

figura 1

Questa è una trascrizione della mia presentazione di 40 minuti, sul tema del controllo direttivo delle basse frequenze alla cinquantanovesima conferenza AES sul Sound Reinforcement, tenutasi a Montreal (figura 1). Non occorre sottolineare che 40 minuti sono a malapena sufficienti a intaccare la superficie di un argomento così coinvolgente e complesso. Ho pertanto deciso di focalizzarmi sul tema del controllo direttivo delle basse frequenze, qualcosa che pensavo di riuscire a fare nell'arco di 40 minuti, cercando di non divagare su ogni possibile sfaccettatura del problema. Vorrei ringraziare Arthur Skudra per aver trascritto ed adattato questa trattazione.



This Italian translation wouldn't have been possible without the help, free of charge, of Fedele De Marco. Be sure to visit his Facebook page ¹ for lots of interesting information on sound systems. Thank you very much!

¹ www.facebook.com/fedele.demarco



figura 2

Vorrei altresì ringraziare Nathan Lively per avermi introdotto tra la gente di AES, specialmente Ben Kok e Peter Mapp per aver fatto da tramite e infine i miei mentore: Bob McCarthy e Mauricio Ramirez.

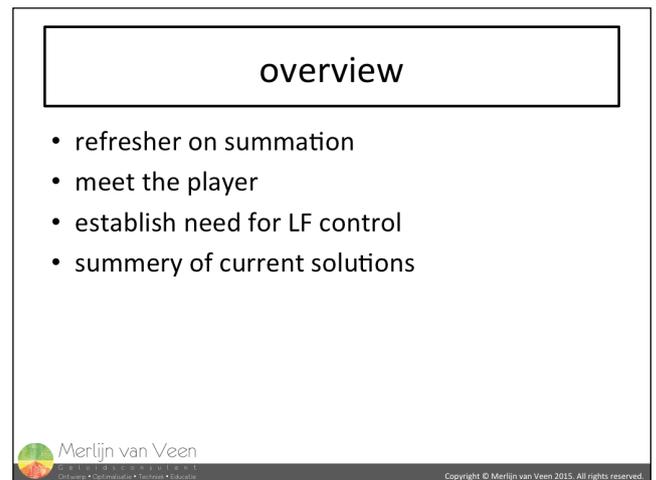


figura 3

inizieremo (figura 3) con un breve riepilogo sul concetto di "somma"; proseguiremo con l'incontrare il "Protagonista", comunemente conosciuto come subwoofer; continueremo con l'utilità di ottenere un controllo direttivo delle basse frequenze (il cuore di questa trattazione) ed infine daremo uno sguardo alle tipiche soluzioni comunemente in uso.

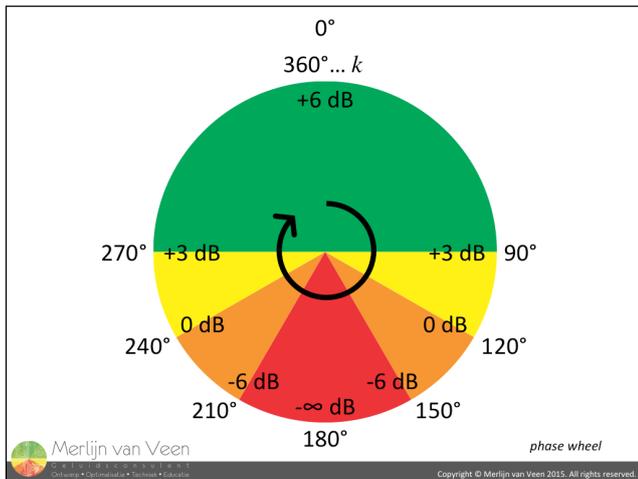


figura 4

Questo è il cerchio della fase (figura 4). Esso visualizza l'ammontare della somma o cancellazione, quando aggiungiamo due segnali correlati di eguale livello, di stessa frequenza e con un certo offset.

I segnali correlati sono caratterizzati da una relazione causale, un po' come quella tra un genitore ed un figlio. E' scontato che se suoniamo la Quinta Sinfonia di Beethoven e "Back in black" degli AC/DC l'una affianco all'altra ad uno stesso volume, l'incremento del livello non sarà 6 dB. Se suoniamo la Quinta di Beethoven, duplicata, l'una accanto all'altra (il che corrisponde a 0 % di offset), essa non durerà il doppio e sarà 6 dB più forte. Se suoniamo lo stesso pezzo due volte in serie (100 % di offset), durerà il doppio emanerà il suo livello originario. Ma cosa possiamo dire sulla somma dei due segnali per tutti quei valori di offset di fase compresi tra 100% e 0%?

Nel caso di sinusoidi elementari, le fondamenta dell'audio udibile, il cerchio della fase mostra la progressione per due segnali di uguale livello a seconda del offset di fase, finché entrambi i segnali sono presenti. I valori maggiormente significativi sono: 0° di offset di fase, che comporta un aumento di 6 dB, 120° e 240° di offset di fase che segna il "punto di rottura" dove nulla si guadagna o si perde e infine i 180° di offset di fase relativa, che determinano la cancellazione "perfetta".

Questo comportamento si ripete k cicli fino a che entrambi i segnali sono presenti e mantengono il loro

livello. I 2/3 di tutti i possibili valori sono pertanto valori di somma entro i 6 dB, mentre 1/3 dei possibili valori sono relativi a cancellazione fino ad un valore massimo di meno "infinito"

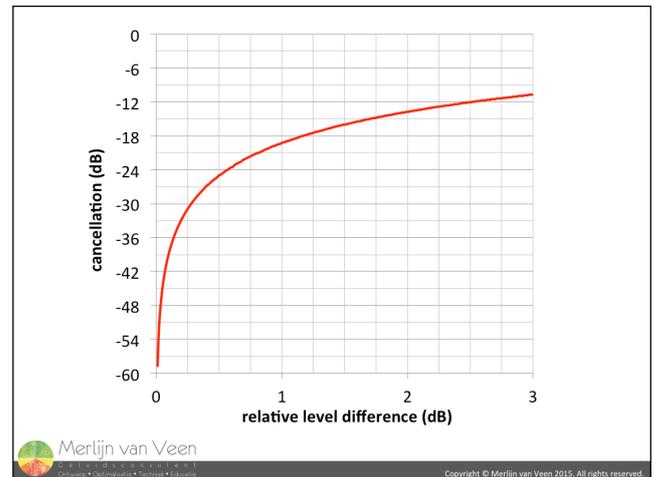


figura 4B

Vorrei puntualizzare che nel mondo acustico reale, cancellazioni maggiori di 30 dB a 180° di offset di fase relativa, sono considerati buoni risultati e richiedono una precisione di 0,25 dB o meno (figura 4B).

Una grande differenza nell'offset di livello relativo a 180° di offset di fase relativa, ridurrà significativamente le cancellazioni.

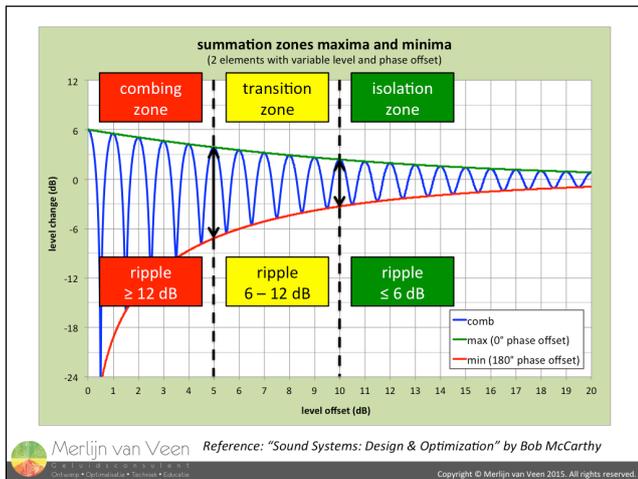


figura 5

In figura 5 è visualizzato cosa avviene quando un offset di livello è aggiunto ad un offset di fase relativa. Le "zone di somma"² di Bob McCarthy raggruppano tutte le possibili interazioni tra offset di livelli e fase relativi in 3 gruppi.

