

## La prospettiva delle LINEE GUIDA APAT sul contenimento delle emissioni ambientali da impianti audio.

Questa relazione illustra, a grandi linee, il risultato del progetto di ricerca sul *contenimento delle emissioni ambientali da impianti audio*, promosso dall’Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT), culminato nella redazione di 18 “Linee Guida”, per complessive 500 pagine. Il piano dell’opera si articola in 2 Linee Guida introduttive, dedicate rispettivamente alla tecnologia degli impianti audio professionali ed alla dinamica dei segnali audio, ed in 16 Linee Guida monotematiche. I 600 grafici che corredano le Linee Guida sono in massima parte il risultato di rilevamenti fonometrici effettivi, eseguiti su casi reali o su modelli in scala.

Lo scopo delle Linee Guida è quello di favorire la comunicazione tra la particolare figura professionale del “*tecnico competente*” in acustica ambientale, creata dalla Legge Quadro n.447/95, ed il mondo dell’audio professionale; per questo motivo l’ordine degli argomenti non è quello di un manuale di elettroacustica, ma rappresenta il percorso tipico dei *tecnici competenti* che entrano in contatto con l’audio professionale.

La profonda diversità tra queste Linee Guida ed i “manuali” risiede soprattutto nella scelta di un percorso di apprendimento mediante verifica personale, da parte del *tecnico competente*, piuttosto che nell’enunciazione in sequenza di teorie e formulazioni varie.

Per ogni argomento affrontato, infatti, viene presentata l’evidenza raccolta sul campo mediante rilevamenti fonometrici effettivi, eseguiti in gran parte con strumentazione di Classe-1, del tipo normalmente impiegato in acustica ambientale: ogni aspetto teorico proposto viene dunque immediatamente suffragato ed approfondito, nelle implicazioni di ordine superiore che i risultati degli stessi rilevamenti fonometrici fanno via via intuire.

La verifica diretta, personale, è dunque sempre a “portata di fonometro” per ogni tecnico competente, tanto più per quanti hanno accumulato i risultati di osservazioni su impianti audio di ogni genere, disponendo spesso e da tempo degli stessi dati.

Questo particolare percorso di apprendimento risponde soprattutto alla necessità di abbreviare il più possibile i tempi di avvicinamento dei *tecnici competenti* alla complessa cultura dell’audio professionale, della quale è utile sottolineare un aspetto tanto facilmente dato per scontato da chi vi opera, quanto raramente esternato ai profani: il campo dell’audio professionale, specie il comparto delle grandi amplificazioni, è forse quanto di più lontano possa esistere dal normale procedimento seriale che è caratteristico del nostro modo di accedere al sapere; esso è, invece, il regno dell’interazione tra aspetti fisici (e culturali) del tutto paralleli, il cui riconoscimento e la cui trattazione separata sono di per sé assai impegnativi.

Quando studiamo una qualsiasi materia, è normale procedere in sequenza logica, p.es. dalla Storia dei Greci a quella dei Romani, da uno stile letterario o pittorico ai successivi, da un linguaggio di programmazione alle sue applicazioni specifiche. Anche nel più “parallelo” dei campi di studio, cioè il campo di biologia e fisiologia, è inevitabile dover preventivamente sistematizzare, poi approfondire. L’audio professionale può essere “studiato” anch’esso in questo modo, ma è assai raro non imbattersi in grosse difficoltà, lungo questo tipo di percorso.

La 1<sup>a</sup> Linea Guida introduttiva, sugli impianti audio, segue tuttavia questo approccio seriale, tuttavia con l’obiettivo di fare da supporto ad una vasta bibliografia, in gran parte costituita da pubblicazioni dell’*Audio Engineering Society*, facilmente reperibili via Internet, e proprio per questo più adatte a venire incontro alle esigenze dei tecnici competenti che intendano approfondire in particolare alcuna delle problematiche, trattate dai massimi esperti internazionali.

Oltre a descrivere gli apparati, dai preamplificatori ai mixer, dai processori ai finali di potenza, dai diffusori a tromba ai sistemi reflex, in questa Linea guida introduttiva viene sottolineato e discusso ogni aspetto progettuale che comporti implicazioni in campo ambientale. Quale esempio valga l’originale rilettura dei contributi di *Roy Allison*, sull’interazione delle emissioni di basse frequenze

con le prime riflessioni dalle pareti adiacenti i diffusori, quale possibile causa dell'incremento di trasmissione per via solida alle abitazioni, quando determinate bande di frequenze vengono equalizzate, appunto per compensare gli effetti delle interazioni.

La 2<sup>a</sup> Linea Guida introduttiva, sulla dinamica delle incisioni, affronta invece fin dall'inizio gli aspetti "paralleli" dell'audio professionale, proponendo i nove diversi approcci (e relative unità di misura...) con cui una stessa incisione musicale può essere esaminata da altrettante diverse figure professionali, dal fonico di ripresa all'installatore, dal *tecnico competente* in acustica ambientale al perito forense, evidenziando le profonde diversità di approccio. Il problema della comunicazione, oggi quanto mai necessaria, tra queste diverse figure professionali, è però senz'altro risolvibile. Questo richiede la traducibilità reciproca delle diverse unità di misura operative tipiche, il che è apparso praticabile, nel corso dello studio preventivo alla redazione delle Linee Guida.

