

La Mappa Sonora

di Stefano Simonelli

con la collaborazione di M. Coppola, R. Di Mattia, E. Esposti, R. Marinelli, Andrea e Matteo Simonelli

Pianeta Terra – anno 2012

L'articolo descrive la realizzazione della misura del campo sonoro prodotto da una batteria (array) di subwoofers. Lo scopo del test è la comparazione diretta della mappa ottenuta con quella offerta dal simulatore. Le conclusioni sono incoraggianti.

Il metodo di ripresa utilizzato (microfoni e trasmettitori) merita una menzione particolare.



INTRODUZIONE

Da diversi anni ormai, all'ippodromo delle Capannelle di Roma, nel mese di luglio viene organizzato un grande festival rock. La nostra azienda ne cura orgogliosamente l'allestimento tecnico.

L'area, che può ospitare più di 15000 persone, ha forma rettangolare ed è delimitata, ai lati più lunghi, da due gradinate di dimensioni relativamente contenute.

Il sistema di rinforzo sonoro che installiamo abitualmente prevede due clusters da 16 cabinets ognuno sospeso a circa 12m dal suolo, quattro front-fills ed un array di 18 subwoofers cardioidi ai piedi del palcoscenico.

Nelle varie edizioni del festival abbiamo potuto (e spesso dovuto) sperimentare diverse configurazioni e "settaggi" del sistema, in particolare dei sub, ma i tempi stretti dello "show business" ci hanno sistematicamente impedito di realizzare analisi approfondite sugli effetti di tali variazioni. Pur con soddisfazione, ci siamo potuti affidare solo alla simulazione, all'ascolto e a misure approssimative (il minimo sindacale...).

Quest'anno si sono create le condizioni (avendole fortemente volute) per realizzare una vera mappa sonora dell'area d'ascolto. Ci siamo, vorrei dire ovviamente, concentrati in particolare sui subwoofer per due ragioni: la complessità e variabilità del campo sonoro prodotto in funzione della posizione e dei settaggi e le infinite, spesso antitetiche convinzioni dei vari fonici che si avvicinano al mixer, ognuno dei quali li vorrebbe disposti a proprio modo.

Le condizioni cui accennavo prima che hanno consentito questa sessione di misure sono:

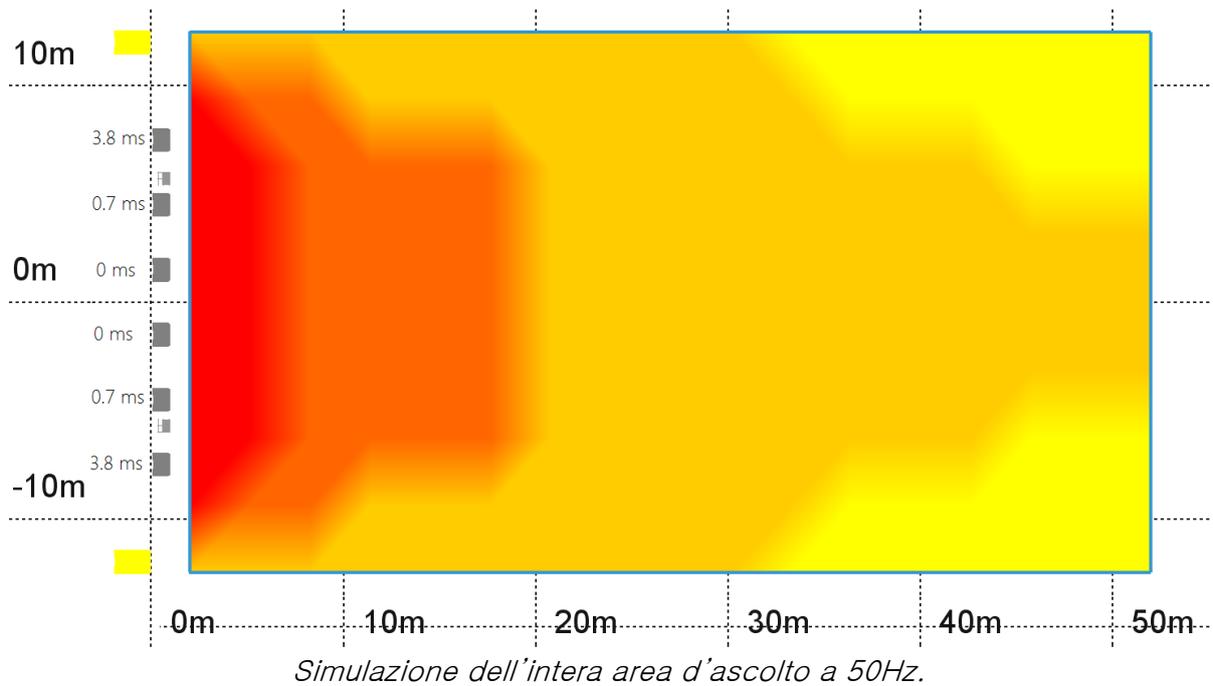
- 1 La nostra sufficiente competenza...
- 2 La disponibilità di un eccellente ed abbordabile sistema di misura multicanale
- 3 Un'area d'ascolto senza troppe riflessioni
- 4 Il libero accesso all'area in un giorno privo di impegni
- 5 Il tempo e la volontà dei tecnici coinvolti a far parte del progetto
- 6 Un numero sufficiente di microfoni da misura