La linea verde nel grafico comprende tutti i valori di cambiamento di livello per differenti offsets di livello a 0° di offset di fase relativa. La linea rossa mostra tutti i valori di cambiamento di livello a differenti offsets di livello e a 180° di offset di fase relativa. Queste linee rappresentano rispettivamente il migliore ed il peggiore scenario possibile. I valori compresi tra questi due estremi rappresentano i valori di cambiamento di livello per tutti i rimanenti valori di offset di fase relativa per i vari di offsets di livello. Come il cerchio della fase, questa tendenza si ripete k volte finché entrambi i segnali sono presenti.

La differenza tra questi valori massimi e minimi è conosciuta come "ripple". Esso è un metro per indicare l'ammontare del cambiamento di livello causato dai comb filters, che si presentano ogni qualvolta non è possibile fare in modo che segnali multipli giungano allo stesso tempo o provengano da sorgenti multiple poste alla stessa distanza. Questo sia nel dominio elettrico che acustico.

L'offset di fase relativa determinerà quali frequenze saranno affette e l'offset di livello relativo

determinerà l'ammontare del valore dei cambiamenti di livello.

Piccoli offsets di tempo influenzano solo le alte frequenze. In proporzione occorrerebbero offsets di tempo molto più grandi per influenzare le basse frequenze. Il livello relativo determinerà l'udibilità del comb filter. Quando i due livelli sono simili il comb filter sarà maggiormente udibile.

Per quanto concerne l'offset di fase, il grafico ci mostra che si hanno ripple dell'ordine di 12 dB o più per offsets di livello relativo di 5 dB o meno. Questo range è chiamato ZONA DI COMBING. All'altro estremo del grafico per offsets di livello relativo di 10 dB o più, avremo ripple dell'ordine di 6 dB o meno, e i comb filters saranno meno udibili. Quest'area è chiamata ISOLATION ZONE (zona di isolamento). L'area in mezzo è chiamata ZONA DI TRANSIZIONE ed è caratterizzata da ripple di ordine variabile da 6 dB fino a 12 dB.

In altre parole, l'offset di livello è il meccanismo di steering tramite il quale riduciamo l'udibilità dei comb filters che si possono manifestare, indipendentemente dalla nostra volontà, quando sono utilizzati più di un segnale o sorgente.

² Sound Systems: Design and Optimization 2nd ed.
 by Bob McCarthy, Focal Press

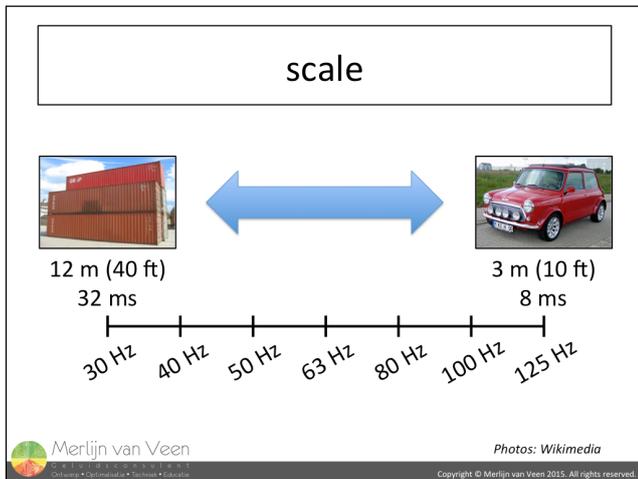


figura 6

Un tipico subwoofer ha un range di frequenze operativo di 2 ottave, spalmate dai 30 Hz ai 125 Hz (figura 6). Per rendere l'idea della scala di grandezze a cui facciamo riferimento, immaginiamo lunghezze d'onda che vanno dai 12 m di un container ai 3 m di una Mini Cooper. Quest'ordine di grandezze rende queste frequenze difficili da assorbire e controllare. Esse sono comunque soggette alle stesse leggi della fisica, ma le soluzioni diventano proporzionalmente più grandi.

Secondo il pensiero comune i subwoofer sono pensati per essere omnidirezionali, come tecnicamente sono, poichè il criterio dei "-6 dB", usato per determinare gli angoli di copertura di una sorgente quando questa diventa omnidirezionale è una delle specifiche più vaghe nel mondo del pro audio. Questo criterio permette per un rapporto di omnidirezionalità di 2:1, di spaziare dietro il sub da -6 dB a 0 dB e, se volessimo far drizzare i capelli, anche +6 dB.

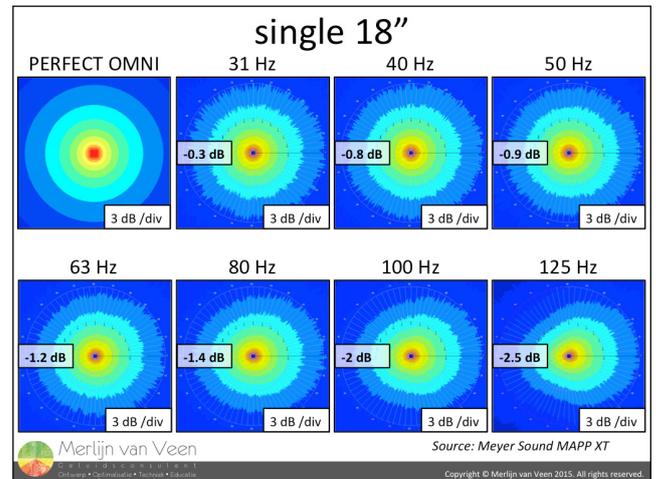


figura 7

Tuttavia una analisi più accurata dell'esempio del subwoofer singolo 18" in figura 7, mostra differenze di livello dal fronte al retro di ben 3 dB, dovute all'ostacolo e resistenza offerta dalla sua stessa enclosure. Questo potrebbe sembrare banale, ma si ha a che fare con queste differenze quando più subwoofer sono configurati insieme. Specialmente nelle configurazioni gradiente a stack invertito dove i subwoofer rivolti all'indietro dovrebbero essere uguali in livello a quelli frontali per raggiungere una cancellazione ottimale.

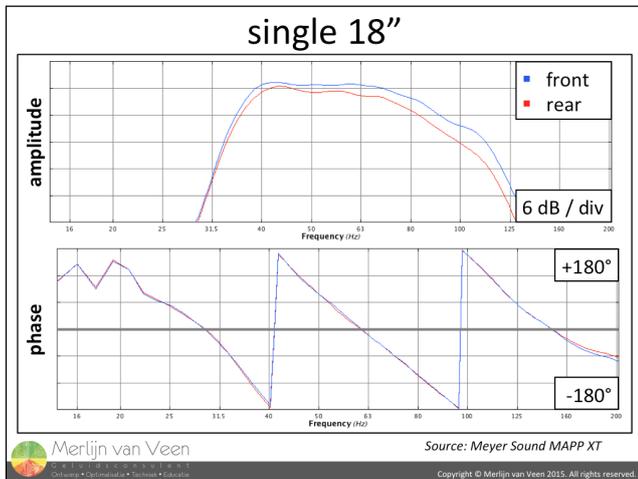


figura 8

La funzione di trasferimento (figura 8) nel dominio della frequenza ci racconta una storia simile.

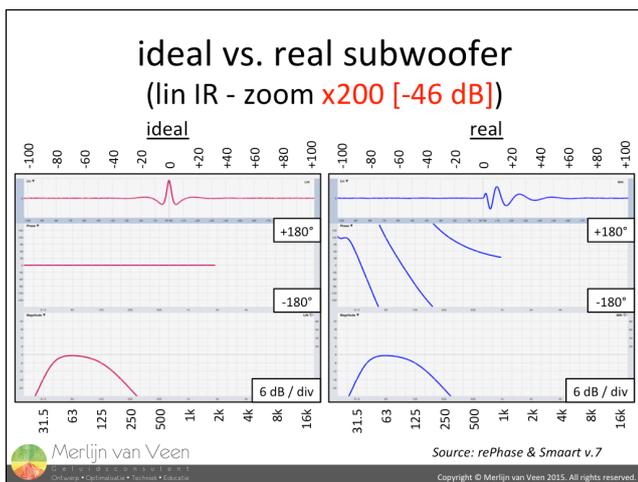


figura 9

Nel dominio del tempo mi aspetto che nel mio analizzatore la risposta lineare all'impulso di un subwoofer ideale, sia simile a quanto visualizzato nella parte sinistra della figura 9, una risposta perfettamente simmetrica. Questo trova riscontro anche nella traccia della fase flat. Immagino che questo comportamento garantisca il massimo impatto possibile. Un pò come svuotare, tutto in una volta, un intero sacco di sabbia su una persona piuttosto che bucarlo lasciandolo svuotare lentamente addosso. La seconda parte della metafora tuttavia è più simile al comportamento

reale di un subwoofer, così come illustrato nella parte destra della immagine.