L'introduzione e la diffusione dell'audio digitale hanno per molti versi costituito la premessa fondamentale per questo collegamento concettuale: l'audio digitale è fatto di numeri, cioè è facilmente analizzabile, anche con metodi statistici, e, soprattutto, introduce una grandezza di riferimento, lo "zero digitale", cioè il massimo livello campionabile e registrabile. Ebbene, analizzando direttamente quanto inciso nei normali CD musicali emerge evidente che questo valore di riferimento compare spessissimo, in pratica nella totalità delle incisioni, specie nelle più recenti.

In campo ambientale esiste tuttavia una grandezza che può essere traducibile direttamente nello "zero digitale": essa è il Livello di Picco Lineare massimo (*LL Pk max*), che è rilevabile utilizzando qualsiasi fonometro di Classe-1 (ed è parte integrante delle certificazioni ex Legge 277/91, che molti *tecnici competenti* effettuano frequentemente).

Nella Linea Guida n.1 si affronta in pratica il problema della corrispondenza tra il livello dello "zero digitale" ed il Livello di Picco Lineare massimo indistorto, inteso cioè come prodotto della potenza di picco degli amplificatori (alla soglia del "clipping"), per il rendimento di conversione dei diffusori, alla distanza di misura.

Ma la grandezza fonometrica d'interesse fondamentale in campo ambientale e forense non è il Livello di Picco Lineare massimo, bensì il Livello Equivalente ponderato "A". Ebbene, lo studio preliminare ha portato alla constatazione dell'esistenza di un preciso rapporto tra queste due grandezze, perlomeno nell'ambito di un ristretto numero di categorie, sia tra le incisioni che per le colonne sonore cinematografiche.

In epoche successive, infatti, le diverse tecnologie di registrazione e trasmissione hanno in pratica codificato il rapporto tra queste due grandezze, in funzione sia dei limiti degli apparati che delle necessità dell'ascolto (p.es. domestico o in auto).

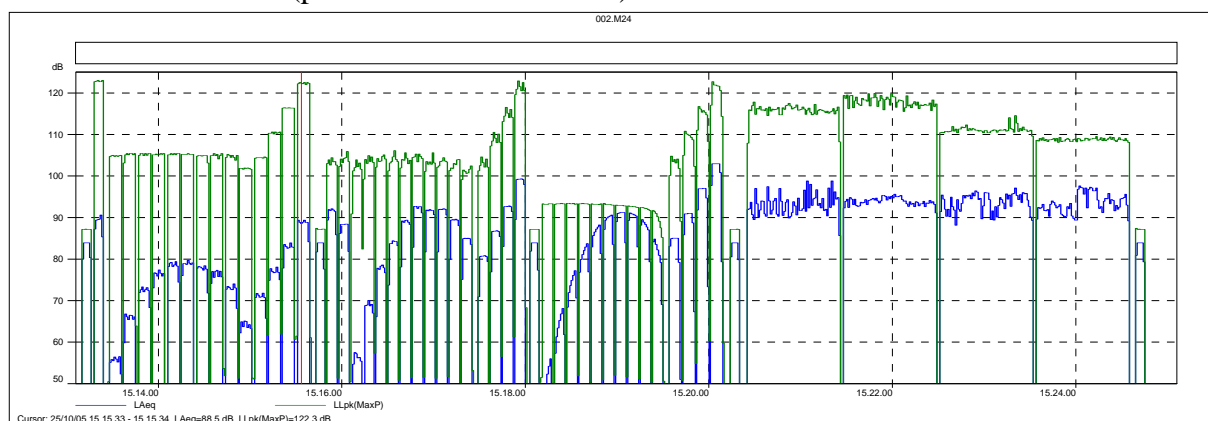


Fig.1

In questa prima Linea Guida è introdotta una specie di "Stele di Rosetta", il cui tracciato fonometrico è visibile in **Fig.1**, cioè un'incisione contenente segnali diagnostici, in parte sintetici, in parte segmenti di brani musicali, tutti scelti in modo di consentire il rilevamento dei più importanti parametri elettroacustici dell'insieme impianto-ambiente, avvalendosi semplicemente di un normale fonometro. Osservando con attenzione il grafico di **Fig.1** si riconoscono due tracciati paralleli, di cui quello superiore è relativo al Livello di Picco Lineare, quello inferiore al Livello Equivalente

ponderato “A”, entrambi campionati ad intervalli di un secondo. Le tre sequenze di segnali sintetici sono costituite, rispettivamente da impulsi (la prima, a sinistra), Rumore Rosa e toni sinusoidali, prima filtrati in bande di un’ottava, poi riprodotti in banda larga, a quattro livelli crescenti, di cui il maggiore scelto in modo di raggiungere lo “zero digitale”.

I quattro segmenti finali sono composti da segmenti presi da normali incisioni musicali, scelte per appartenenza e rappresentatività dei quattro gruppi fondamentali, descritti più avanti (a pag.5): il loro Livello Equivalente è allineato sul valore di riferimento di 94 dB”A” Leq.

Nella Linea Guida n.4, dedicata all’Equazione di Hopkins-Stryker, vengono fornite le basi matematiche necessarie per prevedere le prestazioni di impianti audio, sia all’aperto che al chiuso, in funzione della distanza, della direttività di emissione e delle caratteristiche acustiche dell’ambiente. Una volta compresa questa Equazione, sarà facile programmare un foglio di calcolo che si rivelerà utile anche come una specie di strumento di misura in più, a disposizione del *tecnico competente* per poter estrapolare facilmente i parametri eventualmente non rilevati, partendo da quelli geometrici o energetici.