LA SIMULAZIONE

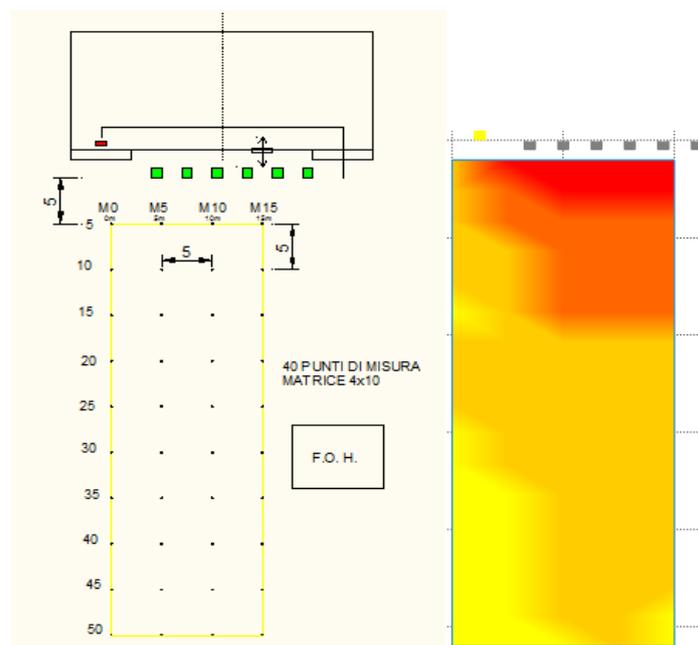
Il simulatore che accompagna i nostri altoparlanti ci offre una mappa a colori dell'area interessata dalla quale si può evincere la grandezza e l'omogeneità della pressione sonora che una determinata configurazione può produrre. La risoluzione di tale mappa può essere di 1, 2 o 5m. Per aree così ampie come quella in oggetto, anche con la risoluzione più bassa si intuiscono chiaramente le tendenze delle nostre scelte progettuali.

La configurazione utilizzata per questa sessione di misure è quella voluta dall'ospite della sera precedente (!). Non è quella che usiamo abitualmente, ma per diverse ragioni, prime fra tutte il tempo limitato ed il peso... dei sub, l'abbiamo utilizzata in questo test.

Quello che segue è l'output grafico del simulatore relativo a questa configurazione con risoluzione di 5m alla frequenza di 50Hz. Accanto ad ogni stack di 3 sub è indicato il ritardo di tempo in ms loro assegnato.



Come detto, l'immagine mostra l'intera area d'ascolto, ma la relativa simmetria dell'ambiente, il numero di microfoni e misure necessarie, ed il fatto che fosse una prima esperienza, ci hanno spinto a campionare solo parte dell'audience. Se estrapoliamo dalla mappa generale la sola area corrispondente a quella di misura, la validità del test rimane inalterata. Nelle immagini che seguono vediamo la zona oggetto della rilevazione, tracciata nel disegno di sinistra. I puntini della griglia sono le posizioni dei microfoni che corrispondono a quelli della simulazione nella figura di destra. Tale mappa è stata realizzata riconfigurando l'area d'ascolto del simulatore lasciando inalterati tutti gli altri parametri, un po' come fosse ritagliata dalla mappa generale vista prima.



La griglia di misura e l'area simulata corrispondente

Ogni punto di ripresa rappresenta un quadrato con lato di 5m, perciò l'area campionata risulta essere 55 x 20m. Quella estratta dalla simulazione è esattamente sovrapponibile. Con riferimento alla griglia prima accennata, prevediamo di registrare 4 misure contemporanee per ogni linea orizzontale. Arretrando di 5m per 10 volte, fino al termine della griglia di 50m, collezioneremo ben 40 curve. Da queste estrapoleremo una mappa sonora direttamente comparabile con quella del simulatore nella sua risoluzione più bassa, 5m appunto.



Il palco e la griglia

IL SISTEMA DI MISURA

Finora abbiamo utilizzato (quasi tutti) sistemi di misura a due canali: ch1= microfono da misura, ch2= segnale di riferimento, ma oggi, grazie alle nuove performances di softwares e PC, è finalmente possibile, quando non assai facile, cimentarsi in misure multicanale simultanee. Possiamo impiegare quanti microfoni vogliamo (o abbiamo...) contemporaneamente, dipende solo dalla capacità di calcolo del computer. Wow! Si accendono mille orizzonti!

Per questa ed altre ragioni, abbiamo cominciato a studiare e costruire microfoni da misura. In questo caso particolare, abbiamo realizzato una versione "speciale" da connettere ai trasmettitori di un notissimo costruttore.

Le specifiche della casa riguardanti il trasmettitore, promettono:

Audio Frequency Response

40 – 18,000 Hz, (+1 dB, –3 dB).

NOTE: Overall system frequency response depends on the microphone element

Gain Adjustment Range

UR1: –20 to +35 dB

UR2: –10 to +20 dB

Modulation

FM (45 kHz max. deviation), compander system with pre- and de-emphasis

RF Power Output

See table above.

Dynamic Range

>105 dB, A-weighted

Specifiche principali del sistema wireless

Questo eccellente sistema, che usiamo tutti i giorni con soddisfazione, è stato posto a confronto con un microfono di riferimento a cavo, confermando le specifiche dichiarate (vedere appendice).

