



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2019/20
Prof. Filippo L.M. Milotta

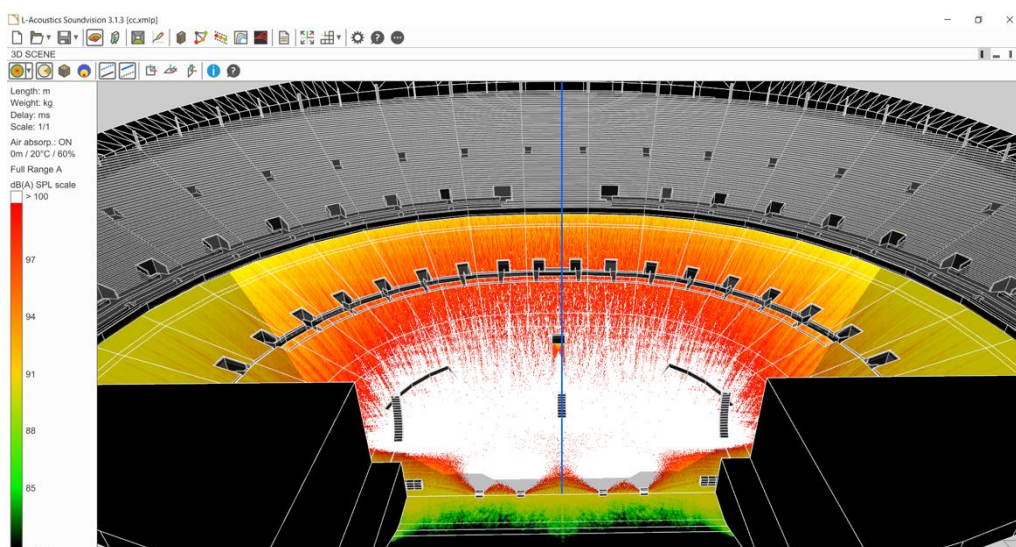
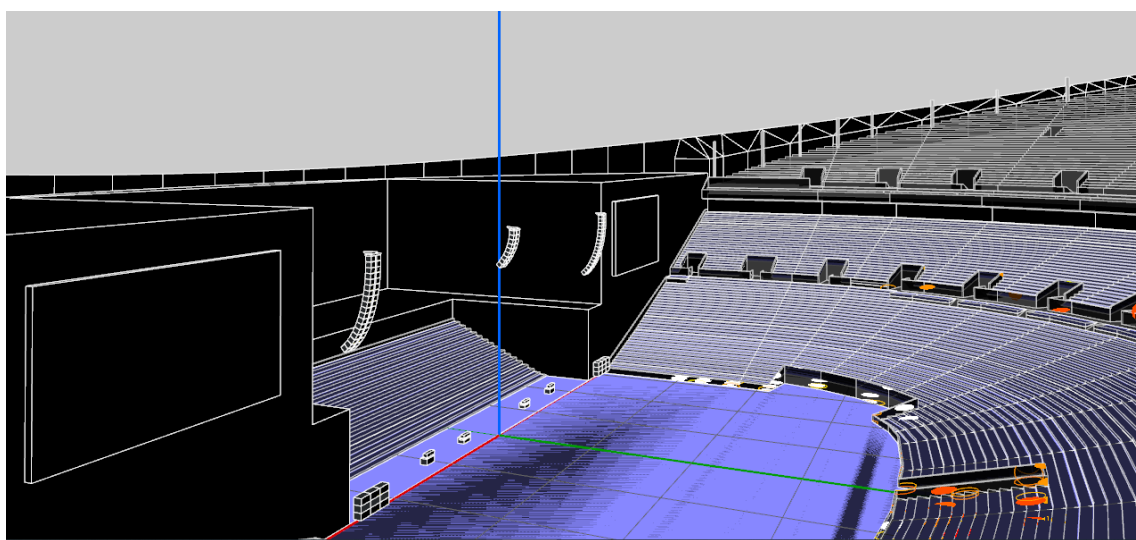
ID PROGETTO: 03

TITOLO PROGETTO: *LE CONFIGURAZIONI AUDIO NEI CONCERTI LIVE*

AUTORE 1: Amodei Simone

AUTORE 2: Assenza Pierpaolo

AUTORE 3: Russo Francesco



Indice

1. Obiettivi del progetto	3
1.1 Illustrare le varie tipologie di impianti audio analizzandone pro e contro	3
1.2 Approfondimento sulle configurazioni utilizzate nella disposizione dei subwoofer	7
1.3 Analizzare e simulare sul software(SoundVision) tali configurazioni	9
1.4 Spiegazioni degli strumenti utilizzati per la verifica di quanto progettato (Microfoni di misura, FFT analyzer).	12
2. Riferimenti Bibliografici.....	13
3. Argomenti Teorici Trattati	14
3.1 Principi di acustica: Caratteristiche delle onde, Principio di sovrapposizione, Intensità sonora (dB 'SPL').....	14
3.2 Legge dell'inverso del quadrato	16
3.3 Propagazione delle onde (Beamforming e Gainshading).....	16
3.4 Rumore (Bianco, Rosa).....	17
3.5 Analisi di Fourier	17

1. Obiettivi del progetto

1.1 Illustrare le varie tipologie di impianti audio analizzandone pro e contro

Il primo strumento di riproduzione audio largamente utilizzato, di cui abbiamo nota, fu il **grammofono** (XIX SECOLO). La riproduzione avveniva trasmettendo la vibrazione prodotta dai solchi, incisi sul disco, ad una membrana la cui variazione di pressione generava il suono.

