

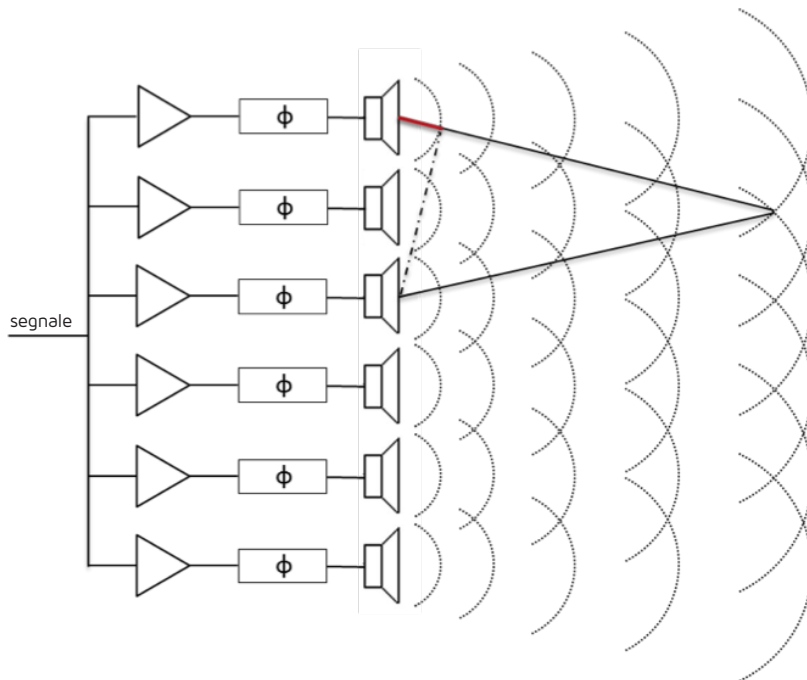
Introduzione alla tecnologia del Digital Steering

Negli anni 90', l'introduzione del line array nel mercato dell'audio professionale segnò una rivoluzione sia nell'ambito dei concerti live che in quello delle installazioni. Il line array, grazie alle sue caratteristiche di elevata direttività sul piano verticale, permette di focalizzare il fascio sonoro nelle aree di interesse, garantendo una maggiore intelligibilità in ambienti molto riverberanti e rendendo possibile una copertura uniforme su distanze molto maggiori di quelle raggiungibili con sorgenti tradizionali.

Data l'elevata direttività di un line array, la posizione del cluster e l'orientamento dei singoli diffusori che lo compongono sono parametri estremamente critici. In molte applicazioni è necessario aggiustare gli angoli di un array in modo da ottenere il tipico profilo "a banana", che permette di direzionare il fascio sonoro verso quelle aree di ascolto sottostanti l'impianto. Un errore nell'impostazione dell'altezza del cluster o degli angoli tra le varie unità può compromettere sensibilmente la qualità del suono sulle aree di ascolto. Inoltre, una volta installato l'array, non è più possibile modificarne le caratteristiche di dispersione. Da qui, l'idea di orientare digitalmente il fascio sonoro generato da un line array.

Immaginiamo di avere una serie di sorgenti sonore pilotate tutte dallo stesso segnale. In ogni punto dello spazio, le onde acustiche emesse da ciascuna sorgente potranno interferire costruttivamente o distruttivamente, a seconda della differenza di fase con cui giungono in tale punto. L'intensità dell'interazione, costruttiva o distruttiva, è funzione della differenza di ampiezza delle onde in quel punto.

Di conseguenza, se immaginiamo di poter controllare la fase e l'ampiezza del segnale di ciascuna sorgente che compone l'array, potremo decidere quali sono i punti dello spazio dove vogliamo che le onde si sommino/cancellino e con quale incidenza. In altre parole, possiamo concentrare l'energia sonora nei punti dello spazio dove è richiesta, escludendo quelli che non vogliamo siano interessati dal fascio sonoro.



Questa tecnologia, detta Digital Steering, potrebbe sembrare semplice, ma è in realtà estremamente complessa, per almeno due motivi: il primo è che nello spazio ci sono un numero infinito di punti in cui le onde possono sommarsi in fase o cancellarsi, il secondo è che tutto questo processo è dipendente dalla frequenza. Per ottenere dei risultati ottimali è dunque necessario manipolare il segnale inviato a ciascuna sorgente con un'elevatissima risoluzione in frequenza e ampiezza.