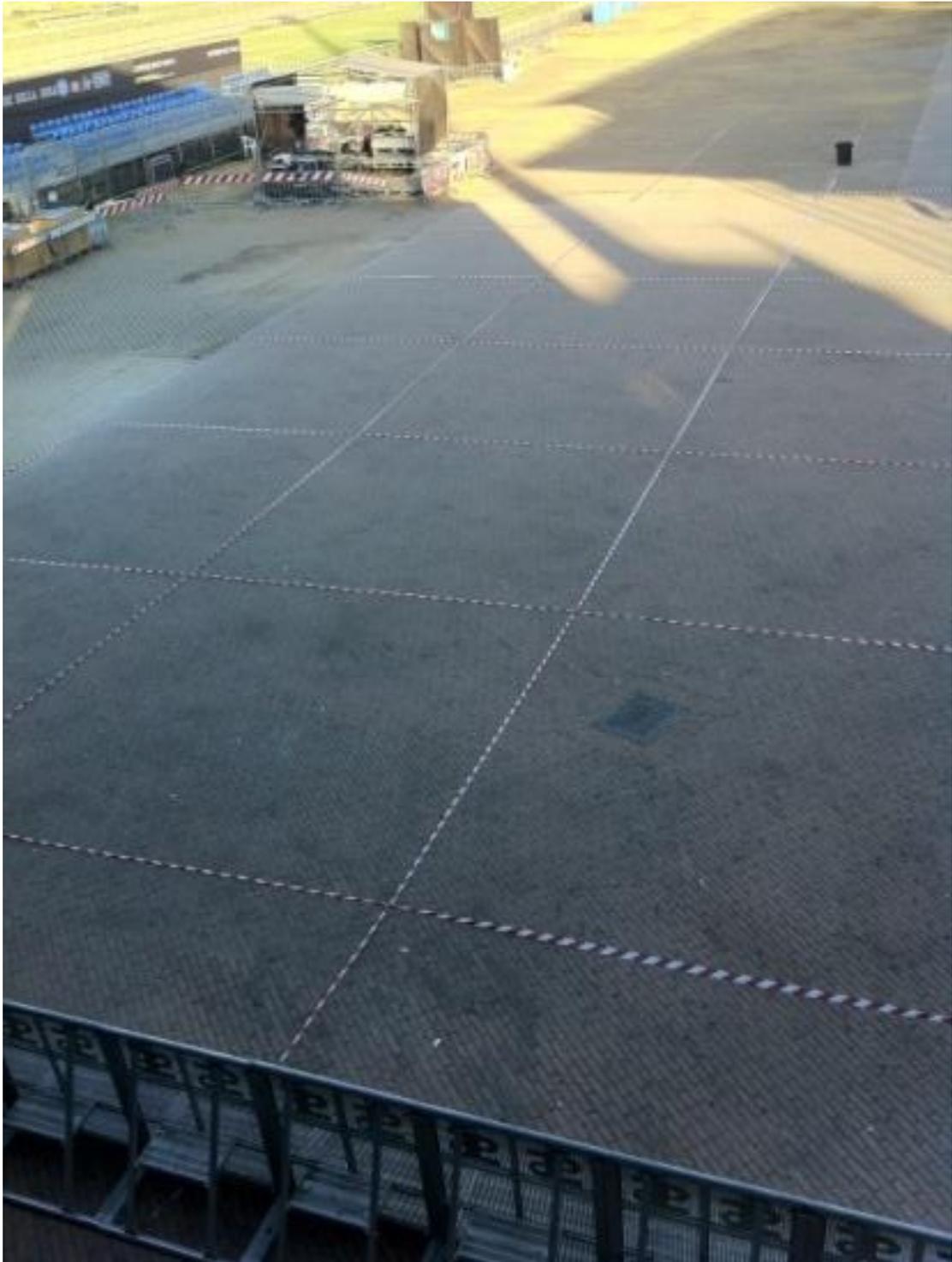
La gamma dinamica interessata dalla misura è molto contenuta, attorno ai 20–25 dB. Regolando opportunamente il guadagno del trasmettitore, lo si può far lavorare in zona lineare limitando fenomeni di compressione, spesso presenti in questo tipo di radiomicrofoni. La tensione di 5volt presente al connettore alimenta agevolmente il fet della capsula a condensatore prepolarizzato che equipaggia il microfono da misura appositamente realizzato. Il taglio alle frequenze molto basse, sotto ai 40Hz, è confermato dalla misura comparativa. Nonostante l'attenuazione di 3 dB a quella frequenza, l'elaborazione dei dati è stata estesa anche a quel terzo d'ottava (senza correzioni) visto lo scopo principalmente didattico dell'operazione.

Queste considerazioni, ed il fatto di dover riprendere solo curve spettrali, senza informazioni di fase, ci hanno spinto ad utilizzare questo sistema convinti di non inficiare irrimediabilmente l'attendibilità della misura.

Comodità, velocità operativa e libertà di movimento vincono immediatamente contro i pochi limiti che tale sistema impone.

IL TEST

Dopo aver disteso il nastro bianco rosso per fissare i punti di misura, realizzando la griglia visibile in foto, (dove sono finiti i laser ad alta luminosità?), e tarato con cura i livelli dei 4 microfoni,



Il reticolo della misura visto da un cluster



Tre radiomicrofoni (quello rosa è femmina), il microfono a cavo preso a riferimento ed un fonometro durante la calibrazione.

abbiamo cominciato a collezionare le 40 curve. Il sistema era eccitato da rumore rosa e le curve sono state rilevate con una media di 2s dopo alcuni istanti di stabilizzazione, con i microfoni poggiati al suolo [1]. La media temporale impiegata, 2s, è certamente troppo breve, un tempo più lungo avrebbe offerto dati più precisi, ma il timore di non riuscire a terminare la sessione nei tempi disponibili e la relativa stabilità delle curve ci hanno convinto a procedere in questo modo.