Tale strumento riproduceva il suono da una singola sorgente (**AUDIO MONOFONICO**) ma ben presto questo si rilevò una grande limitazione, perché nella MONOFONIA il flusso di informazioni era limitato e non permetteva all'ascoltatore di avere una fedele percezione del segnale audio originale.

Per questo motivo, dal grammofono si è passati via via a strumenti di riproduzione sempre più sofisticati e differenziati al fine di conferire maggiore spazialità al suono utilizzando una nuova tecnica di riproduzione/registrazione che prende il nome di **AUDIO STEREOFONICO o multicanale**.

Tali strumenti riproducevano da diverse sorgenti sonore più flussi informativi in modo da avere una maggiore qualità.

Tuttavia si ebbe la necessità di avere sempre la migliore percezione del suono al variare dell'ambiente circostante, nasce quindi l'esigenza di avere varie tipologie di impianti audio, che possiamo suddividere in 2 MACRO-CATEGORIE :

- Impianti *indoor*;
- Impianti *outdoor*.

Entrambe le categorie possono a loro volta essere differenziate in *impianti passivi e attivi*.

La differenza principale sta nel fatto che un diffusore passivo necessita in ingresso un segnale audio amplificato proveniente da un amplificatore esterno ad esso, mentre in un diffusore attivo quest'ultimo viene implementato internamente.

Analizzandone i pro e i contro :

	PRO	CONTRO
IMPIANTI ATTIVI	<ul style="list-style-type: none">• Ingombro ridotto• Pronti all'uso (non necessita una conoscenza approfondita per utilizzarli es: <i>alimentazione/impedenza</i>)• Non necessitano di amplificatore esterno• Spesso non servono mixer per utilizzarli	<ul style="list-style-type: none">• In caso di guasto dell'amplificatore interno il diffusore non può essere utilizzato.• Non si può sostituire il suo amplificatore con uno più performante• Ha un peso notevolmente maggiore degli impianti passivi.
IMPIANTI PASSIVI	<ul style="list-style-type: none">• Possibilità di distribuire il peso complessivo tra diffusori e amplificatore• Si può utilizzare l'amplificatore che si preferisce (potendone scegliere uno di qualità/potenza maggiore)	<ul style="list-style-type: none">• Non può essere installato senza l'utilizzo di amplificatori e mixer• Serve un'appropriata conoscenza tecnica per abbinare correttamente l'amplificatore e il diffusore passivo• Nei cablaggi la lunga distanza tra amplificatore e diffusore può causare una perdita di potenza.

Intuiamo quindi che non c'è un sistema audio da preferire poiché la qualità del suono è identica ma la scelta varia in base alle esigenze che si manifestano.

Nella categoria degli impianti *indoor*, quelli di maggior utilizzo sono :

◆ **MONITOR DA STUDIO**

Sono diffusori progettati specificatamente per essere installati in studi di produzione audio o luoghi chiusi acusticamente trattati, dove l'accurata riproduzione di suoni e rumori è di fondamentale importanza.



Essi devono garantire una risposta in frequenza il più lineare possibile; ciò vuol dire che non devono colorare il suono, ovvero le componenti in frequenza del segnale d'ingresso non devono essere né attenuate né accentuate.

Affinché si abbia una corretta percezione del segnale riprodotto, anche il posizionamento rispetto l'ascoltatore è di notevole importanza.

◆ **IMPIANTI HOME-THEATRE**

Sono diffusori utilizzati principalmente in ambiente domestico allo scopo di ottenere sensazioni uditive simili a quelle percepibili in un teatro o in una sala cinematografica.

Possono essere configurati in diverse modalità a seconda del numero di diffusori utilizzati.

Ad esempio : 2.1 , 5.1 o in configurazioni innovative come 9.1.6 dove vi sono diffusori anche sul soffitto.



Il nome della configurazione sta ad indicare:

9.1.6

Si riferisce al numero di diffusori surround tradizionali (front, center, surround)

Si riferisce al numero di subwoofers

Si riferisce al numero di diffusori installati nel soffitto

Con tale configurazione è facilmente intuibile che la spazializzazione che acquista il suono è di gran lunga maggiore.

◆ **DIFFUSORE PER INTERNI (A PARETE O INCASSO)**

Sono diffusori utilizzati principalmente in ambienti di massa (es. centri commerciali, bar, ecc.) con lo scopo di creare ambienti accoglienti e di relax.

Hanno la caratteristica di poter essere incassati sul soffitto per essere quanto meno ingombranti e visibili possibili.

Recenti studi hanno infatti dimostrato che la musica nei locali pubblici può incrementare l'acquisto fino al 2%.



Nella categoria degli impianti *outdoor* invece possiamo trovare :

◆ DIFFUSORI PER FILODIFFUSIONE



Sono diffusori utilizzati principalmente per installazioni fisse in ambienti aperti o di grandi dimensioni allo scopo, ad esempio di allietare le vie cittadine con sottofondi musicali. Sono progettati per resistere agli agenti atmosferici e generare elevati livelli di pressione sonora, ma hanno una bassa risposta in frequenza per cui la qualità dell'audio riprodotto non è soddisfacente.

◆ WEDGE&SIDE MONITOR

Sono diffusori che vengono utilizzati nei concerti live allo scopo di avere sul palco un ascolto chiaro e analogo al suono riprodotto all'esterno.

Ne distinguiamo due configurazioni:

-Il *WEDGE MONITOR* ha una forma caratteristica che serve a direzionare la sorgente sonora (e quindi il suono riprodotto) direttamente al ricevitore (musicista).

-Il *SIDE MONITOR* o comunemente chiamato *sidefill* è un monitor di riempimento, cioè serve a fornire sul palco una copertura sonora maggiore in quelle zone non ricoperte dai wedge.