Un tipico bass reflex, esibirà il comportamento di un HPF di 4° ordine alla frequenza di intonazione (tra la bocca e il / i driver) a causa del suo design meccanico e acustico. Aggiungendo filtri elettronici (IIR, minimum phase o analogico), HPF o LPF per proteggere il subwoofer da danni limitando la banda passante al suo range operativo, un tipico subwoofer può facilmente arrivare ad esibire 720° e 270° di phase shift in un intervallo di 2 ottave, rispettivamente alla frequenza limite più bassa e più alta. Ecco perchè attraverso la banda passante della maggior parte dei subwoofer, differenti frequenze esibiscono differenti tempi di arrivo.

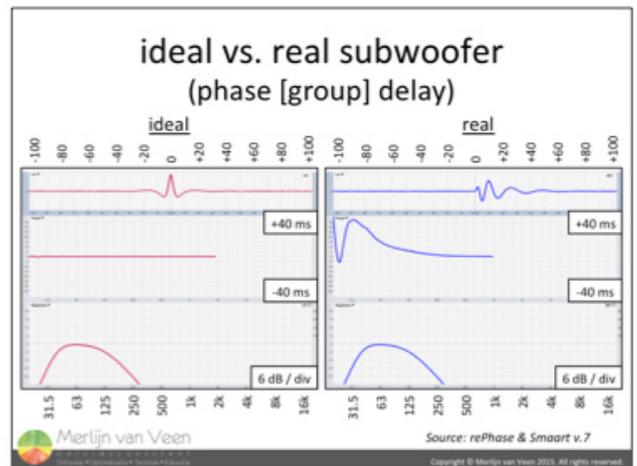


figura 10

La figura 10 mostra la stessa comparazione ma con la fase visualizzata come "group delay". Il subwoofer ideale è visualizzato nella parte sinistra della foto, non esibisce ritardo, il subwoofer reale invece visualizzato nella parte destra della foto, mostra un allungamento dell'impulso su più di 35 ms attraverso il suo range operativo, come visualizzato corrispettivamente anche nella traccia della fase che mostra ritardo. Si potrebbe anche dire che la profondità del/dei driver o del/dei cabinet si sia virtualmente allungata di 12 mt.

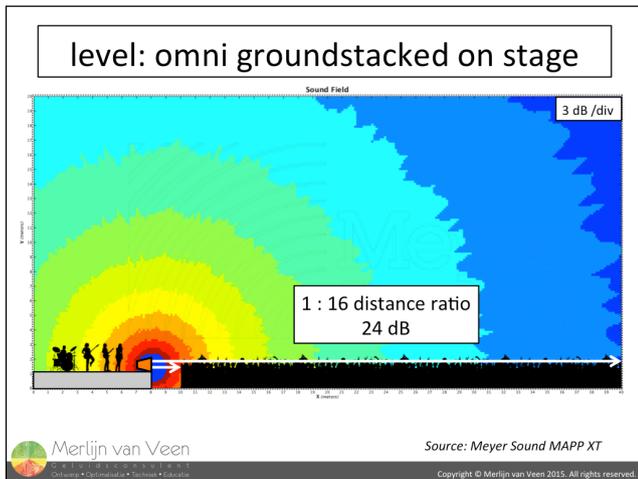


figura 11

Ora che abbiamo visto le proprietà basilari di un tipico subwoofer, andiamo a vedere come poter ottenere un controllo direttivo delle basse frequenze. Inizieremo per prima cosa dando uno sguardo al “livello”.

Un subwoofer omnidirezionale, sarà per lo più immune alla rotazione. Possiamo orientarlo in qualsiasi direzione desideriamo, ma la differenza in termini di impatto sarà minima. Siamo soltanto alla merce della legge dell'inverso del quadrato della distanza. Pertanto, quando posizioniamo i subwoofer omnidirezionali sul pavimento o sul palco (figura 11), a seconda della lunghezza della venue, il pubblico sperimenterà significative differenze di livello, andando dalla prima fila verso il fondo, dovute al rapporto di distanza tra fronte e retro della venue. Questo modo di collocare i sub determina anche un grande apporto di basse frequenze sul palco, che sarà inevitabilmente “inondato” dalle stesse.

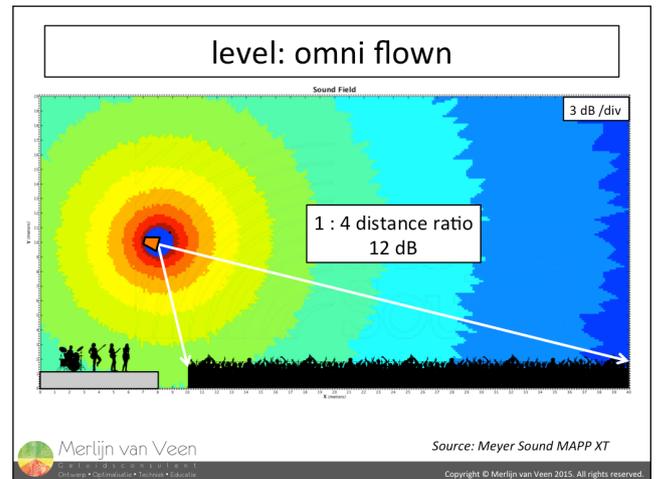


figura 12

Posizionando il subwoofer in alto (figura 12), trovandosi più lontano dal fronte del pubblico, migliora considerevolmente il rapporto di distanza tra fronte e retro della venue e si riduce pertanto la varianza di livello. Allo stesso modo l'ammontare delle basse frequenze sul palco, è altresì ridotto grazie all'aumento della distanza dallo stesso.

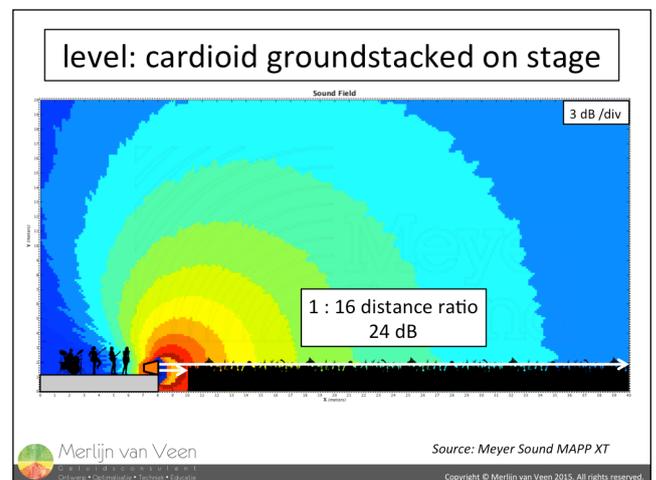


figura 13

Con un subwoofer o una configurazione cardioide sul pavimento o sul palco (figura 13), con un distacco di almeno 60 cm in linea d'aria davanti e di lato al palco, migliorerà significativamente la situazione sul palco, ma sfortunatamente non nella audience che si trova in asse nel piano di propagazione al subwoofer.