Il punto merita un’attenzione particolare, poiché in campo audio professionale sono diffuse da tempo un numero di tecniche di misura avanzate (p.es. FFT bicanale, *MLS*, *Time Delay Spectrometry*), che, se da una parte permettono di rilevare con precisione gli arrivi di energia ed il decadimento del campo riverberato, anche in presenza di rumori di fondo di ampiezza cospicua, dall’altra sono d’impiego spesso assai complesso ed aperto a possibili scelte arbitrarie, con conseguenti implicazioni sulla ripetibilità e certificabilità dei risultati.

Diversamente, il foglio di calcolo programmato con l’Equazione di Hopkins-Stryker permette di estrapolare facilmente i due parametri relativi alla direttività di emissione ed al coefficiente di assorbimento medio dell’ambiente, disponendo anche soltanto dei risultati di rilievi energetici eseguiti a tre-quattro diverse distanze in asse rispetto alla sorgente indagata, a confronto con i risultati rilevati alle stesse distanze con una sorgente di prova di direttività nota (p.es. emidirezionale o omni), noti i parametri geometrici dell’ambiente.

**Questo procedimento logico colma una lacuna piuttosto grave e del tutto tipica nelle certificazioni attuali:** ben di rado viene, infatti, individuata e riportata l’entità della variazione dei livelli in sala (ed alle abitazioni potenzialmente disturbate), conseguente alla maggiore o minore presenza di pubblico nel locale.

Per i locali di dimensioni più contenute, nei quali i diffusori sono tipicamente più vicini alle pareti perimetrali che agli ascoltatori, la variazione del *coefficiente medio di fonoassorbimento*, conseguente alla presenza o meno di pubblico in sala, comporta infatti cospicue variazioni nei livelli d’immissione presso le abitazioni confinanti, cioè tra quanto rilevato dal *tecnico competente* (a locale vuoto), e quanto normalmente riscontrabile presso i recettori, nelle effettive condizioni d’esercizio dell’attività.

La Linea Guida n.10 è una specie di *summa* applicativa delle Linee Guida n.1 e n.4: i casi discussi sono quelli di grandi locali al chiuso, in cui è ancora una volta indispensabile valutare il livello energetico relativo del campo riverberato. Per questo tipo di locali, peraltro, si possono verificare sia incrementi che diminuzioni dei livelli d’immissione alle abitazioni vicine, in funzione della presenza di pubblico; si tratta anche dell’unico tipo di locali che possono conseguire sostanziali riduzioni dei livelli d’immissione mediante interventi congiunti di tipo passivo ed attivo, questi ultimi consistenti nell’impiego di impianti audio direttivi. Ancora una volta è suggerita una verifica personale: per quanto riguarda l’efficacia degli interventi attivi, essa è facilmente eseguibile impiegando modelli in scala, per esempio di trombe coniche, come spiegato in dettaglio in questa Linea Guida. L’impiego di trombe coniche, di realizzazione semplice ed economica, è una soluzione proposta per la prima volta proprio in queste Linee Guida, come **una delle possibili soluzioni “attive” al problema del contenimento delle emissioni audio.**

L’impiego di modelli in scala, anche di trombe coniche, ritorna nelle Linee Guida n.3 e n.14, dedicate rispettivamente alle discoteche all’aperto e, per la L.G. n.14, a quelle poste sui litorali. Si tratta, verosimilmente, della parte di quest’opera che contiene gli elementi più originali.

Non solo sono posti a confronto i risultati nella riduzione attiva delle emissioni, conseguiti (e rilevati) su impianti reali, con quelli ottenuti con modelli in scala, ma sono anche discusse le problematiche progettuali ed operative di questo tipo di impianti, ancora rari.

Una volta individuate le potenzialità di queste nuove tecnologie (nella Linea Guida n.3), si procede (nella L.G. n.14), analizzando un contesto specifico, per il quale sono disponibili i risultati di numerosi rilevamenti sia dei livelli d'immissione che di quelli di Rumore Residuo.

Una particolarità di queste due Linee guida è quella di affiancare i risultati dei rilevamenti eseguiti con le più diverse tecniche, dal "campionamento" con i normali fonometri alle *sequenze MLS*, alla *Time Delay Spectrometry*, sottolineando la pressoché perfetta corrispondenza delle risultanze, se si è operato con accortezza.

Il problema della tecnica di misura più adeguata è quanto mai sentito anche quando si va a rilevare il *coefficiente di fonoisolamento* presente tra un locale e le abitazioni vicine, poste nello stesso edificio.

Le Linee Guida n.2 e n.7 affrontano queste problematiche nella particolare ottica di conseguire la massima precisione e ripetibilità nei risultati, che è la condizione necessaria per accertare l'eventuale efficacia dei diversi tipi di intervento di contenimento passivo.

Accade spesso, purtroppo, che il risultato di interventi anche cospicui sia assolutamente nullo, o compreso nei margini d'incertezza dei rilievi: la Linea Guida n.7 documenta più di un caso del genere, ma soprattutto confronta i dati rilevati con quelli riscontrati in altri casi, in cui invece l'impiego di materiali fonoisolanti di tipo e costo del tutto simile ha tuttavia permesso abbattimenti dei livelli d'immissione alle abitazioni anche di **14-20 deciBel**.

Ogni *tecnico competente* che abbia alle spalle un'esperienza diretta in materia potrà trovare facile riscontro nei dati rilevati personalmente, oppure procedere con successive verifiche: in ogni caso, la "tecnica di campionamento" si rivela praticamente indispensabile per conseguire quella immunità dagli *eventi sonori atipici*, cioè dai rumori di fondo, che è la condizione fondamentale per disporre di dati ripetibili e confrontabili a distanza di tempo, cioè prima e dopo gli interventi di insonorizzazione passiva.

