

Progettazione, installazione e messa a punto di un sistema audio in un grande spazio all'aperto soggetto a vincoli artistici ed archeologici

Guido Diamanti

Progettista di sistemi audio professionali,
Via Dario Niccodemi, 12, 20900 Monza
guido.diamanti@audio61.eu

Ricevuto: 24/10/2022

Accettato: 20/11/2022

DOI: 10.3280/ria1-2023oa14813

ISSN: 0393-1110

ISSNe: 2385-2615

Rispetto ad un impianto audio installato in un luogo convenzionale, aspetti come il percorso dei cavi, le dimensioni e le posizioni degli altoparlanti sono soggetti a limitazioni che richiedono una particolare attenzione da parte dell'appaltatore, nella definizione del layout dell'impianto e della sua messa a punto. Inoltre, sono presenti tutte le problematiche tipiche legate alla progettazione di un impianto audio in un grande spazio all'aperto principalmente legate alla velocità di propagazione del suono e alla capacità di integrazione dell'orecchio umano. Nel presente articolo è presentata la metodologia di progettazione del sistema.

Parole chiave: public address, diffusione sonora, simulazione elettroacustica, tuning di un sistema audio

Design, installation and tuning issues for audio systems in large outdoor areas with artistic and archaeological constraints

Compared to an audio system installed in a conventional location, aspects such as the cables path, the dimensions and the positions of the loudspeakers are subject to limitations that require special attention from the contractor, in defining the layout of the system and its tuning. Furthermore, there are all the typical problems related to the design of an audio system in a large outdoor space mainly related to the speed of sound and to the integration capacity of the human ear. The system design methodology is presented in this article.

Keywords: public address, sound system, electro-acoustic simulation, sound system tuning

1 | Introduzione

Ad un sistema di diffusione sonora sono richieste prestazioni in funzione della destinazione d'uso relativamente a:

- livello di pressione sonora, in valore assoluto ed uniformità nella distribuzione sull'area di ascolto;
- spettro del segnale da riprodurre con buona fedeltà rispetto allo spettro del segnale sorgente ed uniformità della risposta in frequenza sull'area di ascolto.

Se l'area da sonorizzare è estesa, si aggiunge un altro punto di attenzione:

- istante di arrivo dei segnali sull'area di ascolto: in caso di sorgenti multiple o di riflessioni non debbono essere percepiti fenomeni di arrivo differenziato assimilabili all'eco.

Per "area estesa" possiamo riferirci come ordine di grandezza alla distanza percorsa dal suono in 80-100 ms, cioè possiamo assumere da 1000 m² in su.

Nella fase di progetto, è necessario anche verificare:

- che il sistema sia installabile, cioè che nulla osta al posizionamento ed al collegamento di tutti gli apparati a campo ed in regia;
- che il sistema sia regolabile, ovvero che eventuali operazioni di ottimizzazione del segnale attuate per una parte dell'area di ascolto non comportino evidenti peggioramenti delle prestazioni in altre porzioni dell'area di ascolto stessa.

Se il sito è sottoposto a particolari vincoli artistici o archeologici, oltre alle variabili "standard" che determinano le scelte progettuali, se ne aggiungono altre, che riguardano apparati, accessori e modalità di installazione, sintetizzabili nel modo seguente.

Altoparlanti:

- dimensioni massime (xyz) dell'altoparlante o dell'array di altoparlanti;
- posizioni vietate per il posizionamento (perché troppo in vista o eccessivamente numerose).

Regia:

- posizione rispetto alla rete di altoparlanti, all'eventuale palcoscenico e rispetto all'area di ascolto.

Rete cavi:

- percorso delle vie cavi da altoparlanti a regia e da regia ad eventuale palco.

Le prestazioni acustiche del sistema audio possono essere condizionate in modo importante da queste variabili supplementari.

La destinazione d'uso del sistema potrebbe richiedere prestazioni tali da essere irraggiungibili proprio a causa dei vincoli artistici o archeologici.

In sostanza, a livello di progettazione, non cambia il procedimento di configurazione del sistema ma i vincoli di cui sopra possono influenzare a tal punto le prestazioni da rendere

addirittura impossibile lo svolgimento di determinate attività con prestazioni accettabili.

