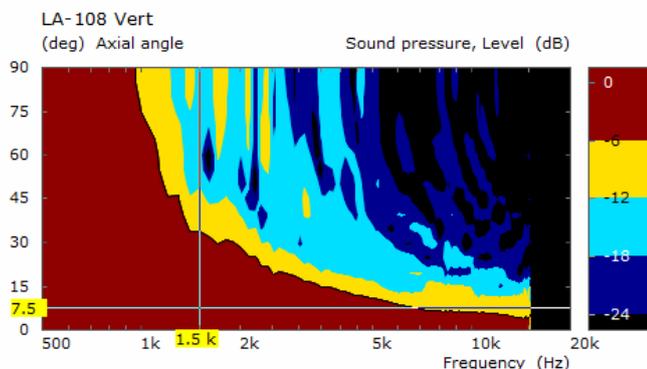
Se non viene mantenuta un'area della sezione trasversale coerente lungo la sezione della "Gola", si verificherà un fenomeno di filtro acustico "passa-basso", nella guida d'onda che fornisce un carico acustico sub-ottimale alle alte frequenze, tipicamente superiori a 8-10 kHz, a seconda della gravità della mancata corrispondenza dell'area della sezione trasversale.

## Prestazioni del progetto finale della guida d'onda

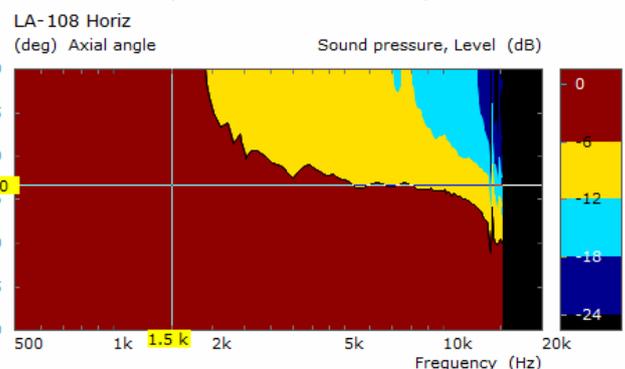
Le simulazioni FEA finali della copertura acustica nei piani di accoppiamento (verticale) e non di accoppiamento (orizzontale) per le guide d'onda degli altoparlanti LA 108 e LA 112 sono mostrate nella Figura 4 e nella Figura 5 di seguito.

Le simulazioni di copertura sono calcolate a una distanza di 4 m (13 ft) per una guida d'onda montata in un "baffle" infinito. A scopo di confronto, vengono presentate anche misure analoghe eseguite in un "baffle" di prova IEC standard (che approssima un "baffle" infinito).

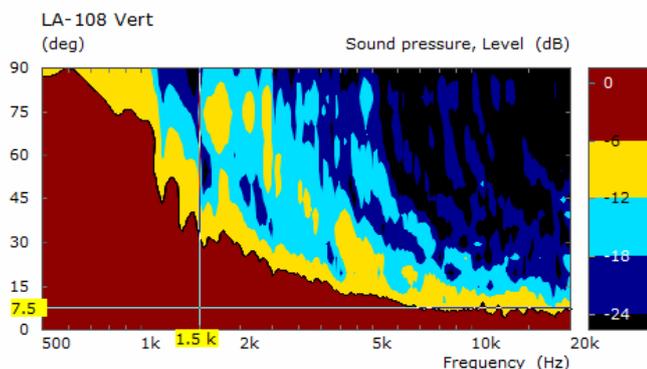
### Copertura del piano di accoppiamento (simulazione verticale)



### Copertura del piano di non accoppiamento (simulazione orizzontale)



### Copertura del piano di accoppiamento (misura verticale)



### Copertura del piano di non accoppiamento (misura orizzontale)

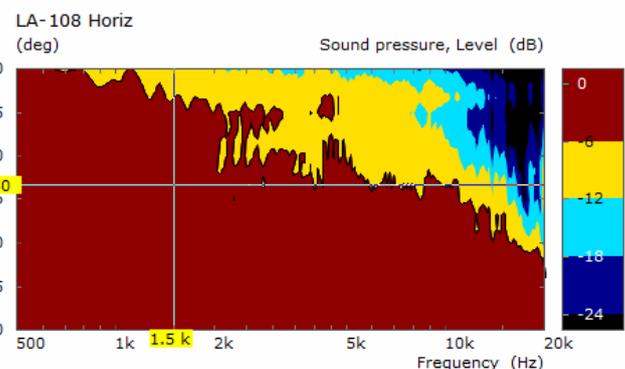
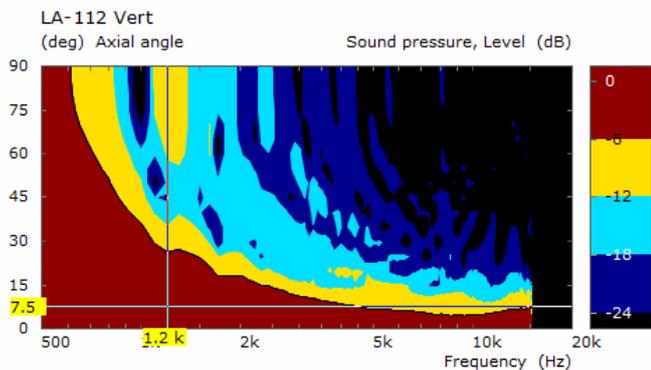
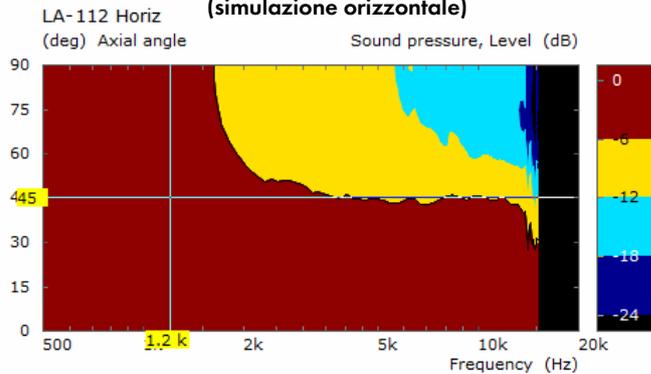