Molti *tecnici competenti* sostengono l'efficacia di interventi più limitati, di ricollocazione dell'impianto audio o di compressione dinamica: la Linea Guida n.7 affronta per prima l'argomento (che verrà poi approfondito nelle Linee Guida n.8 e n.11), confrontando i valori d'immissione rilevati, con precisione, al variare di tipo d'impianto e d'incisione: in pratica è possibile ottenere risultati positivi, la cui ampiezza va tuttavia ricondotta nei reali termini, che spesso sono di un ordine di grandezza inferiore rispetto alle necessità del caso.

La Linea Guida n.8 è dedicata ai "limitatori". Invece di tentare una spiegazione diretta delle conseguenze derivanti dalla scelta di ciascuno dei diversi tipi di limitazione e dei diversi parametri di intervento di ciascun tipo di limitatore (il che avrebbe complicato non poco l'auspicata verifica personale), si è optato per l'analisi ed il confronto tra i diversi tipi di incisioni musicali reperibili, che sono state infatti trattate con diversi tipi di "limitatori".

Questo confronto risponde anche al quesito, posto inizialmente, sulla possibilità di **tradurre le grandezze tipicamente impiegate nel campo audio professionale in quelle d'uso comune in campo ambientale e forense**. Spieghiamo meglio.

Abbiamo già individuato la corrispondenza tra il massimo livello campionabile e registrabile digitalmente (lo "zero digitale"), con il Livello di Picco Lineare massimo rilevabile con un comune fonometro. Se si eleva progressivamente il guadagno della catena di riproduzione, si arriverà ad un punto oltre il quale il livello di picco emesso dai diffusori cessa di aumentare, poiché gli amplificatori hanno raggiunto il *clipping*, cioè il massimo livello di tensione erogabile, poco meno della tensione di alimentazione interna.

Si tratta di un limite fisico assai netto, facilmente individuabile e ripetibile, nel tempo.

A parità di livello di picco, la sensazione di "volume" all'ascolto potrà essere assai differente, in funzione del maggiore o minore livello medio della particolare incisione.

Anche il fonometro rileverà valori assai diversi, di Livello Equivalente ponderato "A".

La relazione tra i valori di picco e quelli medi tende però ad essere stabile, in funzione dell'epoca della registrazione e del tipo di "limitatore" con cui è stata trattata.

All'epoca delle prime incisioni, con elettroniche a valvole, la limitazione era intrinseca alla modalità con cui operavano queste circuitazioni, ma la sua presenza era il più delle volte ignorata. L'avvento delle elettroniche a transistor è finito per coincidere con la diffusione delle registrazioni su nastro magnetico, cioè su un mezzo la cui saturazione era ancora graduale, sebbene meno di quella delle elettroniche a valvole. Il problema della dinamica delle incisioni era in qualche modo sentito, ma nella prospettiva di mantenersi bene al di sopra degli elevati livelli di rumore di fondo dei dischi in vinile e delle colonne sonore ottiche.

Questo spiega la continua presenza sul mercato di "limitatori", il cui impiego pratico aveva, ed ha ancora, lo scopo di **elevare il livello medio**, a parità di livello di picco. Molti *tecnici competenti* in acustica ambientale ignorano che la presenza e l'impiego (corretto) di un limitatore costituiscono la vera e propria garanzia del raggiungimento dei massimi livelli d'inquinamento acustico, in proporzione alla potenza degli amplificatori.

Ritornando brevemente alla storia dell'audio, è solo con l'avvento degli apparati digitali di seconda generazione (a 20-24 bit, o con il "perceptual coding") che il problema del rumore di fondo viene relegato ai retaggi del passato. Questo è però anche il momento di massimo sviluppo e di più ampia applicazione delle tecniche di "limitazione".

Una delle caratteristiche dei segnali audio compressi, è infatti quella di essere facilmente riproducibili mediante impianti sottodimensionati, come sono, oggi, quelli tipici degli *Home Theatre* e gli altoparlanti dei PC portatili. Anche in passato, tuttavia, le incisioni con minore dinamica presentavano un vantaggio competitivo, specie nel caso della diffusione radiofonica, o nell'ascolto in auto. Anche i più accaniti *puristi* hi-fi sarebbero sorpresi di constatare quanto facilmente anche il migliore dei loro impianti emetterebbe picchi distorti ed inascoltabili, se solo la dinamica delle incisioni ne rispettasse le reali proporzioni.

Questa è, peraltro, la spiegazione della persistente preferenza per le incisioni su vinile.

Nelle Linee Guida n.1/8/11 sono individuate quattro categorie di incisioni, cui corrispondono altrettanti tipi di "limitazione":

- ▶ Le incisioni anteriori agli anni '80 sono caratterizzate dalla compressione dei picchi introdotta naturalmente, dalle elettroniche a valvole, prima, e dalle registrazioni su nastro magnetico, dopo. La proporzione tra i livelli di Picco Lineare massimo ed i Livelli Equivalenti (con ponderazione "A") è tipicamente dell'ordine di 23-24 deciBel.
- ▶ Le incisioni trattate con limitatori analogici, che hanno costanti di tempo sia in attacco che in rilascio (per non provocare distorsioni), tendono a vedere incrementato il rapporto Picco Lineare – Livello Equivalente fino a circa 26-27 deciBel.
- ▶ Le incisioni trattate con i primi limitatori digitali (anni '90) mostrano livelli di picco perfettamente stabili, talvolta identici per tutta la durata del brano e pari allo "zero digitale": il livello medio di queste incisioni sale di 8-9 deciBel, a parità di livello di picco.
- ▶ Le incisioni digitali elaborate con i software di "massimizzazione" (quasi tutte, dalla metà degli anni '90), raggiungono quasi i livelli estremi di compressione tipici delle trasmissioni radio (in AM): la differenza tra Livello di Picco Lineare e Livello Equivalente ponderato "A" è ora dell'ordine di appena 12 deciBel.