Per ogni scelta progettuale che soddisfi gli obiettivi in termini di prestazioni acustiche sarà necessario un loop di verifica al fine di controllare se ci si sta avvicinando ad oltrepassare i limiti imposti dai vincoli.

2 | Progettazione

Un progetto per una vasta area soggetta a vincoli artistici/ archeologici dovrebbe iniziare necessariamente con un documento che indichi, tra quelli già citati, quali sono i vincoli assolutamente insormontabili e non negoziabili ad es.:

- dove NON possono essere installati i diffusori, perché ad esempio andrebbero ad avere un impatto evidente nelle vicinanze di statue, capitelli o altro;
- dove NON possono essere installati cavi (di potenza) dagli amplificatori ai diffusori, perché gli eventuali tubi o canaline potrebbero essere visibili in prossimità di camminamenti o di installazioni di opere d'arte.

Ci sono poi dei vincoli forse sormontabili, ma che occorre conoscere preventivamente:

- dove NON possono essere installati cavi (di segnale) da regia/palco agli amplificatori;
- dove NON può essere realizzata la regia;
- qual è la distanza minima tra la regia e gli amplificatori o tra la regia e i diffusori.

In parallelo c'è infine un aspetto fondamentale, a cui già si è accennato e che va considerato alla stregua dei vincoli sopra elencati:

- qual è la (principale) destinazione d'uso del sistema;
 - musica di sottofondo (ambiente);
 - spettacoli suoni/luci/proiezioni con audio mono o stereo;
 - conferenza, prosa (parlato) con palcoscenico o postazione oratore;
 - spettacoli musicali dal vivo con palcoscenico;
 - audio immersivo.

La tabella seguente mostra che i vincoli artistici/archeologici impongono delle scelte che possono risultare decisive per lo svolgimento corretto di alcune attività (* poco importante, *** fondamentale).

Tab. 1 – Importanza dei vincoli in funzione della destinazione d'uso del sistema audio

Importance of the restraints as a function of the intended use of the audio system

Tipologia evento	Dimensione altoparlanti	Lunghezza cavi	Provenienza del suono
Musica di sottofondo	**	*	*
Suoni e luci	***	***	*
Conferenza-prosa	*	*	***
Musica dal vivo	***	***	***
Audio immersivo	***	***	***

Per quanto riguarda la *dimensione dei diffusori*: a parità di tecnologia, le dimensioni dei componenti indicano generalmente la capacità di riprodurre frequenze più basse e, in particolare modo per le frequenze medio-alte, la massima pressione sonora erogabile. Quindi imporre una dimensione massima del componente ha implicazioni sulla banda riprodotta e sul valore assoluto e la distribuzione della pressione sonora.

Questo tipo di problemi si evidenzia soprattutto nelle attività in cui si ha la diffusione di musica, cioè segnali con energia consistente anche al di sotto dei 150 Hz, tanto più quando sono richiesti anche elevati livelli di pressione sonora. Da questo punto di vista saranno penalizzate in modo importante le performance di spettacoli musicali dal vivo. Tuttavia per questi si ricorre assai raramente ad installazioni permanenti, tutto l'equipaggiamento fa parte di un sistema installato solo in occasione dell'evento.

Inoltre, nei concerti di musica dal vivo, si hanno degli standard super-consolidati per ciò che riguarda tipologia e posizione dei diffusori, sintetizzati nella tabella seguente:

Tab. 2 – Tipologia diffusori utilizzata nei concerti dal vivo
Type of loudspeakers used during the live concerts

Tipologia diffusori	Posizione	Note
MF/HF left/right	Ai lati del palco	Obiettivo: copertura uniforme dell'area di ascolto
Subwoofer	Alla base del palco	Quantità congrua rispetto ai diffusori MF/HF
Front-fill	Distribuiti alla base del boccascena	Incremento HF prime file e correzione della sensazione di provenienza del suono
Monitor palco	Sul palcoscenico	Monitoraggio per il singolo artista

Dal momento che questi sistemi sono installati temporaneamente e gli artisti generalmente non possono accettare compromessi per la presenza di vincoli, si farà riferimento d'ora in avanti soltanto ad installazioni permanenti.