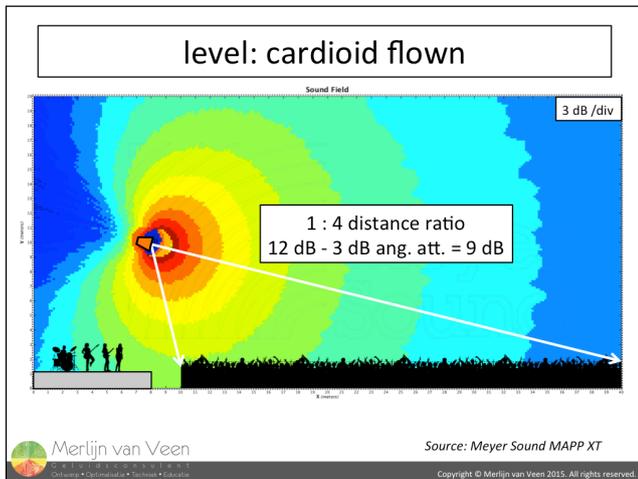


figura 14

Collocando in alto il sub o la configurazione cardiode (figura 14), avremo gli stessi vantaggi che abbiamo visto precedentemente con il sub omnidirezionale appeso, con in più il beneficio dell'attenuazione angolare, sfruttando il suo intrinseco pattern direttivo che lo rende non più immune alla rotazione come il precedente. Al fine di evitare pertanto riflessioni e peggiorare il rumore ambientale, il subwoofer omnidirezionale è evidentemente una scelta non idonea rispetto a subwoofer o configurazioni cardiode.

Io penso sia onesto ammettere che, nonostante siamo nel 2015, le configurazioni stereo di subwoofer siano ancora le più usate. Pertanto diamo uno sguardo agli offset di livello relativo di due posizioni di subwoofer utilizzando subwoofer omnidirezionali e al suo effetto sulla distribuzione spaziale della varianza tonale e dei ripple. In questo caso la principale riflessione è l'altro subwoofer stesso.

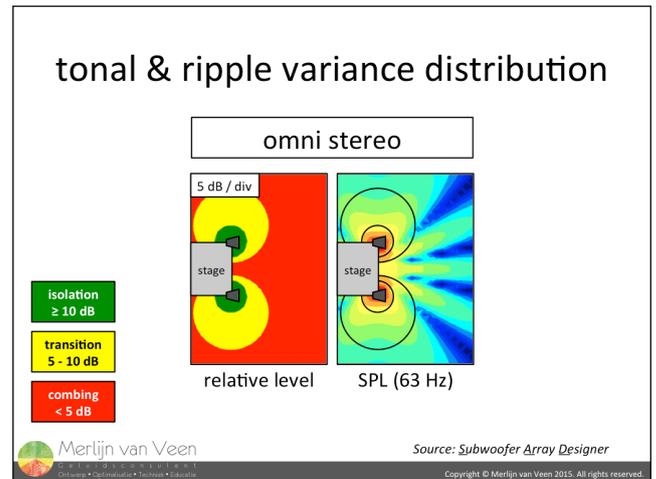


figura 15

Il disegno di sinistra nella figura 15, mostra una visione 2D della distribuzione spaziale delle zone di somma discusse precedentemente. A causa della non sensibilità alla rotazione del subwoofer omnidirezionale, le zone di isolamento possono essere create solo con la forza bruta. La maggior parte del pubblico si trova purtroppo all'interno della zona rossa di combing con ripple maggiori di 12 dB, ad eccezione del pubblico lungo l'asse geometrico centrale della venue, equidistante da entrambi le posizioni dei subwoofer. La minoranza nella zona gialla di transizione, sperimenterà ripple variabili tra i 6 dB e 12 dB e solo una piccola porzione nella zona di isolamento verde è salvata dalla forza bruta, estremamente vicina ai subwoofers. Lì il ripple sarà minore di 6 dB.

Il disegno sulla destra nella figura 15 riflette questa suddivisione del pubblico. Il contrasto nel livello di pressione sonora tra picchi di potenza e null è maggiore all'interno della zona rossa di combing, rispetto alle zone di transizione ed isolamento, dove l'offset di livello relativo arriva in soccorso. I primi null di potenza, fuori asse, si manifesteranno nella risposta in frequenza con "buchi" larghi 1 ottava (50% della larghezza di banda operativa). I secondi null come "buchi" di 1/3 di ottava (17% della larghezza di banda operativa).

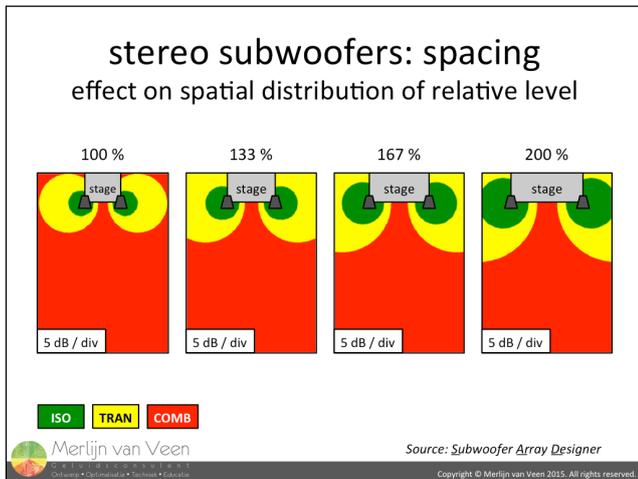


figura 16

Aumentando la distanza fisica tra i subwoofer (figura 16) anche del 200%, cambia molto poco. La maggior parte del pubblico continuerà a rimanere all'interno della zona rossa di combing.

I benefici di un controllo direttivo delle basse frequenze, si hanno anche nella sonorizzazione di ambienti riverberanti chiusi. I classici diffusori di medio formato sono capaci di mantenere il loro pattern nominale di copertura da 1 kHz in su. I diffusori più larghi sono capaci di estendere questo controllo di almeno 2 ottave verso le basse frequenze dello spettro udibile. I line Array sono più efficaci nel mantenere un controllo direttivo delle basse frequenze sul piano verticale a secondo della lunghezza della linea dell'array. Nonostante ciò tutti questi sistemi mostrano una tendenza comune: essi perdono la loro direttività quando le lunghezze d'onda riprodotte sono relativamente larghe se comparate alle dimensioni dei diffusori dell'array.

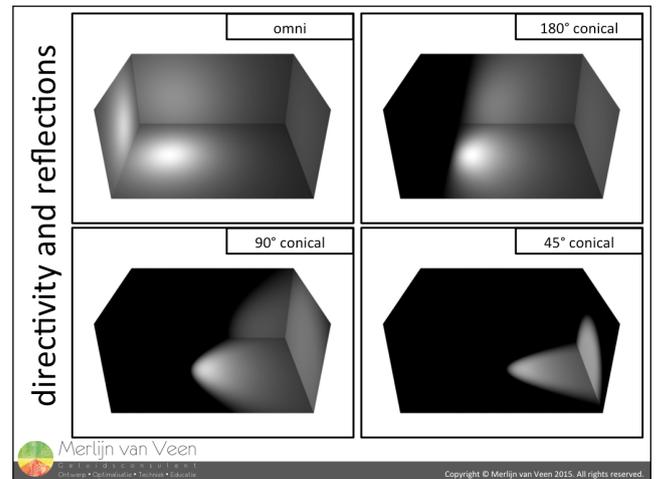


figura 17

Questo controllo delle medio ed alte frequenze ci permette di evitare di eccitare le pareti della stanza. Non "illuminando" le pareti e il soffitto con il suono (figura 17), si riduce l'ammontare delle riflessioni e pertanto l'intensità percepibile delle stesse, non il tempo di decadimento, in favore del suono diretto. Oltre questo, anche l'assorbimento dell'aria, relativo alla distanza, attenua le riflessioni delle alte frequenze, man mano che esse si propagano verso il fondo della venue.

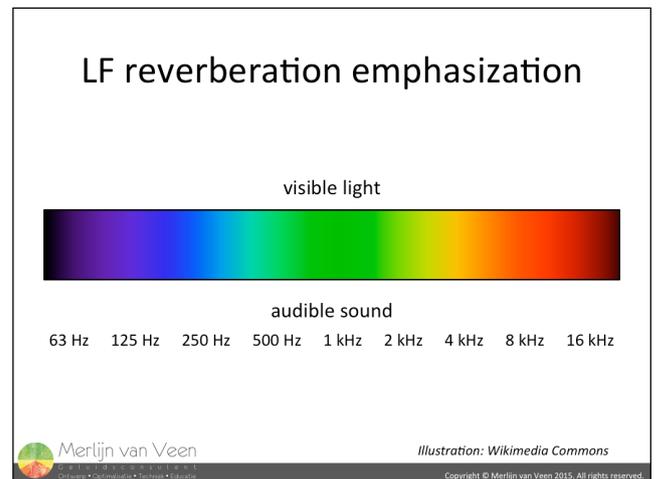


figura 18

Nel range delle basse frequenze invece, a causa delle loro relativamente grandi lunghezze d'onda che le rendono difficili da essere controllate e assorbite, siamo virtualmente incapaci di evitare riflessioni.