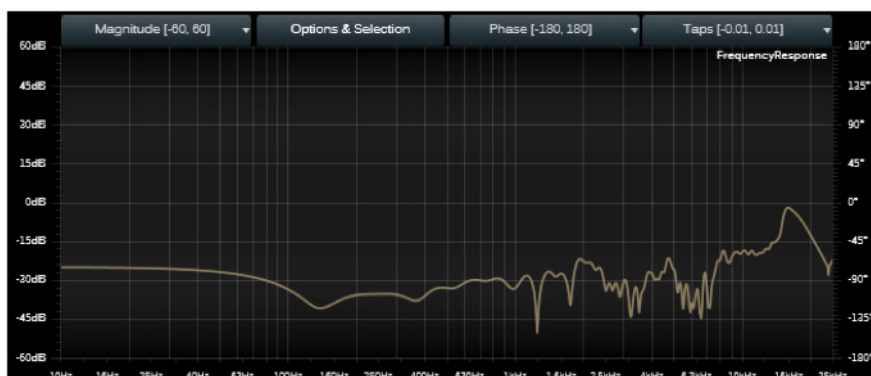
La tecnica del Digital Steering fu inizialmente implementata utilizzando dei delay per variare la fase delle onde acustiche emesse da ciascun elemento costituente il line-array. Il limite di questo approccio è che il delay introduce un ritardo uniforme a tutte le frequenze e non permette quindi di modellare il fascio sonoro in modo indipendente ad ogni frequenza. Quest'ultimo aspetto è invece fondamentale, in quanto, come detto sopra, l'interazione tra le onde acustiche emesse da ciascun elemento dell'array è un processo che dipende fortemente dalla frequenza. Solo aggiustando finemente la fase e l'ampiezza del segnale frequenza per frequenza, è davvero possibile ottenere risultati di steering ottimali, arrivando a garantire la stessa risposta in frequenza in tutte le aree di ascolto raggiunte dal fascio sonoro.

Questo è possibile se, anziché utilizzare dei delay e dei filtri tradizionali per aggiustare fase e ampiezza del segnale inviato a ciascuna sezione dell'array, si utilizzano dei filtri FIR.

I filtri FIR (Finite Impulse Response) sono dei filtri digitali caratterizzati dal fatto che la loro risposta all'impulso ha durata finita. Essendo filtri digitali, il segnale in ingresso e quello in uscita sono sequenze discrete di valori, detti campioni. Ciascun campione x che entra nel filtro viene moltiplicato per un determinato coefficiente b (detto tap) e poi sommato ai precedenti M campioni entrati nel filtro, ciascuno a sua volta moltiplicato per un opportuno coefficiente. In altre parole, il valore $y[n]$ del campione uscente dal filtro all'istante n è la media pesata degli ultimi M campioni entrati nel filtro.

$$y[n] = b_0x[n] + b_1x[n - 1] + \dots + b_M x[n - M] = \sum_{k=0}^M b_k \cdot x[n - k]$$

I valori dei coefficienti possono essere aggiustati in modo da ottenere la funzione di trasferimento voluta, che può essere quella di un semplice filtro tradizionale (passa basso, passa alto, shelving etc) oppure molto più complessa.