Per quanto riguarda la metodologia di progettazione, almeno nella fase iniziale sarà necessario procedere per approssimazioni successive.

Utilizzando un software di simulazione [1], si può schematizzare l'area di ascolto, e valutare la distribuzione della pressione sonora iniziando col posizionare un solo diffusore o un array di diffusori di dimensioni in una posizione "autorizzata". La scelta del componente quindi, oltre a dover soddisfare i requisiti di qualità attesi, dovrà cadere su apparecchiature con un impatto visivo conforme ai vincoli imposti. L'orientamento del diffusore sarà ottimizzato per consentire una distribuzione uniforme della pressione sonora che sia 15 dB superiore al rumore di fondo nell'area più estesa possibile.

In base ai risultati ottenuti, può essere necessario aggiungere uno o più diffusori fino a coprire tutta l'area di ascolto con una pressione sonora adeguata e che non vari

orientativamente di ± 2 dB intorno al valore medio. Possono essere accettate disuniformità superiori al di sotto dei 250 Hz e al di sopra dei 4000 Hz.

Per ottenere una pressione sonora elevata con una risposta in frequenza che abbia il limite inferiore intorno ai 100 Hz può essere necessario utilizzare altoparlanti con particolari caratteristiche costruttive: ad esempio alcune aziende producono casse acustiche in cui il componente per le frequenze medio-basse è “horn-loaded” cioè “caricato a tromba” (termine forse improprio ma utilizzato in modo diffuso sui data-sheets). In questo caso viene sacrificata la profondità della cassa acustica, ma si potranno utilizzare woofer di dimensioni minori dei componenti da 12 o 15 pollici che costituiscono la produzione standard. In questo caso si riesce ad ottenere una elevata efficienza anche verso il limite inferiore della banda riprodotta.

Già da queste prime fasi, occorre sempre tenere nella massima considerazione la destinazione d'uso del sistema. Questo dato è fondamentale perché influenza in cascata tutta una serie di parametri/decisioni che saranno approfondite di seguito:

utilizzo del sistema → larghezza di banda → risposta in frequenza del diffusore → dimensioni del componente LF (woofer) → potenza elettrica necessaria per pilotare il diffusore → lunghezza del cavo di collegamento → sezione del cavo.

Pur essendo ancora nella fase di progettazione della rete di altoparlanti, è importante continuare a monitorare la ripercussione delle scelte relativamente agli altri vincoli:

2.1 | Cavi

Nelle posizioni in cui saranno installati i diffusori, deve essere possibile installare i cavi verso gli amplificatori.

Se il percorso dei cavi è realizzabile con i vincoli imposti, sarà valutata in una fase successiva la lunghezza della tratta, al fine di identificare la quantità e la sezione dei cavi, e l'eventualità di utilizzare trasformatori di impedenza su ogni altoparlante.

2.2 | Echi

Nei punti dell'area di ascolto in cui c'è il contributo di due altoparlanti con differenze di livello inferiori ad almeno 10 dB, l'istante di arrivo del segnale proveniente dall'altoparlante più lontano non deve essere superiore a circa 70 ms rispetto all'istante di arrivo del segnale proveniente dall'altoparlante più vicino.

Inoltre, se a causa della geometria dell'area di ascolto saranno imposti dei ritardi su alcuni segnali per l'allineamento temporale delle sorgenti, sarà necessario verificare che proprio a causa di queste regolazioni non insorgano echi in altri punti dell'area di ascolto. Questo punto sarà approfondito nel capitolo dedicato al tuning.

3 | Installazione

I vincoli relativi alla rete cavi, apparentemente legati solo a problemi di installazione, sono importanti anche in relazione alle prestazioni acustiche del sistema.

Distanza degli amplificatori dagli altoparlanti: maggiore è la distanza (la lunghezza dei cavi), maggiore è la caduta di tensione dovuta alla resistenza del cavo.

Ciò implica che il livello di pressione sonora è inferiore a quello pianificato.