Se confrontiamo il suono udibile con la luce visibile (spalmando lo spettro del visibile su 9 ottave ed ovviamente invertendo virtualmente il valore di lunghezza d'onda delle porzioni di spettro, dato che normalmente all'ultravioletto corrispondono lunghezze d'onda minori che al rosso) come in figura 18, con la riduzione dell'intensità del riverbero delle medie e alte frequenze, tramite un controllo della direttività, è come attenuare la porzione di spettro visivo che va dalla zona verde alla zona rossa lasciandoci solo con gli ultravioletti.

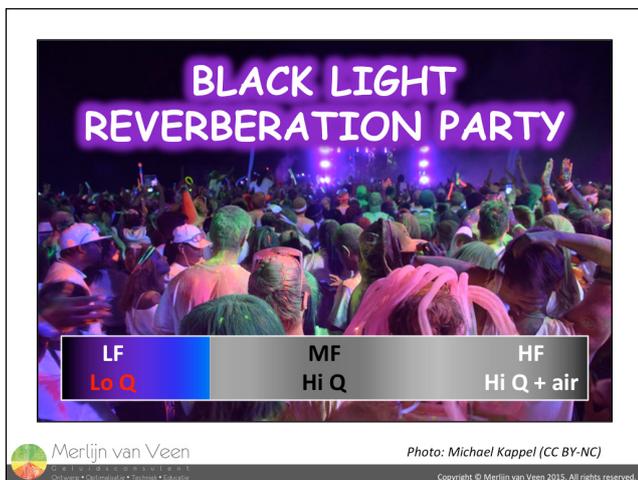


figura 19

Un party riverberante di basse frequenze “a luce nera” (figura 19). Il controllo direttivo sulle medio e alte frequenze enfatizza la riverberazione delle basse frequenze. Questa energia riverberante, spalpata nel tempo, spadroneggia sul resto dello spettro, riducendo intelligibilità e chiarezza.

Hopkins-Stryker

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi D_x^2} + \frac{4}{S\bar{\alpha}} \right) + K$$

“The accuracy of these equations will get you into the “ball park.” They will bring you into the right order of magnitude.”

Merlijn van Veen Source: “Sound System Engineering 4th ed.” by Don Davis et al. Copyright © Merlijn van Veen 2015. All rights reserved.

figura 20

Un'altro importante metro da tenere in considerazione negli ambienti chiusi, è la distanza critica, che è la distanza dalla sorgente dove i livelli di suono diretto e riverberante si eguagliano.

L'equazione di Hopkins-Stryker (figura 20) ci permette di stimare il livello di pressione del suono (L_p), per un dato livello di potenza del suono (L_w), fattore di direttività (Q), area (S) e coefficiente medio di assorbimento (α) a secondo della distanza.

Le due frazioni tra parentesi determinano l'spl del suono diretto e riverberante rispettivamente. Il suono diretto dipende dal fattore di direttività e dalla distanza (la legge dell'inverso del quadrato della distanza) e il suono riverberante dall'area della superficie e dal coefficiente di assorbimento. Notate come quest'ultimo non sia dipendente dalla distanza.

Hopkins-Stryker

$$\frac{Q}{4\pi D_c^2} = \frac{4}{S\bar{a}}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{QS\bar{a}}{16\pi}}$$

$$D_c = 0.141\sqrt{QS\bar{a}}$$


Copyright © Merlijn van Veen 2015. All rights reserved.

figura 21

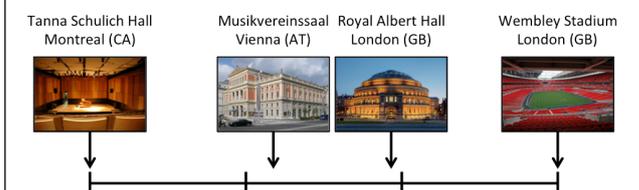
Se il suono diretto e riverberante hanno lo stesso livello alla distanza critica, possiamo stimare il suo range riformulando i termini fra parentesi (figura 21). Il risultato è molto interessante poiché mostra il peso numerico sia del fattore di direttività che del coefficiente di assorbimento. Raddoppiare il fattore di direttività è ugualmente efficiente che raddoppiare il coefficiente di assorbimento!

Sfortunatamente, l'assorbimento della potenza delle basse frequenze è virtualmente nullo. Serve un coefficiente di assorbimento di 0,5 per assorbire 3 dB, molto improbabile con i materiali come cemento e metallo con cui sono realizzate le venue. Possiamo consolarci con il fatto che La rigidità e durezza di questi materiali, se da un lato fa venire meno la capacità "diaframmatica" (tipica dei materiali flessibili che assorbono energia), dall'altro ci garantisce che gli edifici non ci crollino addosso!.

Ma se il coefficiente di assorbimento atteso è vicino allo zero e il fattore di direttività per i subwoofer omnidirezionali è 1, allora l'unico parametro rimanente è la Superficie. Avremmo bisogno di molti mq di materiale assorbente per assorbire le basse frequenze.

Questo è un vantaggio nelle venue larghe, ma in quelle piccole cercare di aumentare il fattore di direttività del subwoofer, è l'unica opzione praticabile rimanente.

Generalmente non sono un grande fan della distanza critica poiché al cambiare del pattern di direttività dei diffusori a seconda della frequenza, cambia la distanza critica. Chiunque abbia accesso ad un FFT analyzer (come per esempio Smaart), può localizzare facilmente la distanza critica. Alla distanza critica, poiché abbiamo una parte di segnale ed una parte di rumore (sotto forma di riverbero), avremo un valore di coerenza di circa il 50%. Ma poiché il fattore di direttività del subwoofer rimane virtualmente costante attraverso il suo range operativo, appare chiaro come per le basse frequenze in un ambiente chiuso, la distanza critica è praticamente inesistente.



	Tanna Schulich Hall Montreal (CA)	Musikvereinssaal Vienna (AT)	Royal Albert Hall London (GB)	Wembley Stadium London (GB)
				
	1.000 m ³ (35.300 ft ³)	10.000 m ³ (353.000 ft ³)	100.000 m ³ (3.530.000 ft ³)	1.000.000 m ³ (35.300.000 ft ³)
a	critical distance for omnidirectional sources (Q = 1)			
	<i>f_s</i>			
0.1	1 m (3 ft) 100 Hz	2 m (6 ft)	5 m (15 ft)	10 m (30 ft)
0.2	1 m (3 ft) 80 Hz	3 m (9 ft)	7 m (21 ft)	15 m (45 ft)
0.3	2 m (6 ft) 63 Hz	4 m (12 ft)	8 m (24 ft)	18 m (54 ft)
0.4	2 m (6 ft) 50 Hz	4 m (12 ft)	10 m (30 ft)	21 m (63 ft)
0.5	2 m (6 ft) 50 Hz	5 m (15 ft)	11 m (33 ft)	23 m (69 ft)



Photos: Wikimedia
Copyright © Merlijn van Veen 2015. All rights reserved.

figura 22

Se guardiamo alcune distanze critiche stimate per differenti volumi³ (figura 22) usando un fattore di direttività di 1 e modesti valori per il coefficiente di assorbimento, i risultati sono deprimenti. E' palese che il vostro subwoofer omnidirezionale all'arrivo è sostanzialmente morto. E man mano che aumenta il volume, non migliora molto la situazione data l'aumentata distanza che necessita essere attraversata per raggiungere il fondo della sala.

I valori grigi nella prima colonna per l'esempio dei 1.000 m³, rappresentano le frequenze limite inferiori. Nei range di frequenza al di sotto di questi limiti, la venue è governata dai nodi della stanza, che si comportano in modo non statistico rendendo la

³ Le venues in questo esempio sono scelte per dare un senso di volume. Le loro proprietà acustiche non sono oggetto di questa discussione.

formula di Hopkins-Stryker inutilizzabile. Vorrei precisare che questi valori rappresentano transizioni graduali e non transizioni nette come lame di rasoio.