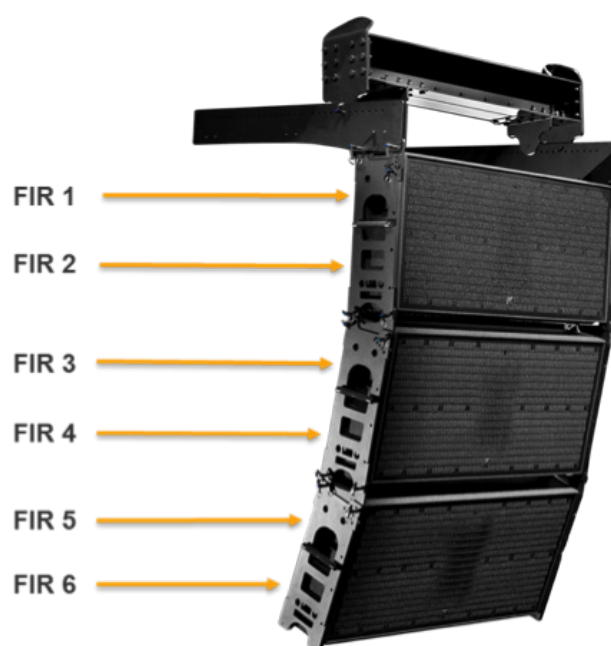


Esempio di funzione di trasferimento di un filtro FIR

Una delle proprietà che rende questi filtri ottimali per la tecnica del Digital Steering è che possono alterare la fase di un segnale ad una determinata frequenza senza alterarne l'ampiezza, e viceversa. Se consideriamo che ciascun filtro FIR ha centinaia di coefficienti aggiustabili, non è difficile credere che il loro utilizzo permetta di manipolare ampiezza e fase di un segnale con una risoluzione in frequenza estremamente accurata.

Ovviamente, il calcolo dei coefficienti dei FIR non viene fatto a mano, ma bensì affidato ad un potente software che ha il compito di ottimizzare questi valori in modo da ottenere il risultato acustico voluto.

Immaginiamo ad esempio di avere un line array costituito da sei elementi ciascuno pilotato da un segnale filtrato da un FIR caratterizzato da 400 coefficienti. Il software avrà a disposizione $6 * 400 = 2400$ coefficienti aggiustabili per fare in modo che le onde acustiche emesse da ciascun elemento che costituisce l'array si sommino in fase sulle aree di ascolto e si cancellino laddove la pressione sonora deve essere minima (ad esempio il palco). Grazie all'elevatissimo numero di coefficienti in gioco, questo processo di steering può essere ottimizzato frequenza per frequenza, garantendo una copertura ottimale su tutte le aree di ascolto e riducendo l'inquinamento acustico al di fuori di queste.



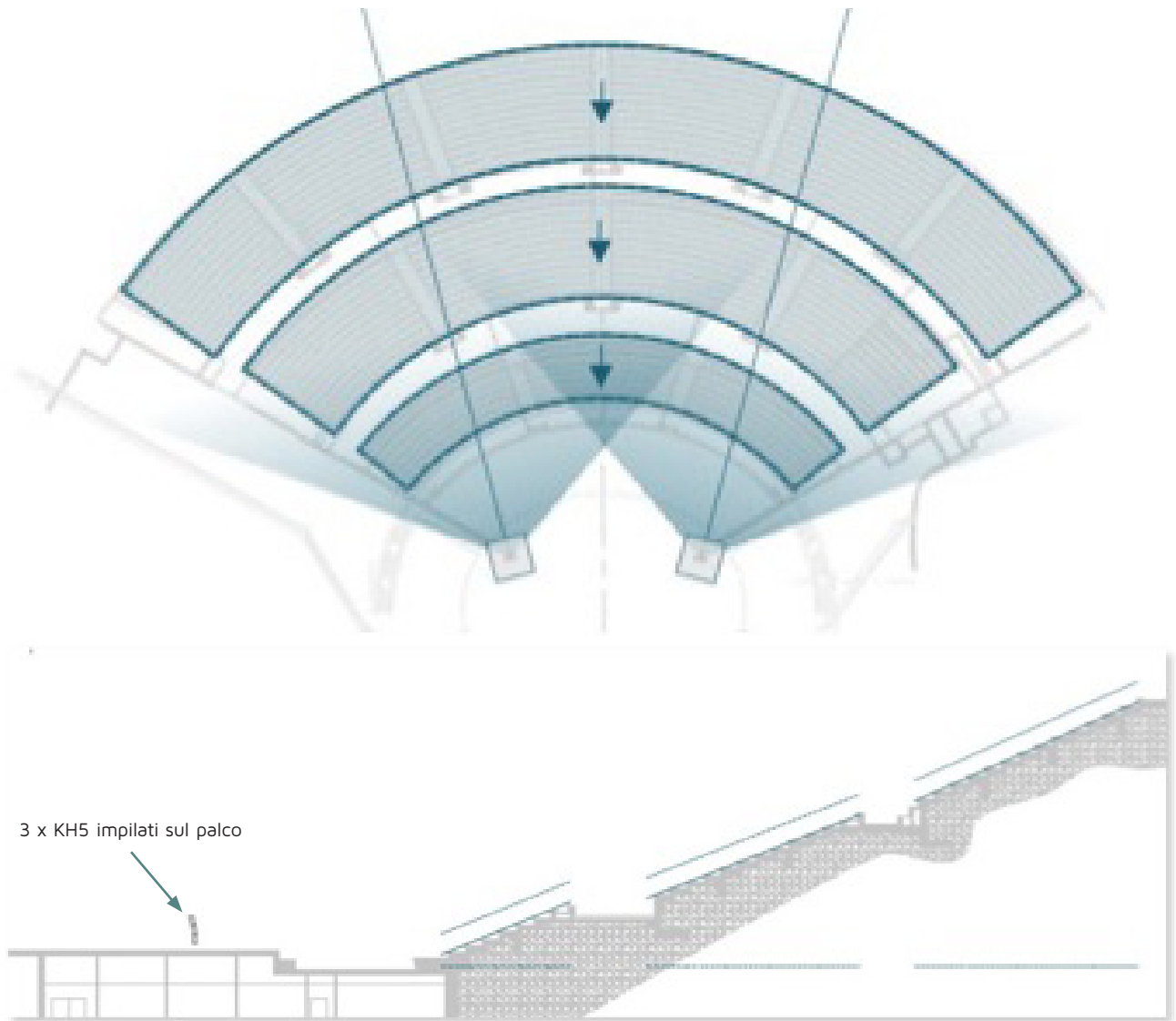
Negli esempi che seguono nelle prossime pagine, mostriamo come questa tecnologia permetta all'utente finale di avere un controllo completo del fascio sonoro, ottenendo risultati irraggiungibili con un approccio al digital steering di tipo tradizionale.