Il fatto che in acustica ambientale si impieghi costantemente la curva di ponderazione "A" rende appena un poco più incerto il quadro sopra delineato: in pratica accade però che lo spettro delle incisioni (e delle colonne sonore digitali) tenda ad essere assai simile, dagli anni '80 in poi, con un rialzo delle 3-4 ottave inferiori, cioè sotto 250 Hz, di 9-10 dB rispetto ad uno spettro lineare fino a 2 KHz e poi calante di 3 dB per ottava.

Dunque la traduzione tra le grandezze fonometriche e quelle elettriche, delle incisioni, è possibile da tempo, grazie soprattutto alla diffusione dei limitatori digitali e dei programmi di

“massimizzazione”. Molti puristi potrebbero obiettare, ma il tipo di limitazione graduale e “preventiva”, che è attuabile sia via software che, dal vivo, mediante limitatori digitali con memorie di “buffer”, comporta assai meno distorsione di quanta ne causerebbero i picchi, se fossero inviati ad amplificatori e diffusori nelle loro reali ampiezze.

La **Linea Guida n.11 propone una soluzione quanto mai semplice, ma efficace, al problema delle immissioni**, che si avvale proprio delle caratteristiche dinamiche stabili, specie delle incisioni più recenti, per risolvere il problema dell’incremento dei livelli d’immissione che proprio queste nuove incisioni hanno accresciuto, negli anni.

Se infatti si tiene conto del minore rapporto tra picchi e valori medi, che è tipico delle recenti incisioni, diviene facilmente possibile dimensionare gli impianti audio in modo che le potenze di amplificazione siano quelle strettamente necessarie per riprodurre senza distorsione lo “*zero digitale*”, quando il livello medio d’ascolto è quello più alto compatibile con i limiti d’immissione. Livelli superiori allo “*zero digitale*” sono impossibili, per i convertitori, e dunque la garanzia dell’assenza di distorsione da *clipping* è assoluta, in questi termini.

Va prevista, comunque, la possibilità che vengano occasionalmente programmate incisioni più “antiche”, cioè con una dinamica superiore: già nella Linea Guida n.8 è stato dimostrato che la semplice inserzione di un limitatore digitale (con memoria di “*buffer*”) consente di ricondurre le vecchie incisioni entro i valori tipici delle attuali, senza alcuna udibile distorsione. Diversa e maggiore sarebbe la compromissione della qualità d’ascolto causata dall’impiego di uno dei cosiddetti “*limitatori non disinseribili*”, cioè a costanti di tempo lente. Questi, infatti, oltre ad incrementare il livello di rumore di fondo di qualche decina di deciBel, cioè in misura certamente udibile, interferiscono anche con il normale fraseggio musicale, creando i noti e fastidiosi effetti che ne hanno decretato l’insuccesso.

**Il ridimensionamento delle potenze di amplificazione risolve anche un increscioso problema per i tecnici competenti**, che è quello di poter finalmente certificare secondo il D.P.C.M. n.215 del 16/04/99, o di poter pienamente sottoscrivere le Valutazioni d’Impatto Acustico, come richiesto dalla Legge 447/95 e dalle Leggi Regionali applicative di questa. Attualmente vengono infatti definiti “*non manomissibili*” dei limitatori che tali sono soltanto nell’immaginario dei *tecnici competenti* meno esperti di audio professionale. Qualsiasi tecnico audio, fonico o DJ, sa infatti che è semplicissimo scollegare qualsiasi “limitatore” e sostituirlo in pochi secondi con un semplice cavetto. Con un minimo di competenza elettroacustica, è poi sempre possibile cablare un impianto in modo che il “limitatore” entri in azione o scompaia dal percorso del segnale anche senza porre mano ad alcun connettore (p.es. utilizzando un semplice sommatore passivo, con due resistenze, che utilizzi un’uscita ausiliaria del mixer...).

La Linea Guida n.11, sottolineando il rapporto esistente tra il dimensionamento degli amplificatori ed il livello operativo tipico della maggior parte degli impianti audio professionali, propone al *tecnico competente* un percorso di verifica personale, che consiste nell’affiancare due catene di riproduzione che rappresentino le tecnologie odierne e quelle di venti anni addietro, ascoltando, a confronto, ciascun impianto con un’incisione musicale caratterizzata da un rapporto tra il valore medio ed i valori nei picchi in linea con le consuetudini dell’epoca.

L’impianto “attuale” sarà tipicamente composto da un ampli in classe “D”, alimentato a commutazione, con almeno un migliaio di watt per canale, da dissipare su trasduttori rigidissimi e lineari, come sono ormai tutti quelli professionali di un certo livello, pur essendo efficientissimi. L’impianto “d’epoca” avrà un ampli da 200-250 Watt RMS per canale, con coni leggeri e drivers dalla risposta assai calante alle alte frequenze, quindi pesantemente equalizzati. La prima prova d’ascolto sarà utile effettuarla con l’impianto e l’incisione “d’epoca”: quest’ultima conterrà picchi di livello pari anche a 26 dB (cioè 400 volte) al di sopra del livello medio. Per riprodurre indistorti questi picchi (ammesso, e non concesso, che i trasduttori siano lineari), occorrerà regolare il controllo di livello in modo che l’ampli operi ad un livello medio pari appunto ad 1/400° della sua potenza di picco, cioè ad un livello medio di circa 1 watt RMS per ogni canale.