Tutte le curve sono state registrate su un multitraccia per post processing.

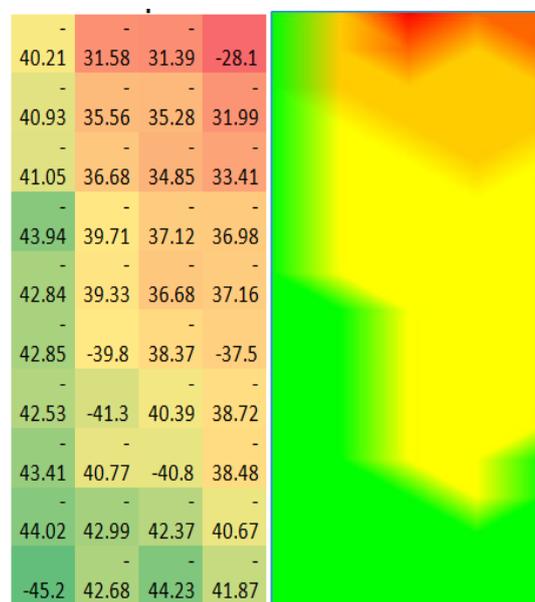
In fondo è una prima esperienza, un'occasione per affinare tecniche e procedure, e l'errore introdotto, in uno studio più qualitativo che quantitativo, è contenuto e quindi relativamente significativo.

Dopo aver effettuato alcune prove "logistiche", ognuno dei presenti ha preso il proprio posto e la misura vera e propria (piuttosto tediosa benché eccitante) ha avuto inizio: due di noi erano seduti ai computers per archiviare le curve su due distinti sistemi di misura ed altri volenterosi spostavano i microfoni ad ogni urlaccio che decretava l'avvenuta memorizzazione dei dati.

L'operazione non ha visto intoppi ed in fondo, è stata relativamente veloce, così, una volta arrivati alla linea dei 50m, nonostante cominciasse ad imbrunire, abbiamo deciso di registrare un altro set di curve, che avevamo previsto ma che temevamo di non riuscire a rilevare. Procedendo al contrario, ovvero tornando verso il palco, ma stavolta ogni 10m, abbiamo archiviato, per ogni punto, la risposta dell'intero sistema di rinforzo, front fills esclusi, secondo la seguente sequenza: *Sub + Left; Sub + Left + Right; Sub + Right; _Right; Right + Left; Left*. Altre 120 curve che speriamo di poter analizzare in futuro... Finalmente... tutti a cena!

ELABORAZIONE DEI DATI

Le curve collezionate sono state esportate in formato testo in un foglio elettronico, qui i dati sono stati selezionati ed ordinati per frequenza e punto di ripresa, realizzando delle matrici 4x10. Assegnando una scala di colori ai valori delle celle e dimensionando quest'ultime opportunamente, otteniamo delle matrici direttamente confrontabili con le mappe del simulatore. L'immagine che segue è il risultato della prima, rozza elaborazione, relativa al terzo di ottava centrato a 40H.