Esempi di applicazione

Tutti gli esempi mostrati in queste pagine sono stati realizzati con il software di simulazione acustica EASE Focus. Le simulazioni eseguite dal software sono basate su dati misurati ad altissima risoluzione e quindi sono assolutamente rappresentative del reale comportamento del diffusore.

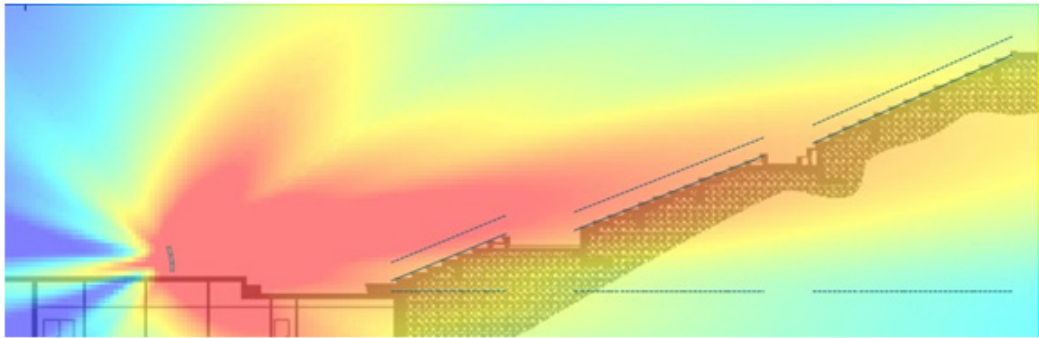
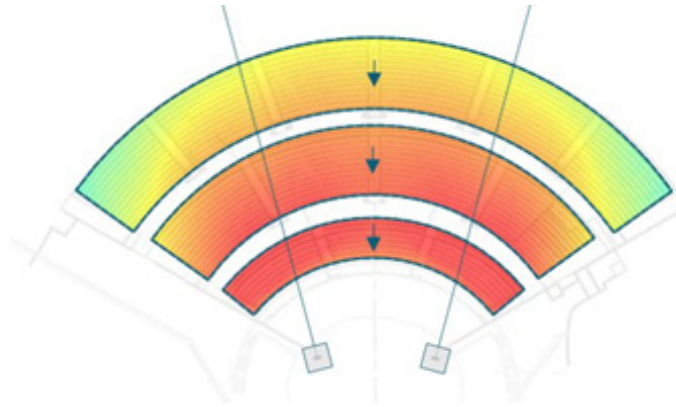
Esempio 1

Nell'immagine seguente riportiamo una vista in pianta e una vista in sezione di un teatro dove è installato un impianto audio costituito da due cluster di 3 diffusori K-array modello KH5. I diffusori sono posizionati sul palco e orientati opportunamente per garantire una copertura ottimale di tutte le aree di ascolto. Nelle figure riportate nelle prossime pagine mostriamo una simulazione della copertura del sistema in due bande di ottava distinte (1000 Hz e 2000 Hz) con e senza l'ottimizzazione dei filtri FIR.