La seconda prova sarà preceduta da un corrispondente allineamento tra il livello di picco

dell'incisione e quello emesso dall'ampli prima del "*clipping*": ipotizziamo un ampli da 1000 watt per canale (RMS, ad 8 ohm), cioè 2 KWatt di picco. L'incisione "recente" avrà un livello medio appena 12 deciBel (16 volte circa) inferiore al livello di picco, per cui il nostro amplificatore potrà essere operato ad una potenza media di 125 Watt RMS per canale. E' fin troppo evidente che, a parità di configurazione di diffusori, cioè di rendimento e direttività, abbiamo oggi a disposizione una potenza d'emissione tipicamente **125 volte più elevata**, peraltro con registrazioni ed elettroniche più silenziose, in proporzione ed oltre. Questo spiega la frequenza delle proteste da parte della popolazione interessata alle immissioni, sebbene provenienti da locali o manifestazioni che nel recente passato sono state in attività, senza produrre, allora, gli stessi livelli di disturbo.

La Linea Guida n.5 parte dall'esame dei livelli d'immissione provocati dagli impianti audio di discoteche e manifestazioni estive all'aperto, per arrivare ad una duplice ed originale constatazione: **i livelli d'immissione sono facilmente prevedibili**, come pure lo è l'impiego a "fondo corsa", cioè fino al *clipping*, delle potenze di amplificazione disponibili. La seconda occorrenza costituisce, in effetti, la causa prima della facile prevedibilità dei livelli d'immissione causati dagli impianti audio.

A queste conclusioni può facilmente pervenire ogni tecnico competente che intraprenda un semplice percorso logico e di esperienza personale, mostrato nella Linea Guida n.5.

Si tratta di rilevare, con due fonometri sincronizzati, i livelli sia in pista da ballo, ad una distanza nota dai diffusori, sia alle abitazioni, ancora ad una distanza nota. Il rapporto tra queste due distanze fornirà l'indicazione dell'attenuazione causata dalla divergenza dei fronti d'onda (nel caso, comune, di sorgenti puntiformi o comunque piccole rispetto alle lunghezze d'onda emesse). Sottratta l'attenuazione per divergenza, residuerà un ridotto numero di fattori di "attenuazione in eccesso", che dipendono dall'orientamento reciproco di diffusori e finestre, oppure dal fatto di rilevare all'interno dell'abitazione, ad un metro dalla finestra aperta (come è stabilito dal D.M. 16/03/98): ancora una volta i due fonometri sincronizzati, posti p.es. uno all'esterno ed uno all'interno, permetteranno di individuare la misura tipica di ciascuno di questi fattori di attenuazione.

A questo punto è sufficiente rammentare che esiste una proporzione caratteristica, e relativamente stabile, tra i livelli di Picco Lineare e quelli di Livello Equivalente, e che i massimi livelli di picco che un determinato impianto può emettere sono quelli corrispondenti al prodotto della potenza al *clipping* degli amplificatori per il rendimento dei diffusori, alla distanza cui si rileva. Un normale fonometro permette di rilevare ed analizzare questa proporzione, con grande facilità e ripetibilità.

Il passo successivo è breve: se i livelli di Picco Lineare massimo rilevati in pista (o alle abitazioni) corrispondono con quanto prevedibile a partire dai valori di efficienza dei diffusori ed in funzione delle potenze (di picco) di amplificazione, allora l'affermazione che allo "*zero digitale*" (o poco meno) corrisponda appunto questo livello di Picco Lineare è facilmente verificata. L'esperienza pratica conferma, sia per piccole manifestazioni, che per quelle con decine di piste da ballo e centinaia di diffusori professionali.

A queste conclusioni si sarebbe tuttavia potuti giungere anche seguendo un altro percorso, che ha qualcosa in più a che fare con la psicoacustica.

Sappiamo tutti che la sensazione del livello sonoro è qualcosa di assai diverso dal semplice valore energetico letto dal fonometro: ogni appassionato di musica classica sa che è possibile godersi un "pieno orchestrale" anche ascoltando l'audio monofonico di un televisore con 1-2 Watt di amplificazione ed un cono ellittico da 10-13 cm.

La codifica della sensazione è infatti contenuta già nel suono degli strumenti, di cui la pratica totalità emette uno spettro che è assai più ricco di armoniche quando si suona ai livelli più alti, rispetto allo spettro emesso nei *piano* e *pianissimo*. Questa codifica è talmente parte integrante delle nostre abitudini d'ascolto da essere del tutto scontata, come lo è salire e scendere le scale o stare in equilibrio su una bicicletta. Ne sono invece ben consci i fonici di Studio, che al momento di missare e masterizzare un brano musicale sono ben attenti ad introdurre una quota minima di saturazioni, bilanciando timbricamente le incisioni in modo che esse suonino al meglio quando sono riprodotte al limite dell'entrata in distorsione degli impianti audio, presso gli ascoltatori. Bastano pochi deciBel di guadagno in meno per conferire al suono una personalità dimessa, quale che sia il tipo di

impianto che lo va a riprodurre.