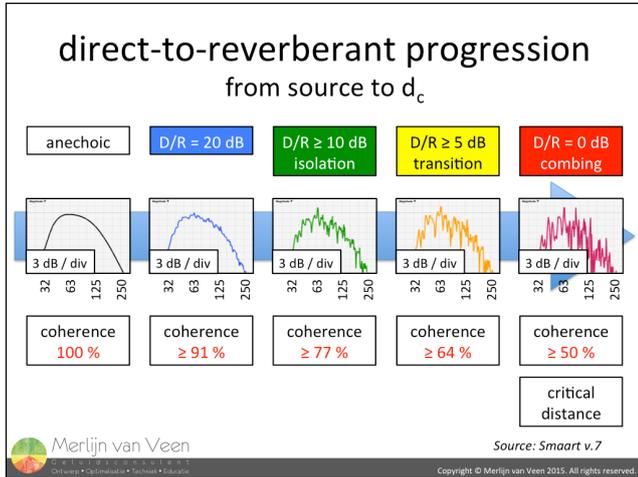


figura 23

Ora che abbiamo un mezzo per stimare la distanza critica, diamo uno sguardo a cosa avviene nello spazio tra il subwoofer e la distanza critica stessa.

Vicino al subwoofer il suono diretto, influenzato dalla distanza (legge dell'inverso del quadrato della distanza), domina sul suono riverberante il quale a sua volta è indipendente dalla distanza. C'è un buon rapporto segnale/rumore che viene visualizzato nel nostro FFT Analyzer da un'alta coerenza. Invece, man mano che ci allontaniamo dal subwoofer, il suono riverberante prende il sopravvento sul suono diretto che decade a -6dB per ogni raddoppio della distanza. Il rapporto segnale/rumore (riverbero) decresce e la coerenza cala. Questo nel dominio della frequenza (figura 23), si manifesta come un aumento graduale e costante nel ripple.

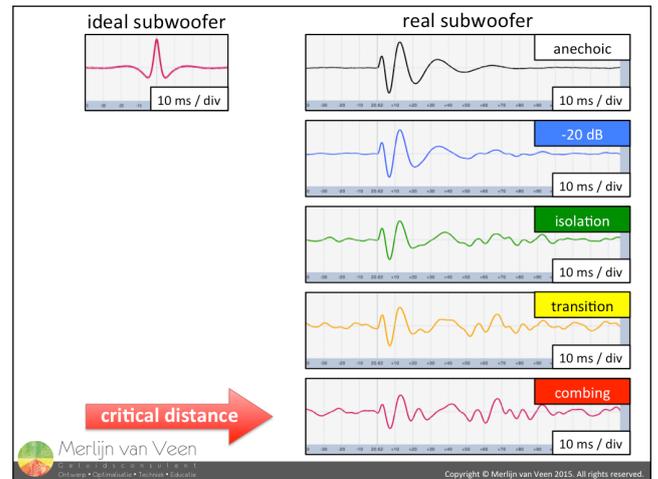


figura 24

Nel dominio del tempo (figura 24) il diminuire del rapporto tra segnale diretto e riverberante, appare come sbavature nella risposta lineare all'impulso. Quando arriviamo alla distanza critica la iniziale risposta all'impulso ha sviluppato una coda di 100 ms! E ricordate, questo capita già dopo una frazione di distanza (figura 22).

Confrontate questa risposta con la risposta di un subwoofer ideale, in alto a sinistra della figura 24 e pensate nuovamente all'impatto e al sacco di sabbia! La maggior parte del pubblico è ben al di là della distanza critica e ascolta prevalentemente un suono riverberante indiretto.

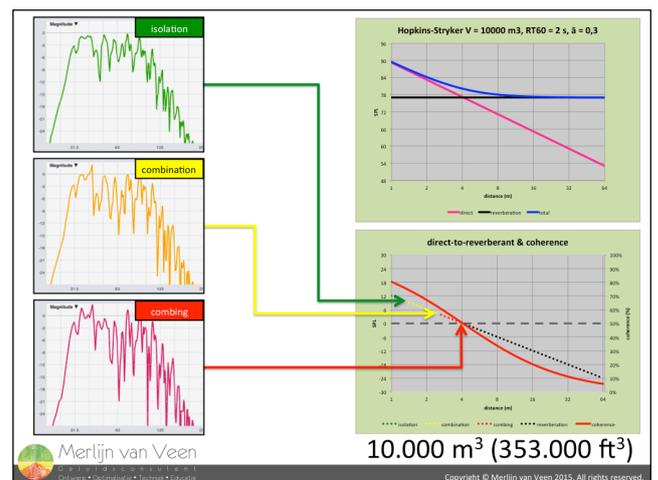


figura 25

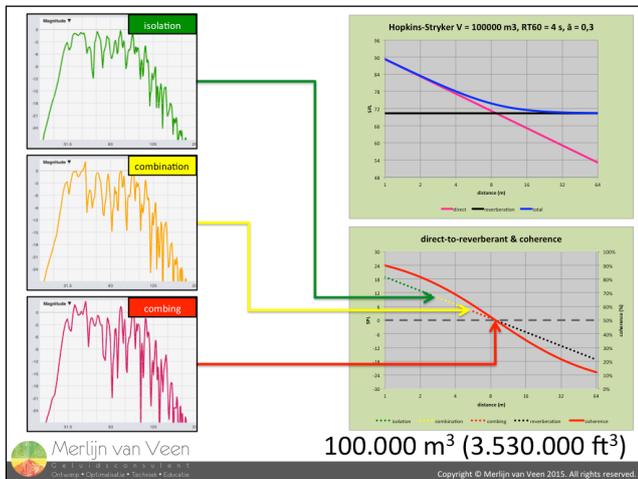


figura 26

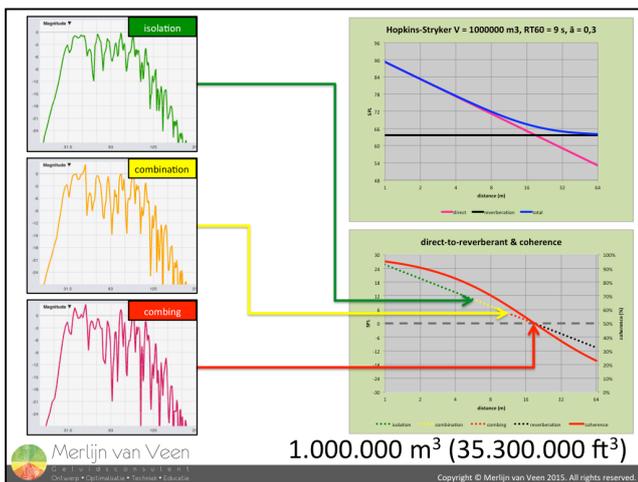


figura 27

Le figure dalla 25 alla 27 mostrano la tipica progressione, non considerando gli ulteriori fattori ($M_e, M_a e N$)⁴, per un spl arbitrario ed un coefficiente di assorbimento medio di 0,3, molto improbabile per le basse frequenze quindi ottimistico, di differenti volumi su distanza in scala logaritmica.

Nella parte in alto a destra delle figure, la linea rosa rappresenta l'spl del suono diretto. Possiamo vedere chiaramente la perdita di 6 dB (1 divisione), per ogni raddoppio della distanza (1 divisione). La linea nera

rappresenta l'spl del suono riverberante, indipendente dalla distanza. La distanza critica si colloca dove le due linee si incrociano (uguale spl). La linea blu rappresenta l'spl combinato.

I disegni in basso a destra mostrano il rapporto tra suono diretto e riverberante a secondo della distanza espressa in forma logaritmica. La linea è stata ombreggiata in accordo alle zone di somma. La linea rossa rappresenta la coerenza basata sul rapporto segnale rumore (riverbero).

Superata la distanza critica, il suono riverberante prende sempre più il sopravvento sul suono diretto e la coerenza (SNR), cade al di sotto del 50%. Il trend da diretto a riverberante lungo la distanza è identico per tutti i volumi in questi esempi. La differenza sta nei valori che crescono all'aumentare del volume.