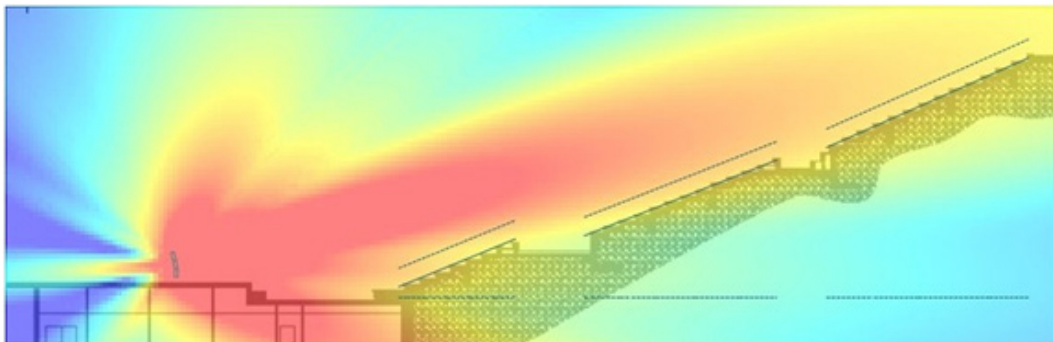
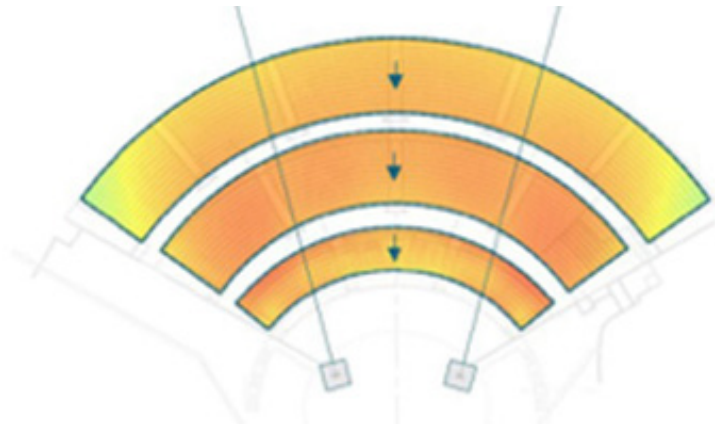


Vista in pianta e vista in sezione di un teatro dove sono installati 3 KH5 per parte

1000 Hz

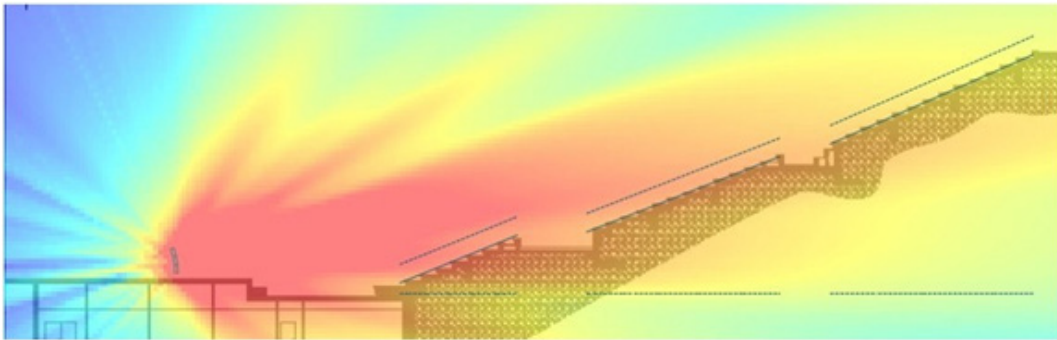
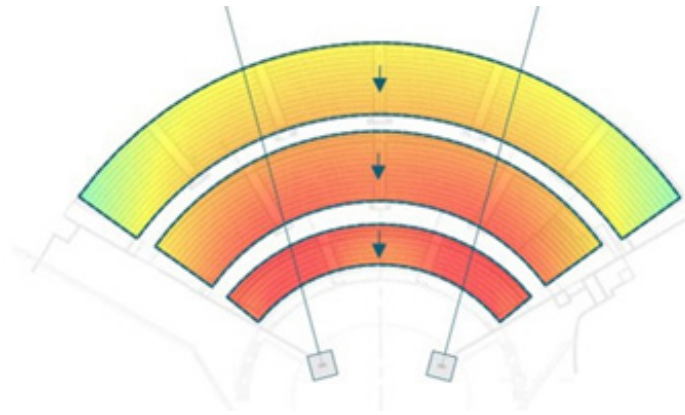