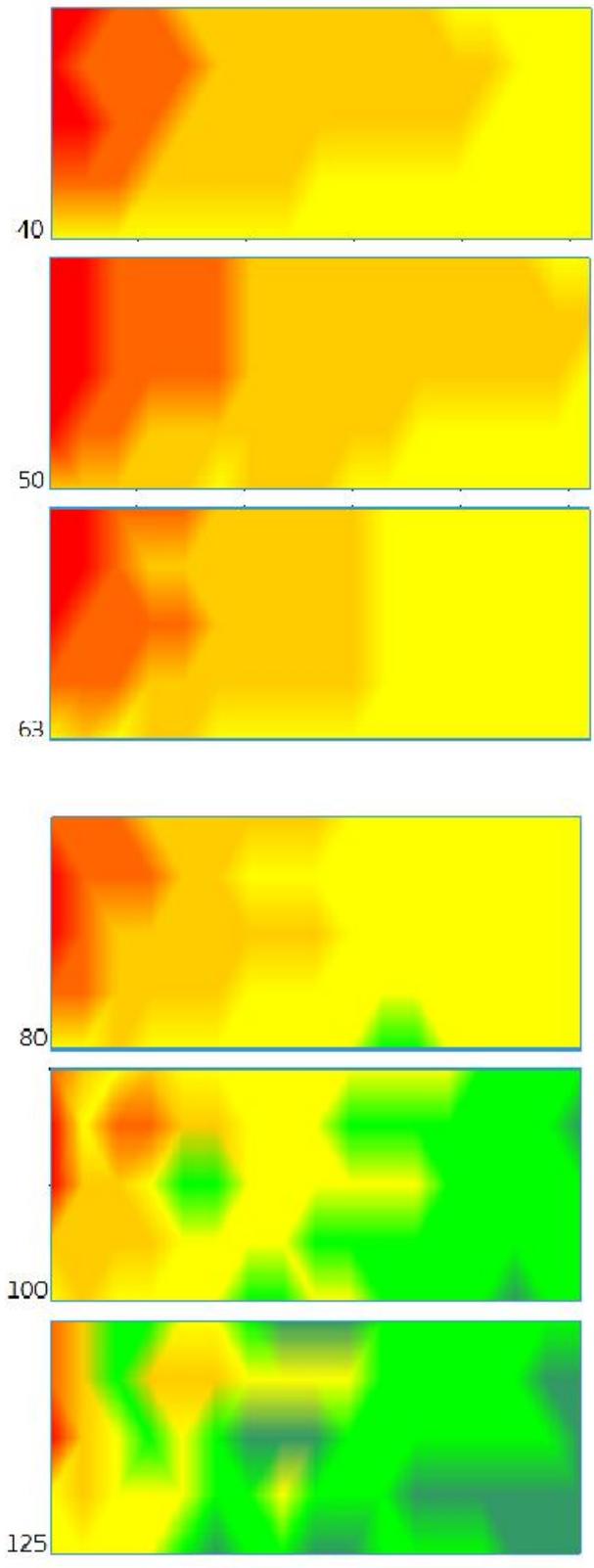


[I numeri indicati nella matrice della misura indicano il livello in dB fondo scala di software/scheda audio. Verranno poi normalizzati secondo la calibrazione realizzata in loco.]

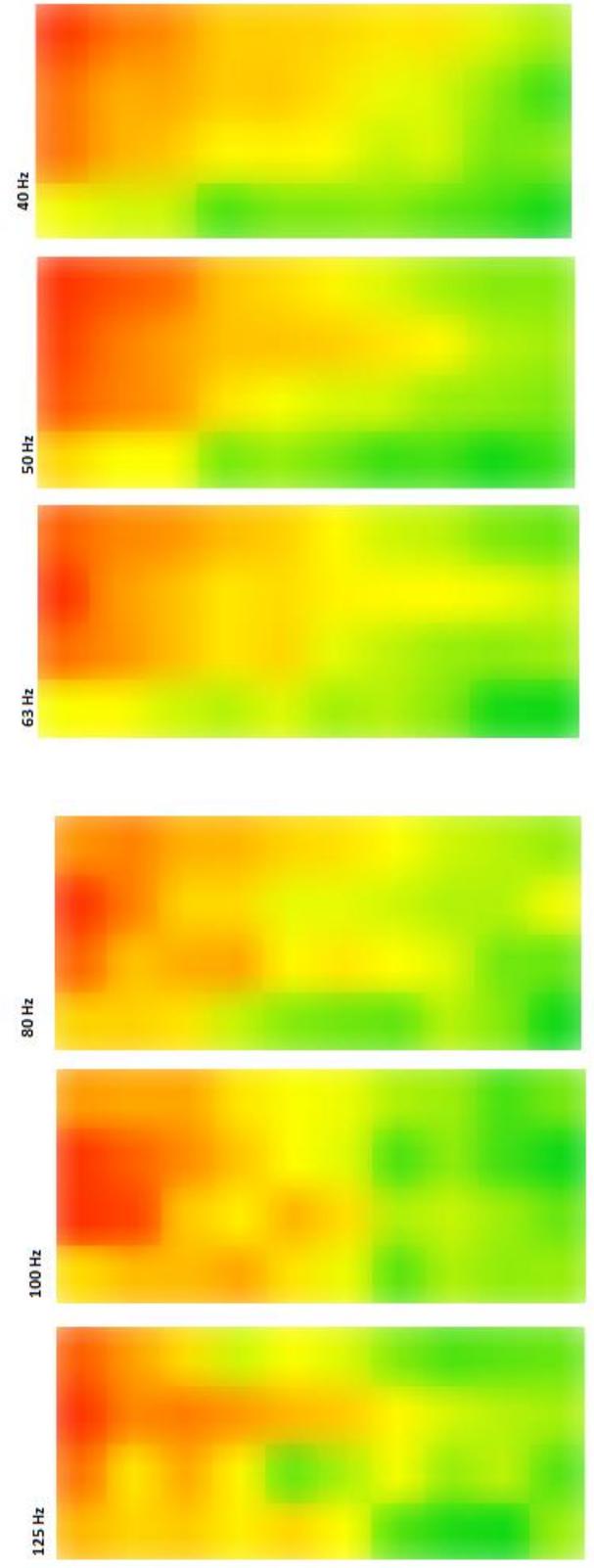
Questo primo confronto, pur grezzo, lascia intravedere una notevole corrispondenza tra i due "output colorati".

Purtroppo i nostri limiti nell'uso del foglio di calcolo non ci consentono di maneggiare a piacere le scale di colori che questi offre, ma selezionandone una più vicina a quella utilizzata dal simulatore e sfumando un po' le mappe misurate (ci sia consentito il vezzo) si è addivenuti alla seguente tabella:

SIMULAZIONE



MISURA



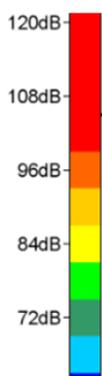
La somiglianza è notevole. Alle frequenze più alte si osserva una maggiore distanza tra la simulazione e la misura. In questa gamma di frequenze il pattern di radiazione perde uniformità e gli effetti delle riflessioni si fanno più significativi. La presenza delle gradinate, che il software non considera, è la prima inquinatrice delle “prove”. In ogni caso si possono ancora apprezzare numerose corrispondenze.

Ma i colori possono ingannare. Indaghiamo meglio ricorrendo ai crudi numeri.