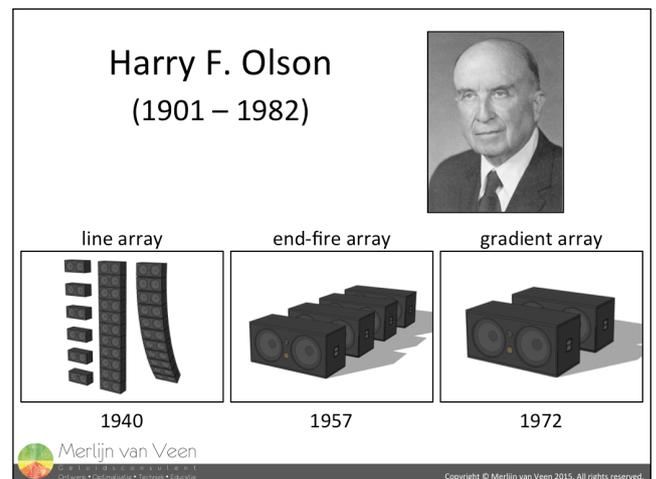


figura 28

Ora che abbiamo stabilito l'importanza e la necessità di un controllo direttivo delle basse frequenze, specialmente in ambienti chiusi dove l'acustica delle stanze rappresenta il primo problema, diamo uno alle principali soluzioni utilizzate per ottenere tale direttività (figura 28).

⁴ Sound System Engineering 4th ed.
 by Don Davis et al., Focal Press
 page 222

Possiamo incominciare a fare una distinzione generale tra array in linea ed in fila, così come sono stati descritti da Harry F. Olson⁵ già 75 anni fa.

Iniziamo dando una occhiata agli array in fila.

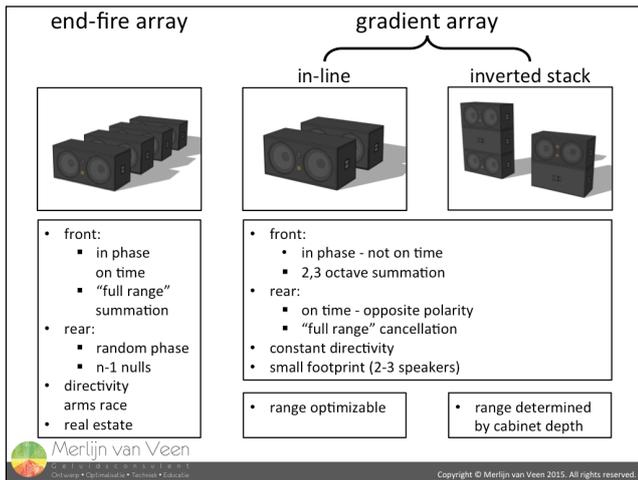


figura 29

Gli array in fila (figura 29) si presentano in due configurazioni: end-fire e gradiente. La seconda può essere divisa in configurazioni gradiente in linea e a stack invertito (CSA).

La configurazione end-fire è in fase e allineata temporalmente sul fronte dell'array. Questo comporta una somma "full range" su tutto il suo range operativo.

Sul retro la configurazione end-fire presenta fase casuale, che si traduce in un numero di nulls uguali all'ammontare dei subwoofer meno uno.

L'ammontare dei subwoofer determina la larghezza di banda totale e l'ammontare della cancellazione sul retro della configurazione. A riguardo aumentare il numero dei subwoofer è preferibile, fino ad un numero in cui più nulla è cancellato.

Per quanto riguarda l'ammontare dei subwoofer, il pattern di copertura di un end-fire si restringerà man mano che saliamo di frequenza. L'ammontare dei

subwoofer determina la copertura globale, ma le frequenze più basse saranno comunque più ampie delle alte. E' una "corsa agli armamenti".

L'end-fire richiede spazio, a meno che non sia appeso, e non può essere collocato sotto il palco. Il palco infatti funziona da margine e deteriora⁶ la copertura. Questo in generale vale per tutte le configurazioni cardioidi.

Un array cardiode in gradiente, a differenza dell'end-fire prevede un sub con polarità invertita talvolta girato in senso opposto rispetto all'altro. L'ammontare dei sub è limitato a due (o meglio a due file) per le configurazioni in linea e due o più per le configurazioni a stack invertito, numero che varia in base alla differenza di livello tra fronte e retro.

Un array cardiode gradiente è allineato temporalmente ma con polarità invertita sul retro della configurazione. Questo si traduce in una cancellazione full range per tutto il suo range operativo.

Il fronte dell'array non è allineato temporalmente, ma è in fase. Questo si traduce in una somma parziale per poco più di due ottave.

Notate come gli end-fire rappresentino una soluzione perfetta sul fronte ed una non perfetta soluzione sul retro dell'array. La configurazione gradiente al contrario è una soluzione non perfetta davanti, perfetta dietro. Ecco perché la configurazione gradiente è considerata come un end-fire "riflesso".

In contrasto con la ristretta copertura di una configurazione end-fire, la configurazione gradiente esibisce una direttività quasi costante attraverso il suo range operativo. Ciò la rende una soluzione più adatta per designe complessi.

La configurazione a stack invertito può essere realizzata simmetricamente o asimmetricamente. La versione simmetrica di 3 elementi con due sub rivolti in avanti e uno rivolto dietro, è simmetrica sia in "free space" che in "half space". In questo ultimo caso il

⁵ Book: Elements of Acoustical Engineering 1940
Book: Acoustical Engineering 1957
AES Journal: Gradient Loudspeakers, 1972

⁶ AES Paper 7971
Subwoofer positioning, orientation and calibration for large-scale sound reinforcement

pavimento su cui è poggiata crea come una immagine virtuale avendo così in definitiva 4 sub rivolti in avanti (due reali e due virtuali) e due sub rivolti indietro (uno reale ed uno virtuale). La versione a due sub con uno rivolto dietro ed uno in avanti, è asimmetrica in “free space”, simmetrica in “half space”, a causa della sua immagine “speculare” “riflessa” dal pavimento, rendendola di fatto una configurazione simmetrica a 4 elementi con due sub rivolti in avanti (uno reale ed uno virtuale) e due due indietro (uno virtuale ed uno reale). La soluzione asimmetrica non è idonea ad essere appesa. Lo stack invertito simmetrico invece può essere usato come modulo di array più complessi.

Le configurazioni gradiente in linea richiedono relativamente poco spazio, tanto più la configurazione a stack invertiti.

La configurazione in linea ci permette di scegliere per quale frequenza ottimizzare la nostra somma massima sul fronte e cancellazione sul retro, cambiando la distanza fisica tra i sub, mentre nella configurazione a stack invertiti, la frequenza di intervento sarà predefinita dalla profondità fisica dei cabinet.

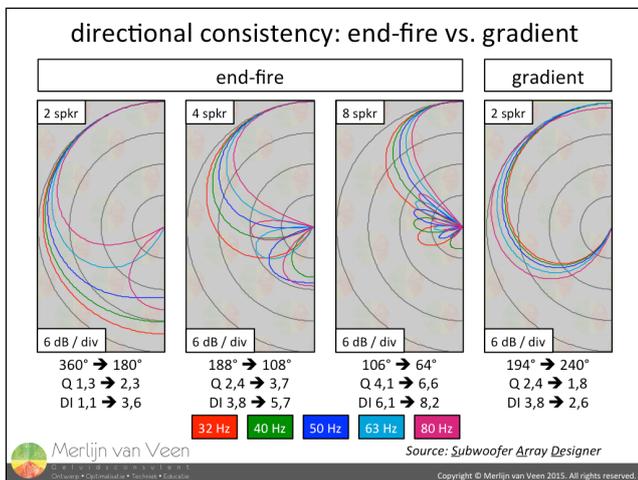


figura 30

La figura 30 illustra la “corsa agli armamenti” della quale parlavamo precedentemente e ci mostra la direttività degli end-fire all’aumentare del numero dei subwoofer. Notate il progressivo restringimento complessivo della copertura. Tuttavia le frequenze più basse della banda, rimangono più ampie rispetto

alle frequenze alte. Un array gradiente invece, esibisce una direttività virtuale costante attraverso tutto il suo range operativo.

directivity factor (Q)	critical distance (%)
1	100%
2	142%
3	173%
4	200%
5	237%
6	245%
7	265%
8	283%
9	300%
10	316%

tabella 1

Uno sguardo al fattore di direttività (figura 30) mostra lo sforzo richiesto per raggiungere valori pratici (tavola 1). Specialmente se consideriamo che la formula della distanza critica derivata dalla equazione di Hopkins-Stryker, contiene una radice quadrata!