Digital Steering bypassato

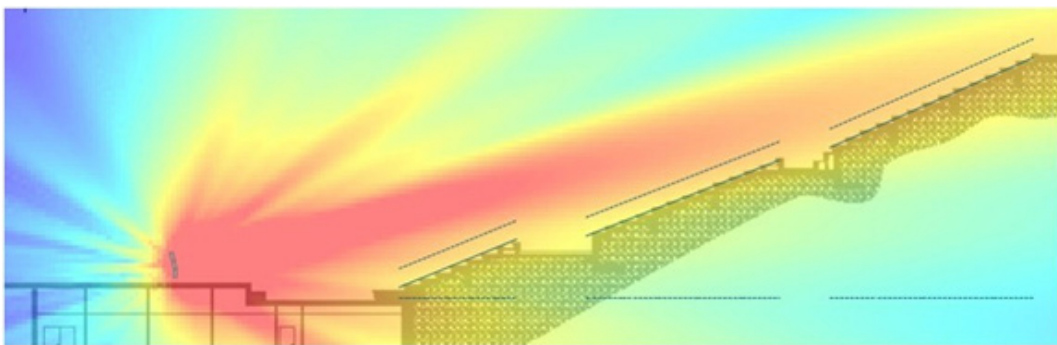
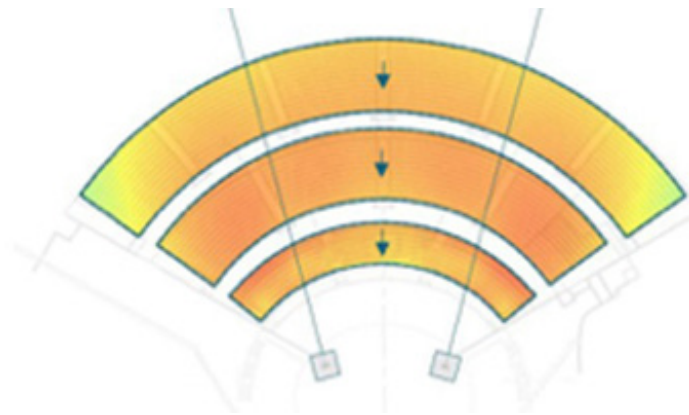


Digital Steering attivo

2000 Hz



Digital Steering bypassato



Digital Steering attivo

Risulta evidente dalle immagini precedenti che l'attivazione del Digital Steering comporta un netto miglioramento della copertura sonora sulle aree di ascolto. L'ottimizzazione dei coefficienti dei filtri FIR porta ad una redistribuzione dell'energia che, anziché essere concentrata sulle file più prossime all'impianto, viene diffusa equamente su tutte le aree di interesse.

La cosa più interessante da notare è che l'intervento del Digital Steering sulla dispersione dell'energia sonora è molto diverso nelle due bande prese in considerazione.