Non è superfluo indicare anche in questa sede anche l'impatto economico: il costo del rame è tale per cui vale la pena di non eccedere nella sezione dei conduttori.

Una possibile opzione per non utilizzare cavi di sezione eccessiva, consiste nel dotare ogni altoparlante di un trasformatore di impedenza.

Supponiamo, per semplicità di calcolo, che il cavo abbia lunghezza e sezione tali da avere una resistenza di 4 Ohm, pari alla metà dell'impedenza nominale dell'altoparlante. Questo valore si ha per un cavo a due conduttori lungo 290 m di sezione 2,5 mm². La tensione disponibile ai capi dell'altoparlante sarebbe 2/3 della tensione disponibile all'uscita dell'amplificatore.

Ma se il trasformatore fa sì che l'impedenza dell'altoparlante vista dal suo primario diventi ad esempio 40 Ohm, la tensione disponibile ai capi dell'altoparlante sarebbe il 92% della tensione disponibile all'uscita dell'amplificatore con una conseguente attenuazione della pressione sonora di fatto impercettibile per l'orecchio umano e trascurabile rispetto al target di SPL pianificato.

Questa scelta si ripercuote sulla scelta dell'amplificatore: le aziende produttrici indicano il tipo di impedenza di carico sulla quale sono nominalmente progettati per funzionare. La terminologia utilizzata per definire amplificatori che possono lavorare su impedenze elevate è varia e spesso fuorviante (“100V”, “tensione costante”...) ma ormai consolidata e recepita.

Tuttavia, anche per la scelta del trasformatore di impedenza bisogna fare un passo indietro, tornando di nuovo alle variabili ed ai vincoli già presi in considerazione. Occorre prestare attenzione alla larghezza di banda desiderata: alle basse frequenze il trasformatore di impedenza tende ad essere un cortocircuito con conseguente surriscaldamento precoce dell'amplificatore. Si manifesta, in termini audio, come un suono stridulo distorto, simile a una bobina mobile disallineata.

Un altro importante aspetto relativo alla installazione è quello di proteggere i componenti dagli agenti atmosferici.

Le procedure che possono attuarsi per la protezione dei diffusori sono le seguenti:

- trattamento dello chassis di legno con vetroresina;
- impiego di acciaio inossidabile per le parti metalliche;
- protezione dei connettori;
- protezione (con pellicola trasparente) dei trasduttori.

Per quanto riguarda l'elettronica (preamplificatori, mixer, processori di segnale, amplificatori di potenza), se temperatura del locale in cui vengono installati i rack degli amplificatori e dei processori dovesse superare i 30 °C potrebbe essere opportuno prevedere degli armadi con sistemi di raf-

freddamento. Le specifiche tecniche dei processori e degli amplificatori danno sempre informazioni chiare sul range di temperatura consentito.

4 | Tuning

Il metodo di messa a punto del sistema non può essere diverso da quello utilizzato per un'area senza vincoli architettonici. Tuttavia, la difficoltà che si può avere nel posizionare i diffusori nelle quantità e nelle posizioni ottimali per le performance acustiche, inducono ad un'attenzione particolare verso uno dei parametri da ottimizzare.

Istante di arrivo

Se il sistema è costituito da più diffusori, in ogni punto dell'area di ascolto dovranno essere eliminati o ridotti al minimo gli effetti dei ritardi di propagazione dovuti alle diverse distanze dell'ascoltatore dai diffusori.

Se un segnale arriva all'orecchio dell'ascoltatore da due sorgenti ad istanti diversi, possono essere percepiti effetti diversi, a seconda dell'ordine di grandezza del ritardo tra il primo arrivo ed il successivo:

- se il ritardo è dell'ordine delle centinaia di millisecondi l'effetto percepito è assimilabile all'eco;
- se il ritardo è dell'ordine di qualche millisecondo l'effetto percepito può essere un'alterazione del senso di provenienza del suono e/o una sensazione di confusione nell'identificazione della posizione della sorgente;
- se il ritardo è dell'ordine di microsecondi, l'effetto, percepito nel dominio della frequenza, può essere un'alterazione della qualità timbrica. Ciò può verificarsi a causa dell'interferenza tra due altoparlanti adiacenti costituenti un cluster.