Tabella 1 - SPL massima e minima di misura e simulazione (-28dB). Gamma dinamica interessata e deviazione [dB SPL].
 * La valutazione della spl MIN della simulazione prevede un'approssimazione di +/- 3dB essendo derivata dal codice a colori.

scala colori

simulatore



FRQ	MISURA			SIMULAZIONE			DEVIAZIONE		
	Hz	spl MAX	spl MIN	DIFF.	spl MAX	spl MIN*	DIFF.	spl MAX	spl MIN
40	104.9	87.8	17.1	105.1	84	21.1	-0.2	3.8	-4
50	105.9	89.8	16.1	106.8	84	22.8	-0.9	5.8	-6.7
63	106.5	87.2	19.3	103.6	84	19.6	2.9	3.2	-0.3
80	105.2	86.5	18.7	104.6	78	26.6	0.6	8.5	-7.9
100	97.4	81	16.4	104.4	78	26.4	-7	3	-10
125	98.4	80.6	17.8	99.7	72	27.7	-1.3	8.6	-9.9
media	103.1	85.5	17.6	104.0	80.0	24.0	-1.0	5.5	-6.5

La tabella 1 riunisce i dati di massima e minima pressione della misura e della simulazione per ogni terzo d’ottava di interesse. Il simulatore fornisce solo la massima pressione calcolata, nessun altro valore discreto di pressione. Accettando una certa approssimazione (+/- 3dB) si è estrapolato il valore di pressione minima simulato basandosi solo sulla scala dei colori.

I numeri qui sopra ci dicono che la gamma dinamica (nel senso di massima *varianza* [2] del campo sonoro, o differenza tra SPLmax ed SPLmin), nel caso della misura, è, in media aritmetica, 17.6dB, mentre nel caso della simulazione la media è 24dB. Guardando più attentamente, si osserva un’ottima correlazione tra i dati di massima pressione della misura e della simulazione, eccezion fatta per la banda dei 100Hz.

La causa della forte deviazione nel dato di massima pressione misurato, 97.4dB, può essere imputata ad un errore nella misura e/o all’effetto distruttivo di riflessioni che il simulatore non considera.

Nel confronto tra i livelli di pressione minimi misurati e simulati invece le differenze sono più marcate. I livelli della simulazione sono mediamente 5–6 dB più “pessimisti”, con un massimo di 8 dB a 80 e 125Hz. Anche in questo caso le maggiori differenze si rilevano alle frequenze più elevate, vittime privilegiate di campi sonori accidentati per via delle loro lunghezze d’onda che maggiormente “sentono” le architetture circostanti. Ma l’incertezza maggiore risiede nella valutazione della pressione minima simulata. Come già osservato, nella scala di colori del simulatore, da cui si è derivato il dato di SPLmin, ogni colore rappresenta ben 6dB, per cui il dato soffre di una elevata approssimazione.

Da ultimo, vale la pena di considerare che il simulatore vive in un mondo ideale, libero da ostacoli, un vero spasso!. Ti offre, fino a 160Hz, l’opzione di considerare l’interferenza tra le sorgenti, ma non può che trascurare completamente i fenomeni ben più complessi che il campo sonoro “subisce” nel mondo reale. E poi considera i sub come appena usciti dalla fabbrica, mentre i “nostri” hanno violentemente sollecitato i sensi di milioni di persone...

CONCLUSIONI

L'esperienza è stata entusiasmante e assai formativa. I risultati non hanno certo deluso le nostre aspettative. Questo simulatore, ma la gran parte dei suoi "colleghi", in assenza di riflessioni significative, come le grandi aree all'aperto dove spesso ci capita di installare grandi impianti, è risultato essere molto attendibile. L'infinita complessità del modo reale però va sempre considerata. La verifica strumentale è quindi sempre necessaria ed è indispensabile se si vuole capire l'origine dei fenomeni indesiderati e tentare di porvi rimedio. Le nuove piattaforme di misura multicanale, finalmente ci consentono di visualizzare simultaneamente la risposta rilevata da vari microfoni. Se le circostanze ci permettono di dislocare opportunamente 5 o 6 o n microfoni, possiamo farci immediatamente un'idea del campo sonoro prodotto. Gli effetti di eventuali correzioni possono essere osservati da più posizioni e meglio controllati. Posizionando 5 microfoni sull'asse principale di radiazione di un grande line array a distanze via via doppie dalla precedente (p.e. a 5,10,20,40 e 80m), abbiamo una vista assai dettagliata della performance dell'intero array sull'intera area d'ascolto e ci accertiamo immediatamente che il suono non decada di 6 dB al raddoppio della distanza. Poter osservare più curve "vive" contemporaneamente è tanto utile quanto veloce.

Di altrettanto immediata utilità è l'osservazione della funzione di trasferimento tra un radio microfono ed un microfono di riferimento. In luogo dell'output del mixer, che usiamo convenzionalmente come riferimento, useremo il segnale di un microfono posto in asse al sistema principale in condizione ottimale. Dopo aver effettuato un controllo/taratura con i microfoni il più possibile coincidenti, ed essendoci accertati di osservare una curva piatta (se i microfoni sono uguali...), chiederemo a qualche gentil collega di "passeggiare" per l'area d'ascolto tenendo in mano il radiomicrofono. Ciò che la funzione di trasferimento ci fa vedere è la vera *varianza del campo sonoro*, ovvero l'entità delle differenze tra il campo sonoro in cui è immerso il microfono mobile e quello che investe la nostra orecchia elettronica, il microfono di riferimento piazzato "ai mejo posti". Quello che vediamo è il nostro vero nightmare. Questo confronto tutto acustico merita attenzione. Provare.

Insomma, realizzare misure complesse ed un po' più esaustive del solito è assai appagante e divertente, svincolarsi poi da cavi sporchi e scomodi non ha prezzo. Per tutto il resto c'è ... una nota carta di credito!