Figura a- Wedge Monitor

◆ IMPIANTI CARICATI A TROMBA



Sono diffusori utilizzati per la copertura di spazi molto ampi e vengono solitamente installati in grossi festival di musica Tecno-House.

Grazie al modo in cui sono progettati sono in grado di erogare un'elevata pressione sonora, perchè tutti i componenti sono caricati da una tromba conica isometrica e alloggiati in un sistema indipendente che neutralizza i fenomeni di risonanza interna al diffusore.

Negli ultimi anni vengono utilizzati in maniera più frequente, non solo per le ottime prestazioni che offre , ma anche per il design di impatto che hanno.

◆ LINE ARRAY

Il line array è un sistema di diffusori sovrapposti in serie verticalmente che lavorano come un'unica sorgente sonora; la forma trapezoidale di ciascun diffusore permette di direzionare il suono nelle aree desiderate per avere una copertura uniforme.

Tali impianti inoltre permettono di raggiungere un'elevata pressione sonora, infatti vengono utilizzati per coprire grandi luoghi sia aperti che chiusi, come ad esempio piazze, stadi, arene e palasport.

Ogni diffusore può essere pilotato singolarmente in modo da garantire una pressione sonora omogenea sui diversi punti della *venue* (in gergo l'area di ascolto),

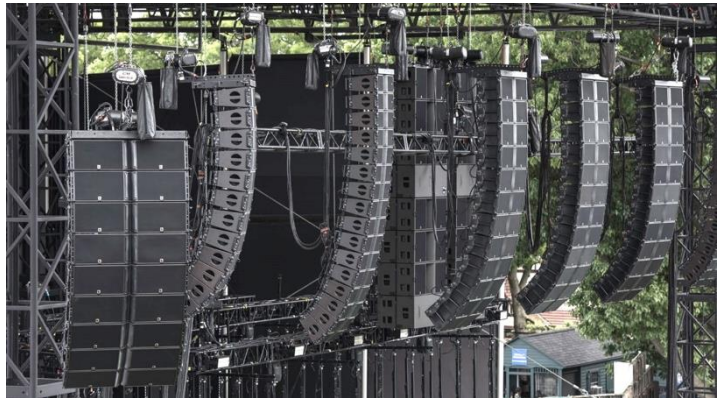
ma ciò necessita una progettazione adeguata che richiede tempo.

Può essere montato in due modi differenti, ovvero in sospensione su delle opportune strutture, o appoggiato su una superficie piana.

Teoricamente l'installazione del line array dovrebbe essere rettilinea, ma così facendo non si avrebbe la copertura adeguata, per questo è necessario curvarlo nella sezione inferiore ottenendo così un array a forma di "J" dove:

- la parte superiore viene utilizzata per coprire le aree distanti;
- la parte inferiore invece per le aree più vicine.

Solitamente questi diffusori riproducono frequenze medio-alte mentre per le basse frequenze vengono usati altoparlanti disposti al suolo (*subwoofer*), anche se ultimamente per raggiungere punti di ascolto su più livelli di altezza (es. nelle arene) sono stati implementati subarray in sospensione.



◆ SUBWOOFER

È un diffusore adibito alla sola riproduzione di suoni a bassa frequenza; per questo non è utilizzabile stand-alone ma deve essere necessariamente accompagnato da diffusori che coprono la banda di frequenze rimanente.



Internamente è composto da uno o due coni di diametro variabile dai 4 ai 34 pollici (maggiore è la dimensione del cono maggiore sarà la capacità di spostare grandi quantità d'aria).

In ambito professionale la dimensione del cono utilizzato può essere 18 o 21 pollici in base al range in cui si vuole operare, infatti lavorano su una banda che va da 20Hz a circa 140Hz.

Tale banda viene garantita tramite l'utilizzo di crossover interni (*low pass filter*) che bypassano le medie e alte frequenze.

Per ottenere pressioni sonore elevate è necessario utilizzare più di un subwoofer, ma questo se non fatto correttamente, potrebbe rivelarsi controproducente (*andremo nel dettaglio nel paragrafo successivo*).

1.2 Approfondimento sulle configurazioni utilizzate nella disposizione dei subwoofer

I subwoofer si comportano in maniera praticamente omnidirezionale in tutto il loro range operativo, ma appena si pongono più diffusori in stack, ad esempio uno sopra l'altro, il pattern di copertura polare diventa sempre più direzionale e più complesso nella forma.

Infatti si possono generare fenomeni di interferenza che creano punti di massima pressione e punti in cui questa si annulla.

Oltre a ciò, si ha anche il problema della riverberazione che aggiunge i suoi effetti di confusione e colorazione nel dominio temporale.

Per far fronte a questi problemi vengono studiate diverse configurazioni allo scopo di avere una copertura audio precisa, fedele ed efficace riuscendo ad ottenere :

- Bassi chiari, con un bilanciamento tonale costante su tutta l'area d'ascolto.
- Un livello sonoro dei bassi sempre nel corretto rapporto con le emissioni in media ed alta frequenza del resto del setup su tutta l'area d'ascolto.
- La drastica riduzione degli effetti negativi della riverberazione e della riflessione.
- La massimizzazione dell'efficienza del sistema (potenza d'uscita rispetto ai costi).

Tra le configurazioni utilizzate vedremo :

-BroadSide Array:

Consiste nell'utilizzo di un certo numero di woofer (eventualmente in stack) strutturati in linea, che può essere dritta, curva o a scala, avente un'emissione sonora diretta più o meno perpendicolare rispetto la linea stessa.



Si nota che utilizzando Array in linea dritta, il pattern diventa via via più stretto all'aumentare delle sorgenti riscontrando però una formazione di numerosi lobi, ovvero zone con differenti intensità di ascolto. Per questo motivo sarebbe meglio utilizzare Array in linea curva che, se sufficientemente lunghi, riescono a garantire una direttività più uniforme lungo l'area di ascolto.