Figura 4. Curve di copertura simulate e misurate della guida d'onda del diffusore LA108 a una distanza di 4 m (13 piedi).

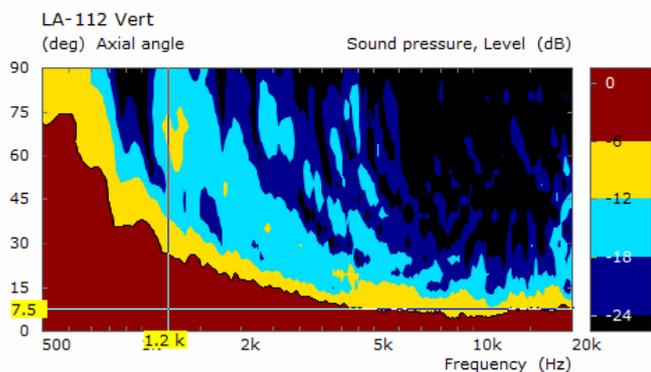
**Copertura del piano di accoppiamento (simulazione verticale)**



**Copertura del piano di non accoppiamento (simulazione orizzontale)**



**Copertura del piano di accoppiamento (misura verticale)**



**Copertura del piano di non accoppiamento (misura orizzontale)**

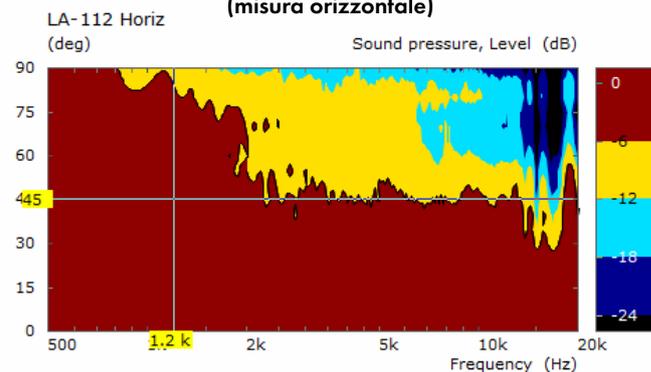


Figura 5. Curve di copertura simulate e misurate della guida d'onda del diffusore LA112 a una distanza di 4 m (13 piedi).

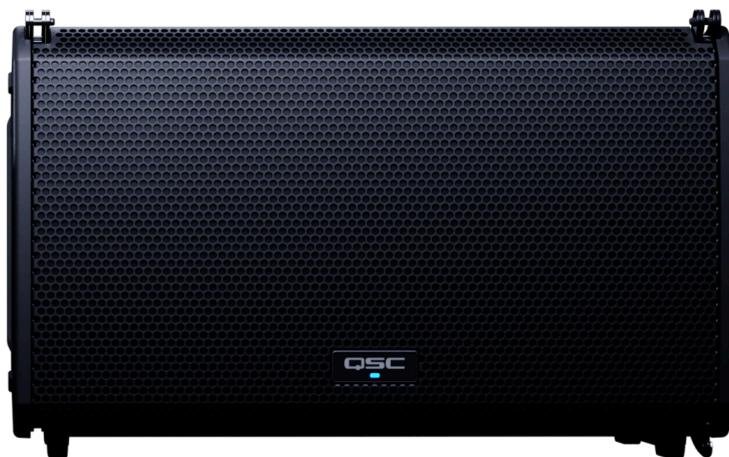
## Conclusioni

Questo white paper ha presentato alcuni dei principi generali di progettazione che sono stati seguiti durante la progettazione delle guide d'onda QSC LEAF™ presenti negli altoparlanti line array attivi LA108 e LA112.

Queste guide d'onda forniscono un efficiente carico acustico al punto di crossover utilizzato con un minimo di risonanze e creano fronti d'onda coerenti all'uscita dell'altoparlante su un'ampia gamma di frequenze. Si accoppiano molto bene anche con le guide d'onda adiacenti e forniscono una copertura ampia e costante nella direzione di non accoppiamento (orizzontale).



LA108



LA112