La Linea Guida n.9 raccoglie un'evidenza di proporzioni inconsuete, in favore di questa originale ipotesi predittiva. Nelle due parti in cui è divisa, questa Linea Guida esamina la copiosa documentazione fonometrica rilevata per circa **70 intere notti**, a passi di un secondo, presso le abitazioni soggette alle immissioni di una grande manifestazione estiva, con numerose ed ampie piste da ballo all'aperto, mentre d'inverno l'attività si trasferisce al coperto di una tensostruttura circense, utilizzando lo stesso impianto audio.

Non solo i livelli d'immissione sono stabili e sempre direttamente proporzionati alle potenze installate (note, per via degli elenchi contenuti nelle Valutazioni d'Impatto Acustico), ma, soprattutto, è **possibile individuare, dall'andamento dei tracciati, il precoce abbandono dell'area da parte del pubblico, ogni qualvolta si tenti di contenere i livelli d'ascolto nell'area**, scendendo al di sotto dei livelli sonori corrispondenti al *clipping* degli amplificatori. Interessante la constatazione del fatto che il dissenso del pubblico e l'abbandono dell'area si verificano a livelli più alti, nelle edizioni degli anni successivi, in proporzione con le maggiori potenze installate. Per il caso della manifestazione al coperto, peraltro, esiste la registrazione con le acclamazioni del pubblico che richiede "più *volume*" al fonico, ottenendo quei 10 dB in più, che sono evidentemente ritenuti assolutamente indispensabili.

In realtà, **il nucleo primario della Linea Guida n.9 verte intorno alla possibilità di applicare all'audio professionale le formule previsionali indicate nello Standard Internazionale ISO-9613-2**, che suggerisce il calcolo per ottave, tenendo conto dell'attenuazione per divergenza e di un numero di fattori di "*attenuazione in eccesso*" ben individuati e quantificabili.

La difficoltà maggiore è evidentemente connessa con l'individuazione dei primi due termini dell'equazione previsionale, cioè quelli relativi alla *potenza acustica* emessa ed alla *direttività* di emissione, nella direzione dei recettori.

Contrariamente a quello che potrebbero dedurre molti installatori, gli impianti audio sono tutt'altro che semplici da specificare, in termini di *potenza acustica* e di *direttività* (verso direzioni arbitrarie), tant'è che l'applicazione letterale della ISO-9613-2 è estremamente complessa e, soprattutto, esposta alla possibilità di grossolani errori. Un esempio spiega.

A parità di livello sonoro in pista da ballo, i due altoparlanti di uno stesso diffusore che riproducono le basse e le alte frequenze emetteranno, di regola, potenze acustiche di un ordine di grandezza differenti: la direttività di emissione delle trombe per le alte frequenze permetterà infatti gli stessi livelli di picco con potenze minime, le sole peraltro sopportabili dai delicati trasduttori che emettono queste frequenze. Alle basse frequenze, disperse omnidirezionalmente dalla pratica totalità dei diffusori professionali, il livello sonoro sarà proporzionato alla potenza emessa, inversamente rispetto alla distanza dai recettori.

A semplificare questo quadro, ed a rendere possibile una previsione precisa ed affidabile, intervengono due fattori assai comuni:

- ▶ Le piste da ballo estive sono, pressoché di regola, sonorizzate con diffusori collocati lungo il perimetro, sospesi ed orientati in tutte le direzioni.
- ▶ Sia il pubblico in pista che le abitazioni circostanti sono compresi entro un angolo verticale relativamente ridotto; le emissioni verso l'alto sono disperse e quelle verso il basso sono intercettate dal terreno (che, se sgombro, genera un'immagine speculare).

La concomitanza di questi due fattori produce un'emissione complessiva che può essere tranquillamente definita omnidirezionale (orizzontalmente), ed il cui livello di potenza acustica può essere facilmente dedotto sulla base delle specifiche dei diffusori, o, al limite, rilevando anche a distanze relativamente contenute, purché non in campo ravvicinato. Siamo dunque pervenuti allo stesso percorso previsionale formulato e verificato nella Linea Guida n.5.

Per la cronaca, la connessione tra le specifiche dei diffusori professionali e le grandezze di base per le previsioni secondo l'ISO-9613-2 era già evidenziata in Appendice, nella Linea Guida n.4, sebbene lì senza il supporto dei rilevamenti fonometrici a conferma.



La Linea Guida n.9 contiene anche il risultato di un originale esperimento su un modello in scala di una **tensostruttura**, dal quale è possibile dedurre che l'ordine di grandezza della potenziale schermatura, introdotta dalla presenza del telone di copertura, può rivelarsi assai prossimo al valore dell'incremento del livello del campo riverberato che dall'interno vi incide, con ciò provocando quasi gli stessi livelli d'immissione, alle abitazioni, rilevabili quando si opera con lo stesso impianto, ma all'aperto...

La Linea Guida n.12 è interamente dedicata agli impianti audio da concerto, uno dei comparti più avanzati dell'audio professionale. Un'introduzione storico-tecnica evidenzia il percorso evolutivo (in senso lato) che ha portato dai sistemi a tromba degli anni '70 ai "compatti" degli anni '80, ai sistemi "Line Array" degli anni '90, fino ad oggi: la prospettiva è sempre quella di individuare gli aspetti eventualmente critici in campo ambientale.

I grandi impianti da concerto sono quasi sempre operati in deroga ad ogni limite d'immissione acustica, alla condizione che si tratti di eventi temporanei, episodici. Tuttavia, alcune Leggi Regionali (tra cui quella del Lazio, del 3/08/01, n.18) subordinano la concessione delle deroghe alla presentazione di una documentazione tecnica, redatta da un *tecnico competente*, iscritto all'Elenco Regionale, nella quale siano indicate le precauzioni poste in essere per contenere al minimo i livelli d'immissione verso l'abitato.