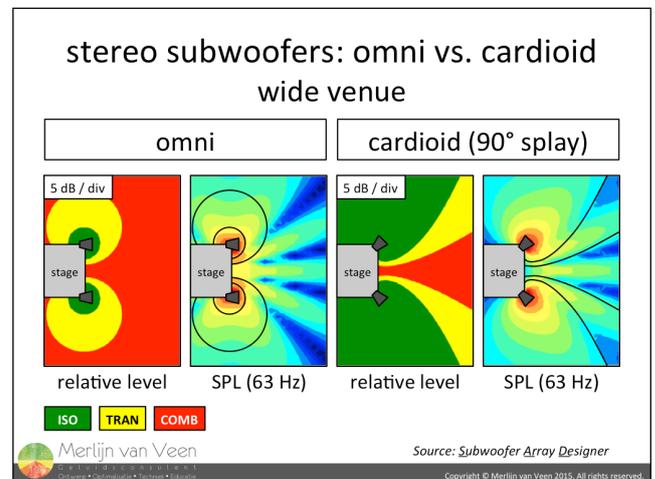


figura 31

Diamo uno sguardo all’esempio in figura 31 in cui verifichiamo le differenze tra l’uso di soluzioni omnidirezionali e cardioidi in una venue larga. Nella parte sinistra della figura vediamo l’approccio omnidirezionale in cui la maggior parte del pubblico si ritrova all’interno della zona rossa di combing. Con l’uso di una configurazione cardiode invece, i nostri subwoofer diventano non più immuni alla rotazione.

Introducendo una angolazione ai sub possiamo usare a nostro vantaggio l'attenuazione angolare, riducendo la sovrapposizione al centro e contemporaneamente creando zone di isolamento laterali. Uno sguardo alle immagini relative al SPL in figura 31, ci fa vedere che la vasta zona di combing, usando una configurazione cardioide, si è ridotta sensibilmente. Questo è evidente per la presenza di minori interferenze distruttive, caratterizzate da null meno marcati. La situazione geometrica, quindi temporale è rimasta invariata, ma l'offset di livello relativo è venuto in soccorso.

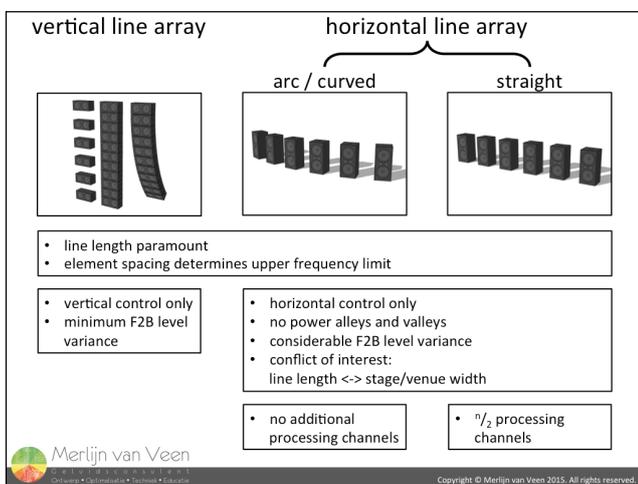


figura 32

I line array, array in linea, (figura 32) sono un altro mezzo per esercitare un controllo direttivo delle basse frequenze. Possono essere disposti verticalmente e orizzontalmente. Il controllo della copertura avviene lungo il piano in cui sono disposti.

La chiave del successo nel controllo della direttività delle basse frequenze in un line array è la lunghezza della linea. Grandi lunghezze d'onda, abbinate a stretti angoli di copertura, richiedono lunghe linee. La distanza tra gli elementi, determina la frequenza limite superiore del range operativo. Gli array rettilinei si comportano in maniera decisamente differente dagli array curvilinei.

Senza ulteriore processamento, l'angolo di copertura degli array rettilinei dimezza ad ogni raddoppio della frequenza per tutto il loro range operativo. Gli array non sono in grado di mantenere una direttività costante.

Array curvi o arcuati invece mantengono un angolo di copertura costante attraverso il loro range operativo, uguale all'angolo della sezione di arco (come un pezzo di pizza).

Conseguentemente, affinché gli array rettilinei esibiscano una direttività costante è necessario un processamento elettronico che faccia in modo che l'array sia virtualmente disposto su un arco fisico (arco elettronico).

Gli array verticali determinano un controllo limitato della direttività sul piano orizzontale, ma possono essere efficaci nel migliorare i rapporti di distanza tra fronte e retro di una venue. Essi infatti riducono la varianza di livello attraverso il pubblico e quando sono orientati e angolati correttamente, possono evitare le riflessioni del soffitto.

Gli array orizzontali sono spesso disposti sul pavimento come una singola sorgente mono, determinando un controllo orizzontale della direttività. Quando realizzati con subwoofer omnidirezionali, gli array in arco espandono la loro energia sul fronte della configurazione e creano un fastidioso punto focale sul retro che si localizza nell'area del palco. Gli array rettilinei di subwoofer omnidirezionali arcuati elettronicamente d'altro canto, sono intrinsecamente simmetrici. L'energia si espande allo stesso modo sia davanti che dietro la configurazione, come in una tavola del test di Rorschach.

Nel piano verticale, a causa del limitato rapporto di distanza tra fronte e retro del pubblico seduto, la varianza di livello è nuovamente soggetta alla legge dell'inverso del quadrato della distanza. Ma l'approccio mono al centro, con l'assenza di picchi e null, determina un sostanziale miglioramento rispetto al tradizionale setup "stereo" dei sub.

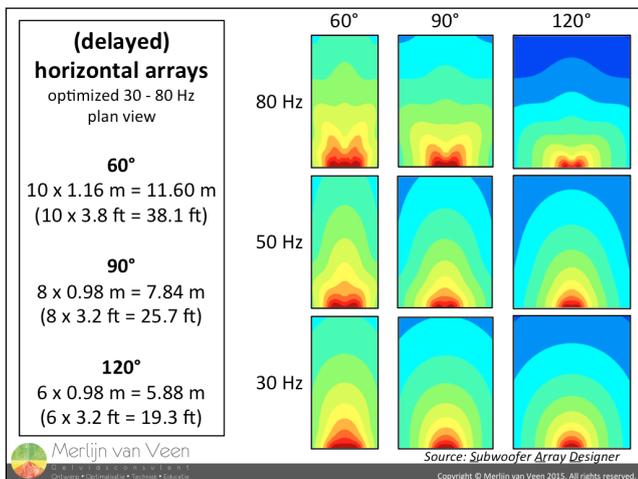


figura 33

Un particolare conflitto di interesse in relazione agli array orizzontali è il desiderio di estendere la lunghezza della linea alla larghezza del palco o della venue. In generale però venue strette richiedono lunghe linee, mentre venue larghe richiedono linee corte, indipendentemente dalla larghezza della venue o del palco.

Buchi di copertura nel campo vicino sono un problema localizzato, che influenzano una minima parte del pubblico e che è meglio siano trattati usando soluzioni localizzate come fill di subwoofer.

Non ha senso infatti sacrificare una soluzione che va bene per la maggior parte della venue in favore di una piccola parte di essa.

E' impossibile realizzare un array orizzontale e voler mantenere nel contempo una lunghezza costante per tutte le frequenze, senza sacrificare potenza.

La crescente popolarità dei filtri FIR offre ben poco aiuto nel live sound reinforcement, a causa delle inaccettabili latenze in gioco alle basse frequenze.

In conclusione, sia gli array verticali che orizzontali, evidentemente beneficiano delle configurazioni cardioidi di subwoofer rispetto a configurazioni con subwoofer omnidirezionali.

Grazie!

Per ulteriori informazioni sul controllo direttivo delle basse frequenze leggi il manuale del "Subwoofer Array Designer" o gli articoli "Lack of impact" e "Offset restraint in 2-element cardioid configurations" sul mio sito.