La soluzione ottimale per avere un pattern ampio con assenza di lobi è la struttura a scala, ma per problemi di spazio non sempre è utilizzata.

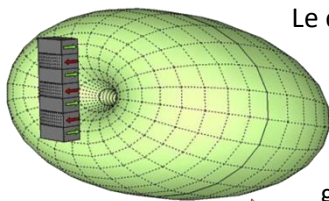
-Gradient array:

Un array di tipo gradiente è una particolare struttura di diffusori pilotati con diverse ampiezze e fasi, così da cancellare la radiazione sonora verso determinate direzioni.

I gradient array funzionano solo quando le loro dimensioni sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda in esame, la ragione di ciò è che i diffusori gradiente lavorano sul controllo delle differenze di pressione acustica tra diverse parti dell'onda sonora, e quindi devono essere sufficientemente piccoli per operare "all'interno" dell'onda.

Data una coppia di gradient array, agendo sul delay del modulo posteriore possiamo realizzare pattern a cardioide e ipercardioide di vario tipo.

Nei gradient array tipici, si è trovato che il minimo della radiazione posteriore si ha quando l'uscita dell'elemento posteriore è circa 6dB inferiore a quella dell'elemento frontale. *In termini pratici, ciò significa che il numero dei woofer posteriori può essere metà della quantità dei woofer frontali.*



Gradient line-array con beamforming.

Le coppie di gradiente non funzionano correttamente quando sono situate di fronte a pareti o a superfici riflettenti.

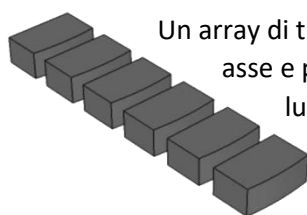
Qualora i subwoofer vengono disposti in colonna si ha un **Gradient Line Array** dove la direttività risultante mostra caratteristiche sia di tipo gradient sia broadside.

Applicando un delay di beamforming è possibile orientare il pattern nella direzione desiderata.

I gradient array si rivelano utili in quei casi in cui il controllo della radiazione retroversa in bassa frequenza sia un punto cruciale. I problemi più comuni in questo senso sono:

1. Troppi bassi sullo stage.
2. Radiazione retroversa indesiderata da parte dei cluster di delay.

- Endfire Array:



Un array di tipo endfire è una linea costituita da subwoofer equi-spaziati allineati allo stesso asse e pilotati in modo da ottenere la direzione della radiazione principale del suono lungo quest'asse.

Ogni subwoofer oltre ad avere la stessa polarità di fase, è gestito indipendentemente in modo da impostare ad ognuno un delay che deve essere pari al tempo necessario affinché l'onda sonora passi dalla sorgente a quella successiva.

La caratteristica fondamentale di questa configurazione è che

al centro del palco si manifestano i punti di zero dei lobi; ciò vuol dire che sullo stage non saranno presenti le basse frequenze che potrebbero provocare delle interferenze.

Si nota, inoltre, che lavorando con array endfire molto lunghi, è possibile proiettare bassi potenti e ben direzionati verso lunghe distanze.

Tra le 3 configurazioni viste, data la semplicità progettuale, quella comunemente utilizzata è la **broadside array**.

1.3 Analizzare e simulare sul software(SoundVision) tali configurazioni

Per verificare quanto discusso nel paragrafo precedente utilizziamo Soundvision, un software apposito che permettere di progettare e simulare le diverse configurazioni dei subwoofer mostrando graficamente i livelli di SPL nei vari punti della venue, così da visualizzare ed eventualmente correggere, lobi o punti di zero, per avere un intensità sonora omogenea.

E' ovvio che non si potrà mai avere la stessa intensità su tutta la venue infatti come sappiamo, all'aumentare della distanza i dB SPL diminuiscono secondo la *legge dell'inverso del quadrato*, ma si fa in modo di rendere minima questa variazione in punti prossimi della venue.

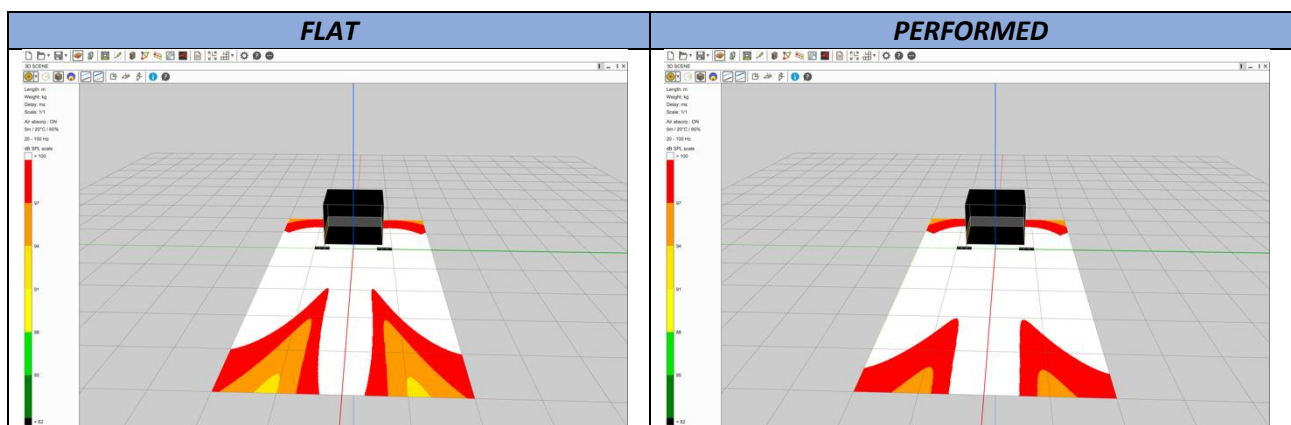
*N.B.: per tutte le configurazioni abbiamo realizzato uno **stage** di larghezza 15m, profondità 12m, altezza 1.2m e una **venue** di larghezza 60m e lunghezza 90m..*