RINGRAZIAMENTI

Un super-grazie a Marcello Coppola, Riccardo Di Mattia, Emiliano Esposti, Riccardo Marinelli, Andrea e Matteo Simonelli e alla "gente" di Limelite.

REFERENCES

- [1] Gander – Ground Plane Technique – AES
- [2] Bob McCarty – SoundSystemDesign&Optimization Nota: Bob usa il termine *variance* per indicare le aberrazioni di un campo sonoro che si vorrebbe omogeneo. Mi sembra talmente adeguato che ho voluto usarlo anche nella nostra lingua: *varianza*.

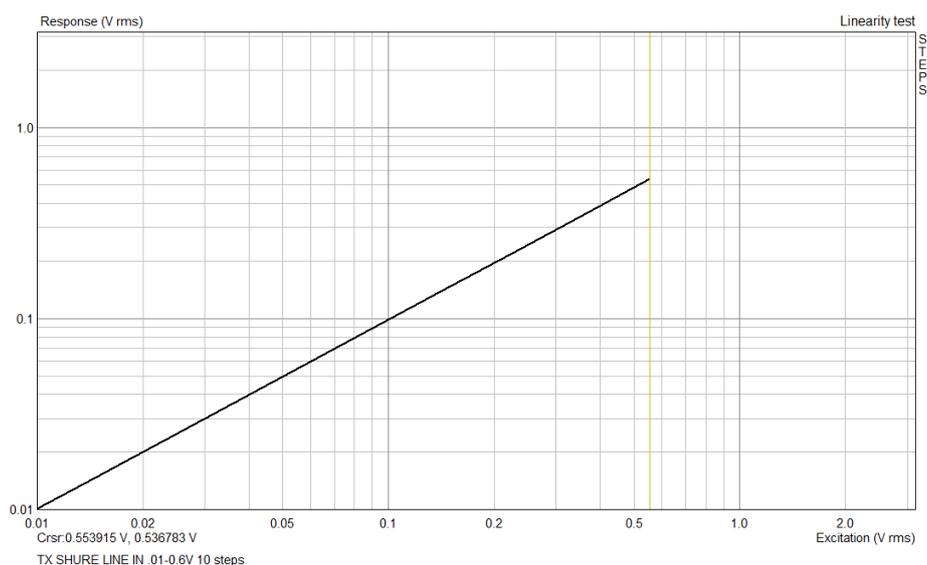
Altri testi indispensabili:

The Handbook for Sound Engineers, Sound System Engineering, Audio System Design & Installation, Acoustics, Loudspeaker Sound Reproduction in Rooms e molti altri...

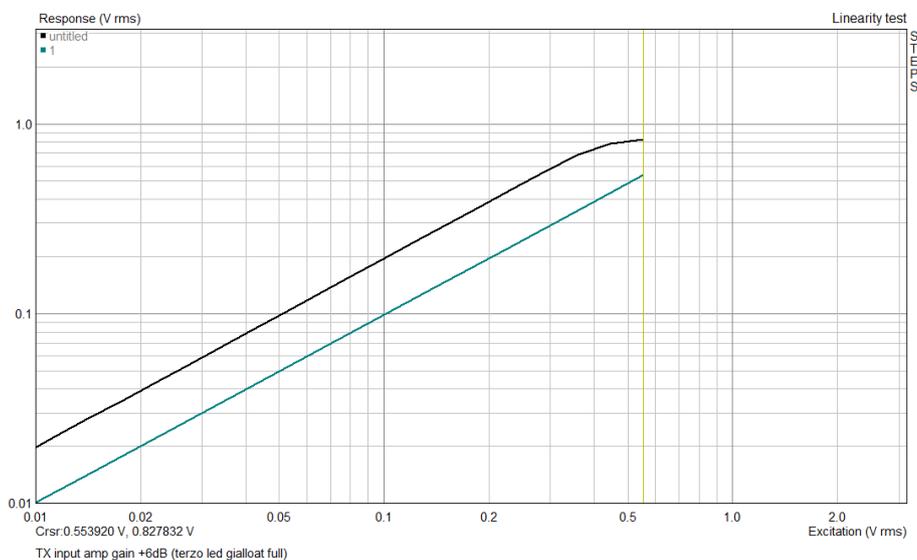
MISURE SUL SISTEMA WIRELESS

In queste righe si riportano alcune misure preliminari effettuate sul sistema wireless. Misure necessarie al fine di stabilire l'opportunità di utilizzare questo sistema di radiotrasmissione nel contesto di interesse.