Le tre problematiche vanno affrontate in modo distinto, ma solo la prima (ritardo > 50 ms) è peculiare per il tipo di ambiente che stiamo considerando.

Il modello mostrato in figura seguente (realizzato con il software EASE – Enhanced Acoustic Simulator for Engineers [1]) si riferisce ad una vasta area generica con un numero relativamente basso di casse acustiche molto distanti tra loro.

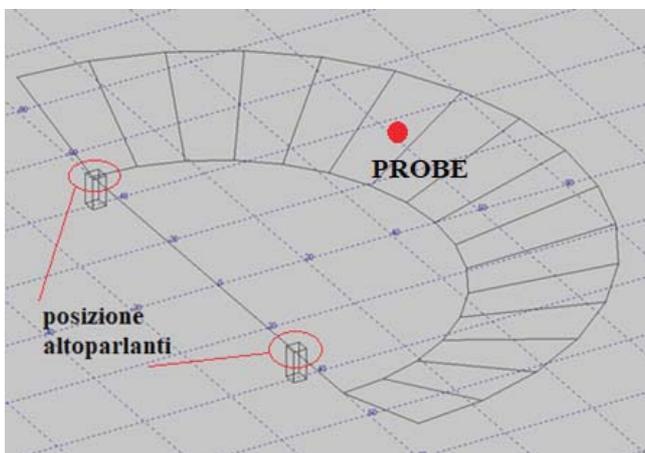


Fig. 1 – Modello 3D realizzato con il software EASE
3D model implemented in the software EASE

È evidenziato anche un punto di misura "PROBE" nell'area di ascolto. In questo punto la differenza dell'istante di arrivo del fronte sonoro dai due altoparlanti è considerevole mentre la differenza di pressione sonora generata in quel punto dai due altoparlanti non è eccessiva

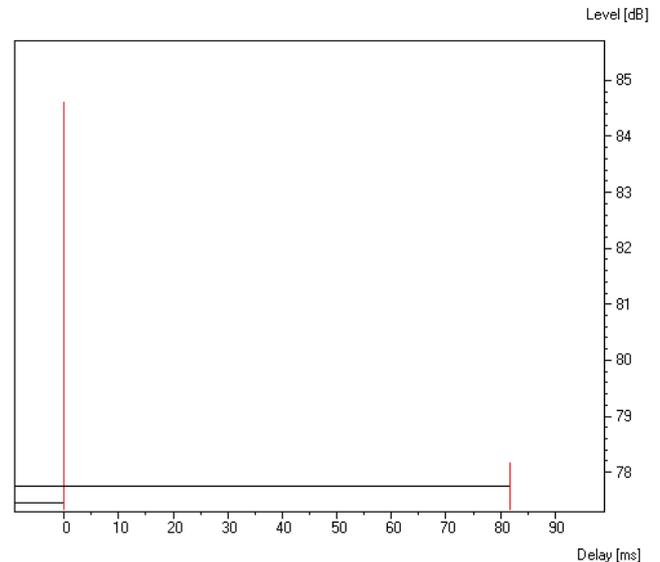


Fig. 2 - Analisi dell'istante di arrivo sul PROBE dei fronti d'onda provenienti dai due altoparlanti: il segnale uscente dall'altoparlante più lontano giunge all'orecchio dell'ascoltatore dopo 82 ms rispetto all'altoparlante più vicino e con un livello di circa 6 dB inferiore

Analysis of the arrival time at the probe of the wavefronts coming from the two loudspeakers: the signal coming from the furthest loudspeaker arrives at the listener's ear with a delay of 82 ms and a level 6 dB lower than the signal arriving from the closer loudspeaker

Il primo accorgimento che potrebbe essere preso in considerazione è di installare un ulteriore altoparlante in mezzo ai due già previsti.

Oppure, in alcune installazioni la differenza di percorso (e di istante di arrivo) viene compensata ritardando con opportuno processore il segnale che arriva per primo, ma nel caso in esame ci sarebbero altri punti nell'area di ascolto che presentano lo stesso tipo di problematica, e addirittura necessiterebbero di regolazioni di segno opposto.