Per verificare la propagazione dei subwoofer in **broadside array** abbiamo utilizzato due diverse configurazioni utilizzando i seguenti parametri:

Broadside array 3Left & 3Right:

Usiamo 6 subwoofer disposti 3 a destra dello stage e 3 a sinistra, uno accanto all'altro:

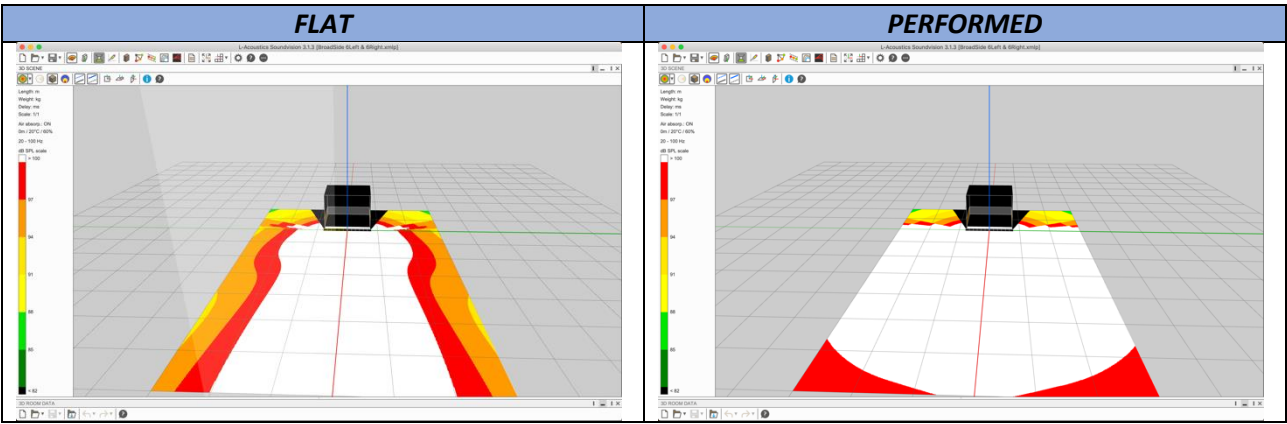
Left	Delay(ms)	Gain(dB)	Right	Delay(ms)	Gain(dB)
1	0	0/1	1	4	0/1
2	1.5	0/1	2	1.5	0/1
3	4	0/1	3	0	0/1



Broadside array 12 sub front stage:

Usiamo 12 subwoofer disposti 6 a destra e 6 a sinistra uno accanto all'altro davanti lo stage

Left	Delay(ms)	Gain(dB)	Right	Delay(ms)	Gain(dB)
1	0	0	1	12	0
2	1	0	2	7	0
3	2	0	3	4	0
4	4	0	4	2	0
5	7	0	5	1	0
6	12	0	6	0	0



Invece per i subwoofer in **gradient array** abbiamo utilizzato due diverse configurazioni con i seguenti parametri:

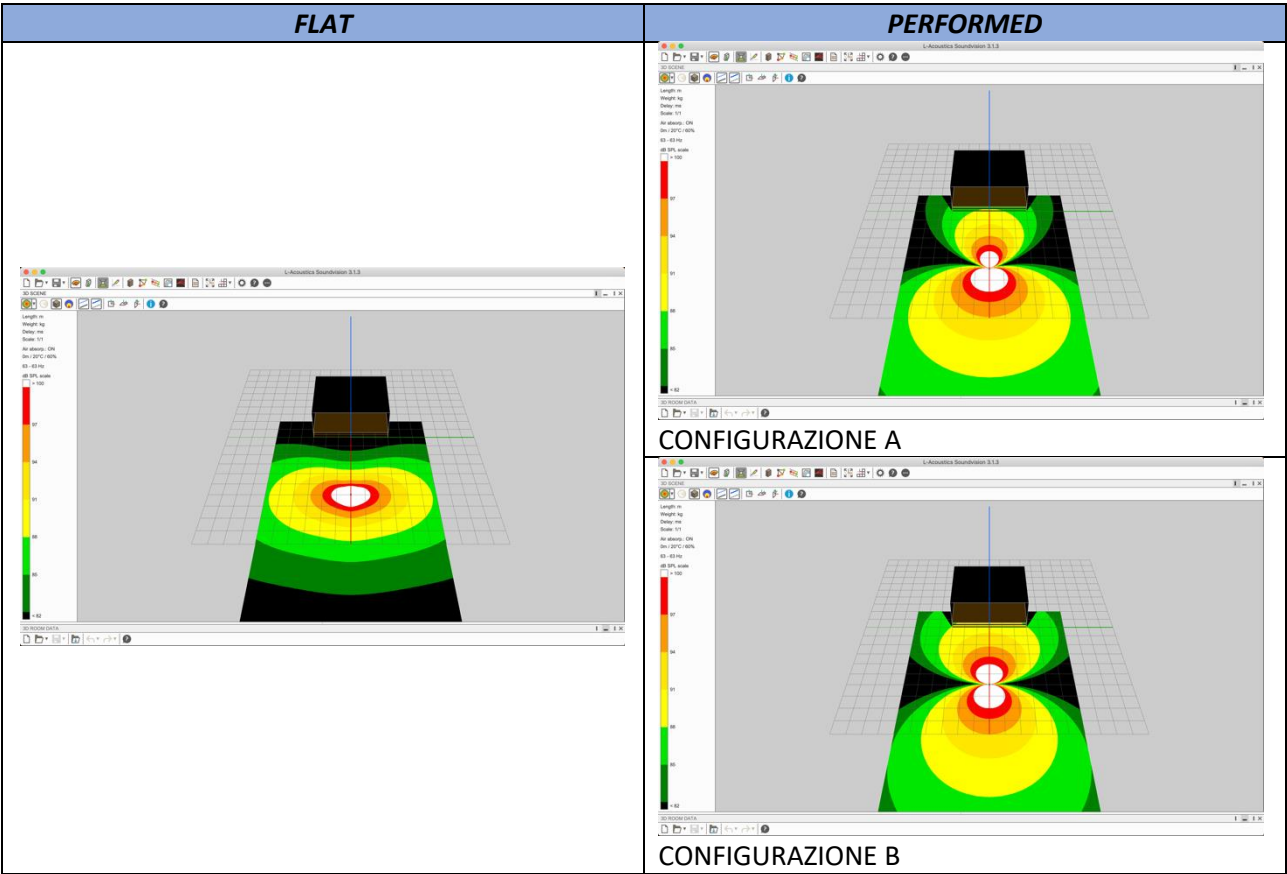
Ipercardioid back-to-back:

Usiamo 2 subwoofer posti back-to-back distanti tra loro 10cm.

Le due configurazioni strutturalmente sono identiche ma la differenza sta nell'impostazione del delay che creerà un pattern nettamente diverso

A:	Delay(ms)	Gain(dB)	Phase
Front	0	0	OFF
Rear	2.3	0	ON

B:	Delay(ms)	Gain(dB)	Phase
Front	0	0	OFF
Rear	0	0	ON

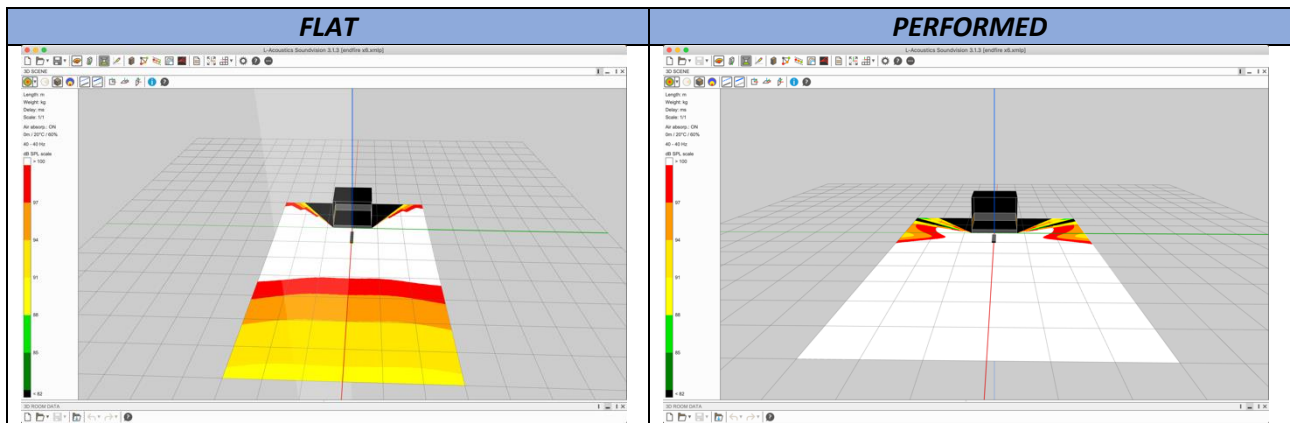


Infine per i subwoofer in **endfire array** abbiamo utilizzato una configurazione con i seguenti parametri:

Endfire array 6 sub:

Usiamo 6 subwoofer uno davanti all' altro distanziati tra loro 60cm dove il subwoofer primario è quello più vicino alla stage.

Center	Delay(ms)	Gain(dB)
1	0	0
2	4	0
3	8	0
4	12	0
5	16	0
6	20	0



1.4 Spiegazioni degli strumenti utilizzati per la verifica di quanto progettato (Microfoni di misura, FFT analyzer).

Per la verifica pratica e la successiva ottimizzazione di quanto simulato precedentemente, vengono utilizzati particolari sistemi di misura che oltre a misurare il livello della pressione sonora nei vari punti interessati, mostrano anche l'ampiezza delle componenti armoniche del segnale, dando una stima della risposta in frequenza dell'impianto.

Il processo di misura avviene riproducendo singolarmente in ognuna delle sorgenti **rumore rosa** ; tramite un adeguato microfono (**microfono di misura**) collegato ad un **analizzatore di spettro** si ottengono i dB SPL relativi a ciascuna frequenza.

Ultimamente però si è visto che i risultati ottenuti da tali misurazioni risultavano poco accurati , poiché musica e rumore rosa non condividono le stesse caratteristiche dinamiche su tutto il range di frequenza.

*Per risolvere questo problema, **Meyer Sound** ha sviluppato il **RUMORE M** implementato solamente in una sua applicazione, ottenendo un segnale di prova che ha un ampio spettro di contenuti musicali.*



Il tipo di microfono utilizzato per le misure acustiche è il microfono a condensatore.

Esso sfrutta l'effetto di variazione capacitiva, ovvero le due lamine che compongono la capsula microfonica sono sollecitate dalla variazione di pressione che il suono genera nel mezzo di propagazione, provocando una differenza di potenziale; vengono preferiti ai classici microfoni per la notevole sensibilità, tuttavia il segnale in uscita è molto debole per cui vi è un preamplificatore incorporato, il quale però necessita di essere alimentato (**alimentazione Phantom**).