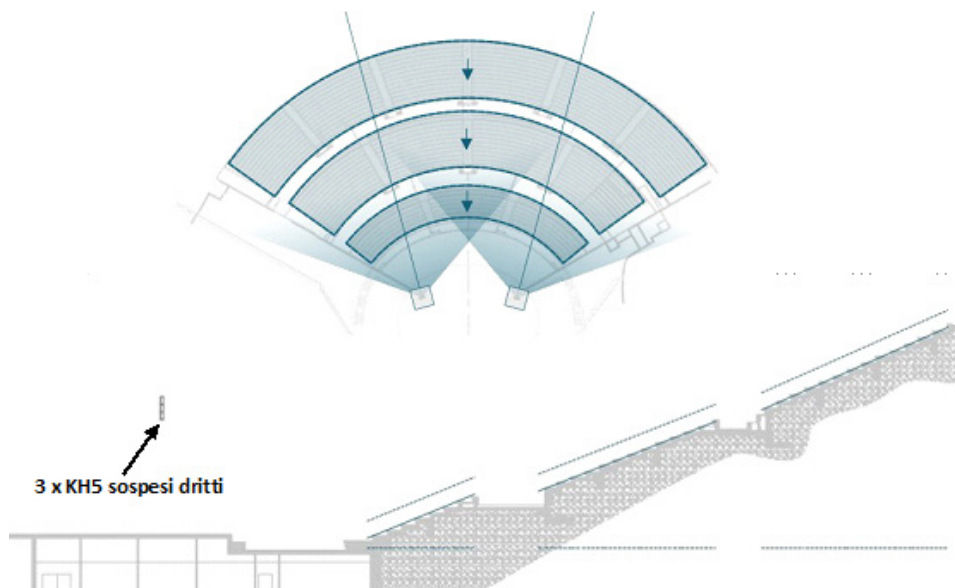
A 1000 Hz il fascio risulta essere orientato non parallelamente alle aree di ascolto, e questo comporta un accumulo di pressione sonora sulle prime file rispetto alle ultime. L'ottimizzazione digitale tende dunque a piegare il fascio verso l'alto, così da redistribuire efficacemente l'energia. Si noti come le prime gradinate, non trovandosi più lungo l'asse di emissione del fascio sonoro, abbiano perso quell'eccesso di energia presente prima dell'intervento dei filtri FIR.

A 2000 Hz invece il fascio sonoro è già orientato nella direzione giusta, pertanto non è necessario piegarlo digitalmente. L'ottimizzazione digitale tende piuttosto a ridurre l'angolo di copertura verticale, così da focalizzare maggiormente il fascio, permettendogli di raggiungere le ultime file di pubblico con sufficiente intensità.

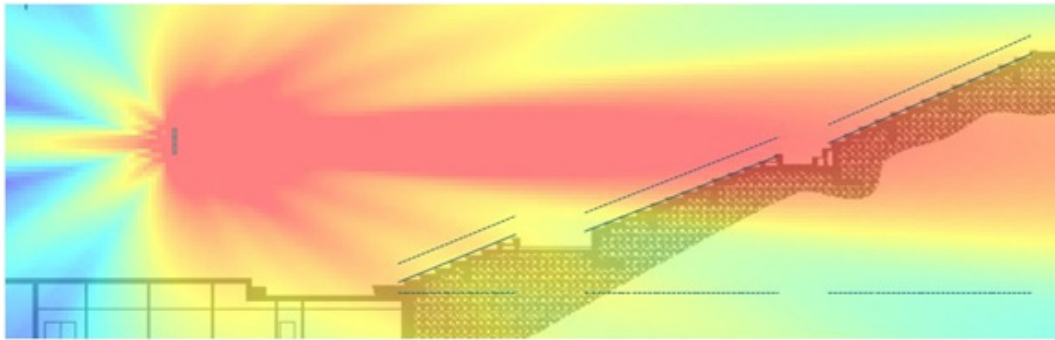
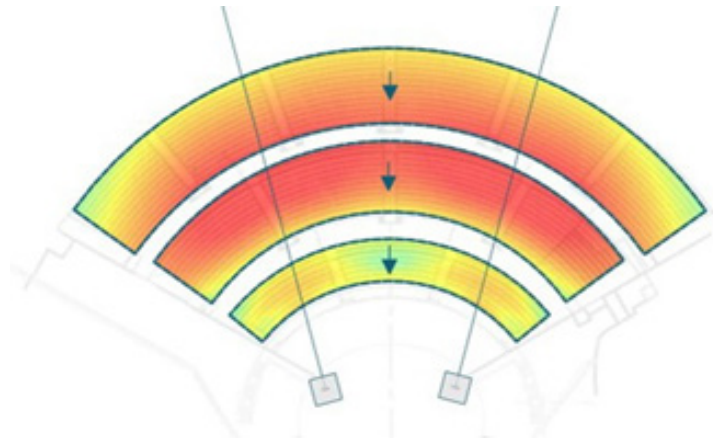
Come spiegato in precedenza, solo l'utilizzo di filtri FIR con un elevato numero di coefficienti può permettere di ottimizzare la diffusione dell'energia sonora in modo indipendente ad ogni frequenza. L'applicazione di un semplice delay non avrebbe permesso di ottenere i risultati mostrati in questi esempi.