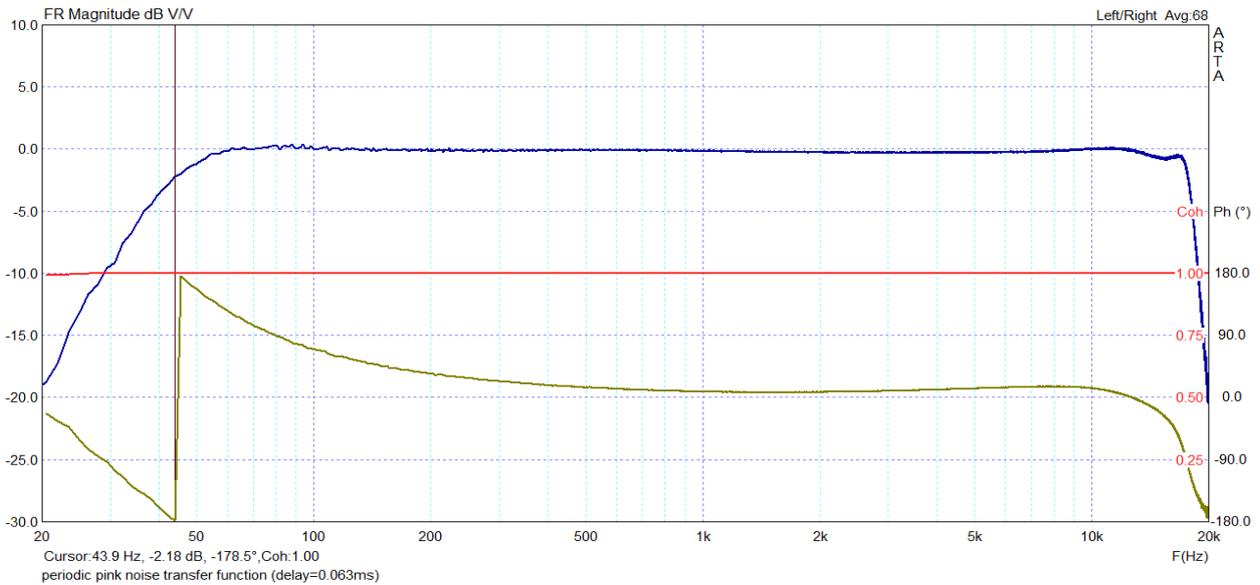
Al trasmettitore, con sensibilità -10dB e guadagno 0dB , è stato connesso un segnale via via crescente (per una escursione di 46dB) in modo da far accendere i led del vu meter tra il primo verde in basso ed il secondo giallo. Il grafico mostra una buona linearità, eccellente per i primi $30\text{--}35\text{dB}$.



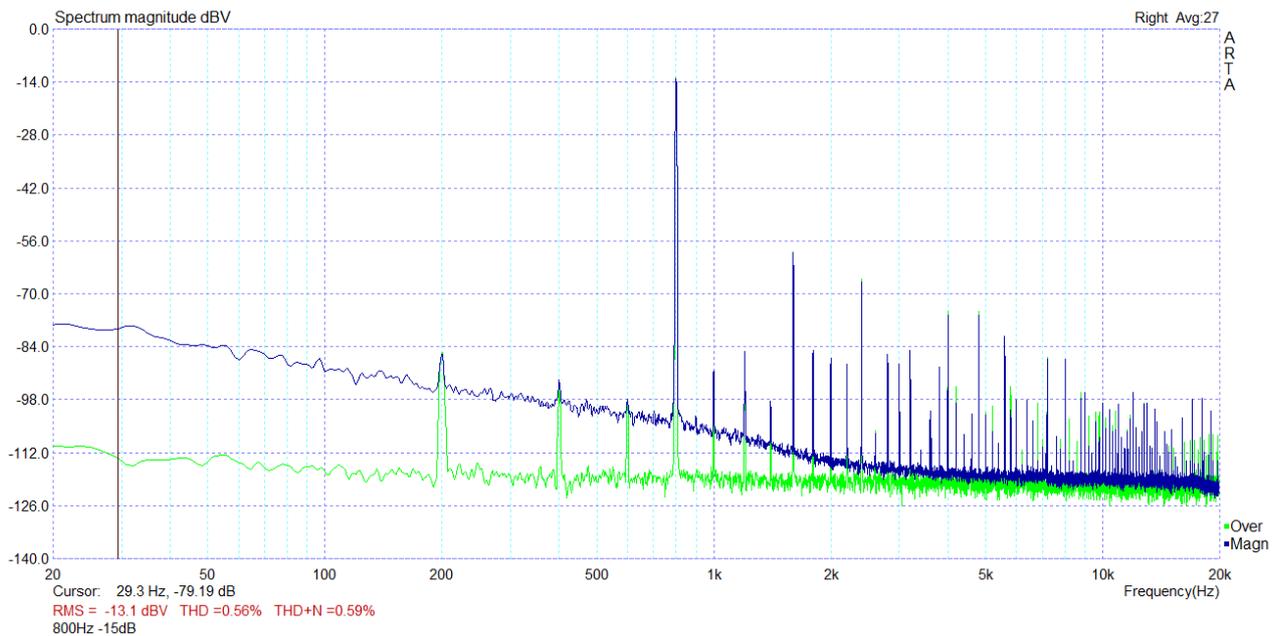
Alzando il gain del tx di 6dB (fino alla completa accensione del terzo led dei quattro gialli, verso il fondo scala) si osservano evidenti fenomeni di compressione e/o saturazione.



Risposta in ampiezza e fase verso frequenza (ultimo led verde prima dei gialli completamente acceso; ritardo del segnale trasmesso=0.063ms)



Frettolosa (tempi stretti!) misura comparativa di distorsione e rumore (verde=loopback; blu=TX; ultimo led verde prima dei gialli completamente acceso)



La risposta in frequenza ci “consiglia” di usare il sistema da 50Hz a 15kHz, distorsione e rumore non sembrano un problema ed i fenomeni di compressione possono essere evitati regolando opportunamente il guadagno del trasmettitore. Insomma, il sistema può essere proficuamente utilizzato entro alcuni limiti affatto gravi.

Evidentemente le limitazioni di cui sopra non sono state ritenute tali da invalidare in alcun modo l’indirizzo principalmente qualitativo/didattico di questa sessione di misura.