Gli analizzatori di spettro, in seguito, ricevono il segnale audio proveniente dai microfoni di misura e applicandovi la trasformata di Fourier ne forniscono le componenti in frequenza.

Sarà infine compito del progettista, sulla base di queste misurazioni, calibrare adeguatamente l'impianto; così facendo si potrà ridurre il rumore indesiderato, minimizzare il rischio di danni agli altoparlanti e assicurare di ascoltare l'audio nel modo più accurato possibile.

2. Riferimenti Bibliografici

- Per la sezione impianti HOME-THEATRE:
<https://www.dolby.com/us/en/guide/9.1.6-overhead-speaker-setup-guide.pdf>
- Per la sezione impianti LINE-ARRAY:
https://it.wikipedia.org/wiki/Line_array
- Per la sezione SUBWOOFER:
<https://it.wikipedia.org/wiki/Subwoofer>
- Per il paragrafo *approfondimento configurazioni subwoofer*:
[“Subwoofer Arrays – A Practical Guide” \(rev.1\) di Jeff Berryman, Electro-Voice, June 2010.](#)
- Per il paragrafo riguardante *strumenti di misura*:
<http://acustica.ing.unibo.it/Staff/paolo/ac4.pdf>

3. Argomenti Teorici Trattati

3.1 Principi di acustica: Caratteristiche delle onde, Principio di sovrapposizione, Intensità sonora (dB 'SPL').

Caratteristiche delle onde:

Un'onda sonora è *un'onda meccanica* determinata da una variazione di pressione dell'aria (il mezzo di propagazione dell'onda stessa). La perturbazione viene sempre generata dalla vibrazione di un corpo solido che costituisce la sorgente del suono.

Un'onda è caratterizzata da diversi parametri:

- Il **periodo** T , che non è altro che il tempo che intercorre tra una perturbazione e un'altra.
- Inversamente la **frequenza** indica il numero di periodi compiuti nell'unità di tempo $f = \frac{1}{T}$; inoltre caratterizza l'altezza dei toni che in base alla frequenza vengono classificati come segue:

Intervallo frequenza	Tipo
20 – 500 Hz	Bassi
500 – 8 000 Hz	Medi
8 000 – 20 000 Hz	Alti

- L' **intensità sonora o ampiezza** dell'onda acustica, invece si definisce come la massima pressione raggiunta nelle aree di addensamento.

A causa del range molto grande di valori in cui varia tale pressione, l'ampiezza viene tipicamente misurata in **decibel SPL** (Sound Pressure Level) dB_{SPL} ;

Detta p la pressione del suono considerato il suo livello di pressione sonora sarà:

$$\text{SPL} = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

con p_0 pressione di riferimento $= 25 \mu\text{Pa}$.

- La **lunghezza d'onda** invece corrisponde alla distanza percorsa dall'onda, nel tempo necessario a passare da un punto di massimo(minimo) al corrispondente massimo(minimo) dell'oscillazione successiva.

A tal proposito per quando riguarda i diffusori audio diremo che un box o array è "grande" se le sue dimensioni equivalgono almeno a 1.5 volte le lunghezze d'onda del suo range operativo. Mentre diremo che un diffusore è "piccolo" se è circa un terzo di una determinata lunghezza d'onda in esame.

In condizioni normali di pressione, temperatura e umidità la lunghezza d'onda può essere ricavata con la seguente:

$$\text{Lunghezza d'onda } \lambda = \frac{340}{\text{frequenza}} \text{ (metri)}$$

Lunghezze d'onda tipiche nel range di nostro interesse sono:

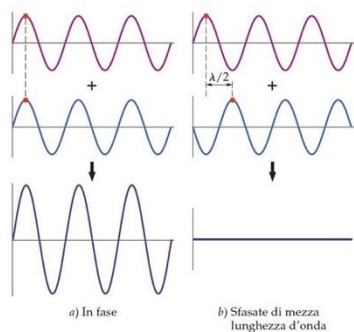
FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA (metri)
20 Hz	17 m
50 Hz	6,8 m
80 Hz	4,3 m
120 Hz	2,8 m
200 Hz	1,7 m
1 000 Hz	0,34 m
20 000 Hz	0,017 m

Principio di sovrapposizione

Quando due suoni vengono riprodotti contemporaneamente da due sorgenti diverse, la forma d'onda che si ottiene sarà la somma punto per punto delle due originali.

Questo può dare origine ad un suono di ampiezza maggiore o viceversa a un suono più attenuato o addirittura in casi estremi a un segnale nullo.

Infatti se consideriamo un segnale sinusoidale :



- Sommando punto per punto due sinusoidi **uguali in fase** si ottiene un'altra *sinusoide di ampiezza doppia*.
- Se invece le stesse due sinusoidi vengono sommate in **controfase** (sfasate di 180°) si ottiene il *silenzio*.

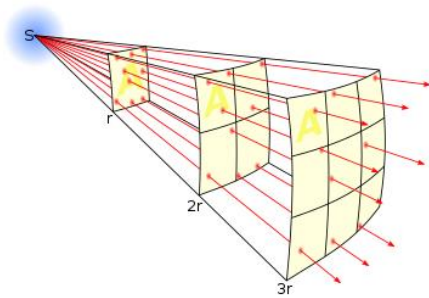
È sulla base di questo principio che vengono studiate le varie configurazioni per ottenere effetti differenti; ad esempio mettendo un diffusore in controfase a un altro si riesce a neutralizzare la pressione sonora generata dietro al palco dove spesso è indesiderata.