Cosa succede se i vincoli architettonici sono tali da NON poter installare ulteriori diffusori e ci sono delle aree in cui, per architettura o per regolazioni si avverte un'eco?

È possibile ad esempio utilizzare una linea di ritardo ed un mixer, ovvero un processore digitale che abbia queste funzionalità al suo interno.

Si tratta di sommare al segnale (una o più volte a seconda dell'entità del ritardo) la sua replica attenuata e ritardata di un Δt tale da arrivare tra i due fronti d'onda assicurandosi che l'intervallo di silenzio tra i due fronti sia inferiore a quanto percepito come eco.

La nuova situazione è la seguente:

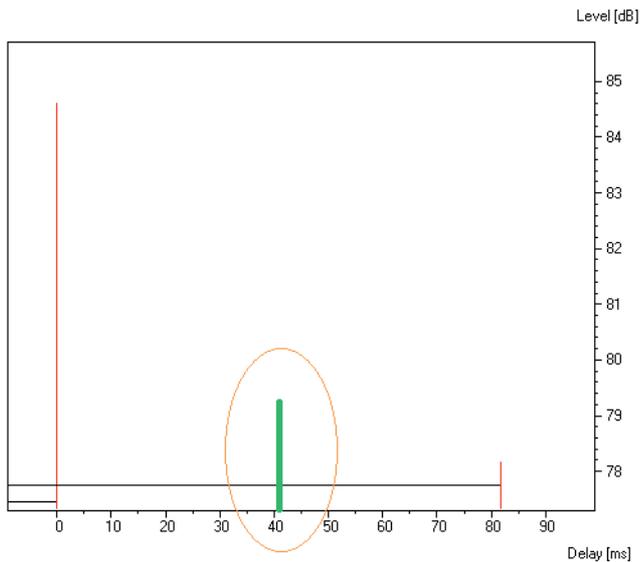


Fig. 3 – L'aggiunta di un ulteriore suono ritardato fa sì che i fronti d'onda che arrivano sul PROBE siano intervallati di circa 40 ms
The addition of a new delayed sound consent to have multiple wavefronts arriving at the probe with time intervals around 40 ms

Il suono percepito sarà un'onda prolungata in modo impercettibile, come un micro-riverbero, senza discontinuità percepibili.

Per realizzare questa funzionalità senza dover ricorrere a componenti discreti si può utilizzare un processore digitale ad "architettura aperta" (Yamaha, Symetrix, Electrovoice ecc.) Nell'area di progetto viene disegnato il flusso che dovrà avere il segnale così elaborato.

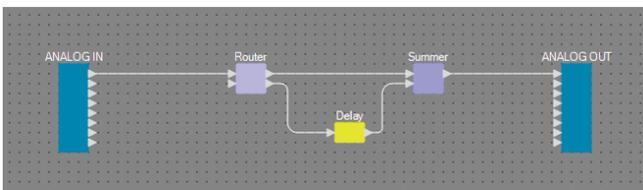


Fig. 4 – Somma di un segnale e della sua replica ritardata programmata su un processore audio Yamaha MTX [2]
Sum of a signal with its delayed copy implemented in a Yamaha MTX [2] audio processor

5 | Conclusioni

Gli attori nella realizzazione di un generico sistema di diffusione sonora, dal committente, al progettista, all'installatore, al fonico, costruiscono insieme una procedura fatta di obiettivi limitati e controllati da vincoli principalmente tecnici.

Quando si opera in un sito particolarmente esteso e soggetto a vincoli artistici/archeologici, sarà necessario inserire dei loop di controllo per ogni scelta che determina un'interferenza con i vincoli.

Conclusions

The actors in the construction of a sound system, from the client, to the designer, to the installer, to the sound engineer, build together a procedure made up of objectives limited and controlled by mainly technical constraints.

When working in a particularly large site subject to artistic/archaeological constraints, it will be necessary to insert control loops for each choice that determines an interference with the constraints.

Bibliografia

- [1] <https://ease.afmg.eu> – software di simulazione elettroacustica
- [2] <https://it.yamaha.com/it/products/proaudio/>-azienda produttrice di prodotti e sistemi audio professionali