Esempio 2

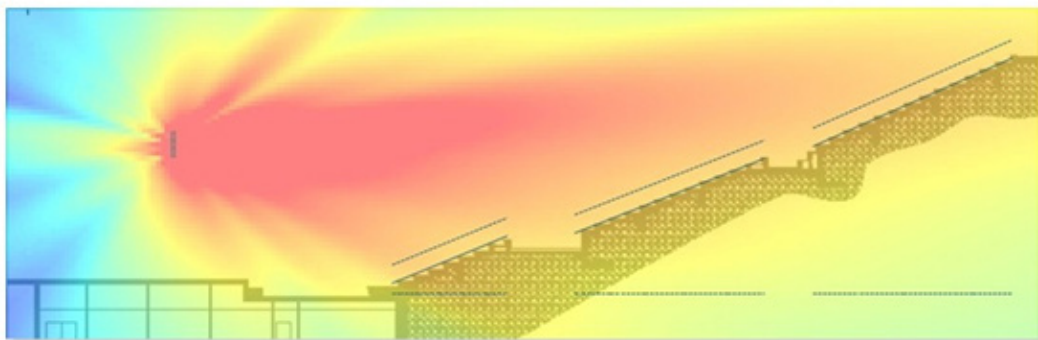
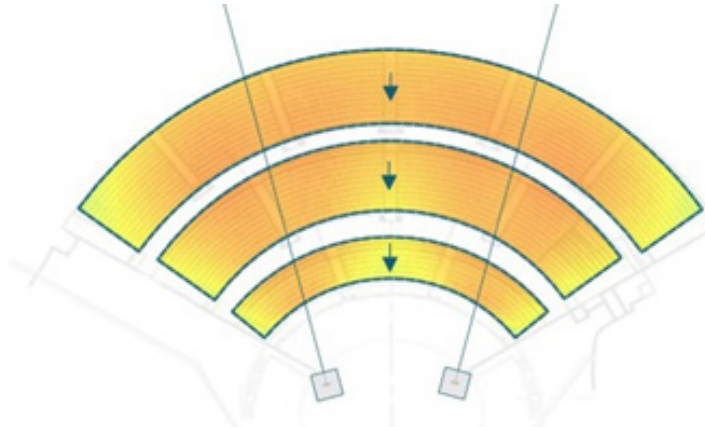
In questo secondo esempio i due cluster composti da 3 KH5 ciascuno sono installati nel medesimo teatro, ma questa volta in una configurazione "più estrema". I cluster sono infatti sospesi e lasciati completamente dritti, senza alcun angolo tra un diffusore e l'altro.



1000 Hz



Digital Steering bypassato



Digital Steering attivo



Come si vede chiaramente, la possibilità di aggiustare digitalmente la copertura sonora permette, qualora necessario, di sospendere un cluster perfettamente dritto e coprire comunque tutte le aree di interesse. L'energia sonora, anziché accumularsi lungo l'asse dell'array, viene ridistribuita uniformemente. In molte applicazioni, dove si hanno vincoli stringenti sul posizionamento dei cluster, la possibilità di coprire efficacemente le aree di ascolto senza dover creare il tipico profilo "a banana" rappresenta sicuramente un punto di forza di questi sistemi.

CONCLUSIONI

La possibilità di aggiustare digitalmente la dispersione di un elemento line array non solo permette di garantire a tutti gli ascoltatori la stessa esperienza di ascolto, ma limita allo stesso tempo l'inquinamento acustico nelle aree dove la pressione sonora deve mantenersi minima.

L'utilizzo dei filtri FIR rappresenta il punto di forza di questa tecnologia, in quanto permette di controllare il fascio sonoro con una risoluzione in frequenza estremamente elevata, che non sarebbe raggiungibile con l'utilizzo di delay e filtri "tradizionali".

L'utilizzo di materiali ottimali ed una qualità sonora impeccabile si affiancano a questa tecnologia e fanno dei prodotti della serie Concert e Firenze di K-array la punta di diamante nel campo del Sound Reinforcement professionale.