3.2 Legge dell'inverso del quadrato

La legge dell'inverso del quadrato è fondamentale per prevedere e studiare come si propaga il suono in un ambiente più o meno grande, poiché definisce come si riduce la pressione sonora all'aumentare della distanza dalla sorgente.

Se consideriamo una generica sorgente puntiforme la potenza del suono per unità di area (intensità sonora) diminuisce proporzionalmente al quadrato del raggio (distanza).

In questo caso le onde sonore si propagano allo stesso modo in tutte le direzioni.



Man mano che le onde si allontanano dalla sorgente, la stessa energia sonora deve attraversare una superficie maggiore che complessivamente forma una sfera il cui raggio è la distanza dalla sorgente. Per questo la superficie aumenta proporzionalmente al quadrato del raggio e di conseguenza la pressione dipende dal suo inverso.

Nelle applicazioni reali essendo che la sorgente non è puntiforme, come abbiamo supposto, le cose si complicano ed è necessario uno studio più approfondito.

3.3 Propagazione delle onde (Beamforming e Gainshading)

Quando la sorgente sonora è una sola, il modo in cui si propagano le onde è costante e definito; quando si utilizzano più sorgenti sonore, invece tende a verificarsi un fenomeno di interferenza tra le sorgenti che i fisici chiamano "interferenza d'onda".

Questo fenomeno comporta una diffusione del suono spesso non omogenea soprattutto con subwoofer di grandi dimensioni come quelli utilizzati negli impianti professionali.

Al variare della posizione dell'ascoltatore lo stesso suono proveniente da due diffusori diversi arriva con fasi differenti proprio a causa del fatto che essi si trovano a distanze diverse. Questo può creare punti di minimo in cui la pressione sonora si riduce drasticamente.

Per ovviare a questo problema e per omogeneizzare la propagazione del suono in presenza di più diffusori che riproducono lo stesso segnale, si utilizzano due tecniche:

Beamforming: consiste nel dare a differenti diffusori valori diversi di ritardo per modellare ("Beamformare") la propagazione dell'onda nello spazio.

Gainshading: si utilizza per lo stesso scopo ma in questo caso si agisce variando solo il guadagno dei vari diffusori.

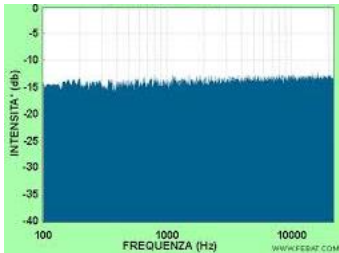
Solitamente le due tecniche vengono combinate e il loro utilizzo è applicabile principalmente negli array di subwoofer.

3.4 Rumore (Bianco, Rosa)

Il rumore, in generale, è un segnale non desiderato e imprevedibile, che sommandosi ad altri segnali, li distorce in maniera più o meno grave. Per questo di solito si cerca di attenuarlo il più possibile.

Tuttavia in alcuni casi esistono particolari tipi di rumore che possono essere utilizzati a nostro favore se generati in modo controllato.

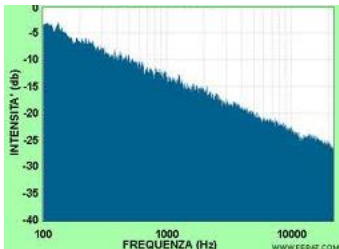
Quelli più utilizzati sono:



Rumore Bianco

Il suo spettro è caratterizzato da una *legge di probabilità uniforme* in quanto nel dominio della frequenza tutte le armoniche hanno la stessa ampiezza.

Esiste solo teoricamente ma se ne può avere un' approssimazione o digitalmente, o osservando fenomeni naturali.



Rumore Rosa

Il suo spettro presenta una relazione inversamente proporzionale tra frequenza e ampiezza. All'aumentare della frequenza l'ampiezza diminuisce di 3dB per ottava.

È spesso generato da fenomeni naturali, infatti a livello acustico ricorda il suono della pioggia.

Viene usato come modello per l'equalizzazione della musica, infatti le **frequenze basse** (*più difficili da udire*) vengono amplificate maggiormente rispetto a quelle **alte**.

3.5 Analisi di Fourier

Poiché la maggior parte delle onde hanno una forma generica difficile da caratterizzare, per evidenziare meglio la differenza tra un suono e un altro abbiamo a disposizione uno strumento matematico molto potente: l'analisi armonica di Fourier.

Essa ci permette di descrivere onde complesse come somma di più onde sinusoidali dette armoniche.

L'insieme delle armoniche costituisce lo spettro del segnale.

Lo spettro può essere: **discreto** se contiene un numero finito di armoniche, o **continuo** dove le armoniche sono infinite.

In natura praticamente tutti i suoni hanno uno spettro continuo e sono segnali aperiodici.

Per conoscere il contenuto armonico di un segnale audio dobbiamo spostarci quindi nel dominio della frequenza, cosa che è possibile fare in generale attraverso le trasformate di Fourier (mentre per i segnali periodici si utilizza la serie di Fourier).

La trasformata di Fourier può essere ottenuta matematicamente in più modi che possono essere più o meno accurati/complessi dal punto di vista computazionale.

Per far sì che un computer possa effettuare numericamente la trasformata è necessaria una discretizzazione del segnale in quanto la risoluzione in bit che può essere utilizzata è finita.

Le trasformate più utilizzate sono due: **FFT**(*Fast Fourier Transform*) e **DCT**(*Discrete Cosine Transform*).

La FFT è un particolare algoritmo che permette di calcolare la trasformata a un costo computazionale notevolmente basso; ha però l'inconveniente di restituire numeri complessi più difficili da trattare.

Per questo si preferisce la DCT che ci darà sempre un'approssimazione della reale trasformata, ma restituendo numeri reali.