Ebbene, il *tecnico competente* esperto, che abbia approfondito la materia, non potrà mancare di rilevare che la scelta della configurazione "Line Array" è proprio quella in grado di assicurare il massimo livello d'inquinamento acustico in corrispondenza delle abitazioni, a parità di livello per gli spettatori del concerto. Ovvio conseguenza sarebbe la prescrizione (da parte dell'ARPA, quantomeno) di impiegare altro tipo di impianto audio, pena la mancata concessione del permesso in deroga.

Vi sono peraltro molti altri aspetti progettuali e tecnici controversi, caratteristici degli impianti "Line Array", ma anche, in gran parte, dei precedenti impianti "compatti". E' quanto mai interessante osservare che le riserve più puntuali e meglio documentate, a carico dei "Line Array", sono pubblicate sulle pagine del *Journal of Audio Engineering Society* (o nei "Preprint" delle *Convention AES*) ed hanno spesso per autori i massimi esperti internazionali, talvolta gli stessi progettisti delle aziende di punta nel settore.

Nella Linea Guida n.12 sono citati, letteralmente, molti di questi pareri: alcuni individuano bene il meccanismo di cancellazione reciproca tra le emissioni di differenti trasduttori, quando l'ascoltatore è collocato a distanze via via minori, o comunque fuori asse, per esempio ad una quota inferiore a quella di sospensione del "Line Array". Le diverse emissioni tendono invece a guadagnare, in termini di coerenza di fase, man mano che ci si allontana e ci si eleva in quota, fino a raggiungere la perfetta addizione proprio in corrispondenza delle facciate degli edifici a qualche centinaio di metri, specie a lato.

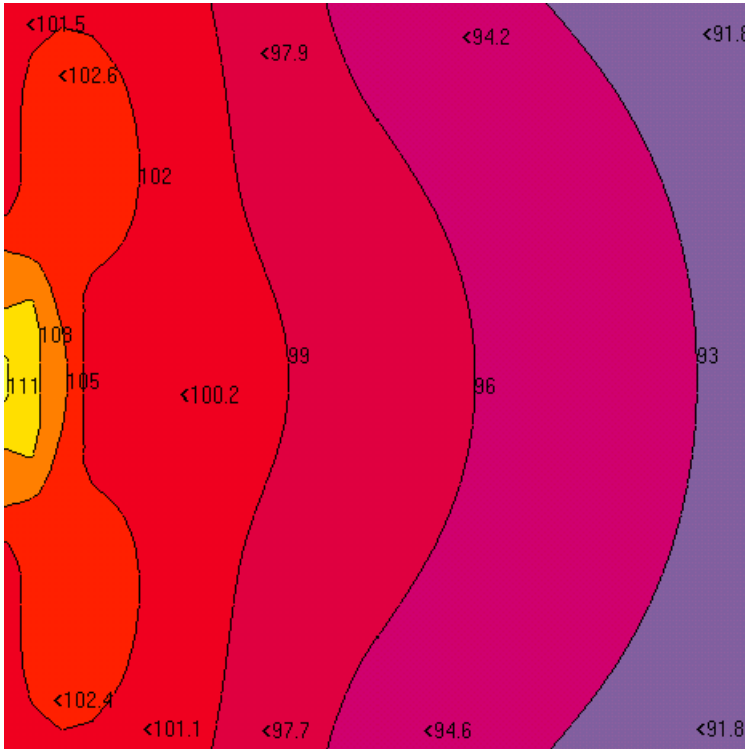
Una delle osservazioni più originali, contenute in questa Linea Guida n.12, è quella relativa all'esistenza di forti lobi di irradiazione laterale, alle frequenze medie e basse, nel caso di "Line Array" incurvati, come sono la pratica totalità degli impianti odierni. Questi lobi sono chiaramente visibili nei grafici delle simulazioni al computer, ma sono altrettanto chiaramente e logicamente prevedibili: un "Array" incurvato comporta, infatti, differenti tempi d'arrivo per le emissioni provenienti dai diversi trasduttori, se le si considera lungo l'asse principale di propagazione. Ma alle abitazioni a lato, a distanza, ed alla stessa quota dei diffusori, tutte le emissioni pervengono perfettamente sincronizzate, dunque senza cancellazioni per interferenza di fase negativa. Questi stessi lobi laterali sono quanto di peggio si possa auspicare quando si opera all'interno di spazi vasti e riverberanti, come nei palasport: qui infatti essi puntano direttamente verso ampie superfici riflettenti, da cui inesorabilmente ritornano, in piena coerenza di fase.

L'importanza di questa "caratteristica" degli impianti "Line Array", così a lungo ignorata, è comunque tale da meritare un approfondimento, facendo ricorso ad alcuni grafici tratti proprio dalla Linea Guida n.12: essi rappresentano il risultato di alcune simulazioni al computer.

La simulazione di cui verranno commentati i risultati è quella tridimensionale, in cui è stato

riprodotto il più verosimilmente possibile un tipico impianto “Line Array”, composto di 24 elementi alti 25 cm. (l’equivalente di 12 trasduttori distanziati 50 cm., nella pratica comune), quindi alto 6 m. L’Array è incurvato nella parte inferiore, fino ad ottenere le prestazioni ottimali nell’area destinata al pubblico, che, per questa simulazione, sarà ipotizzata pari ad un quadrato di 100 metri di lato, ad altezza testa.

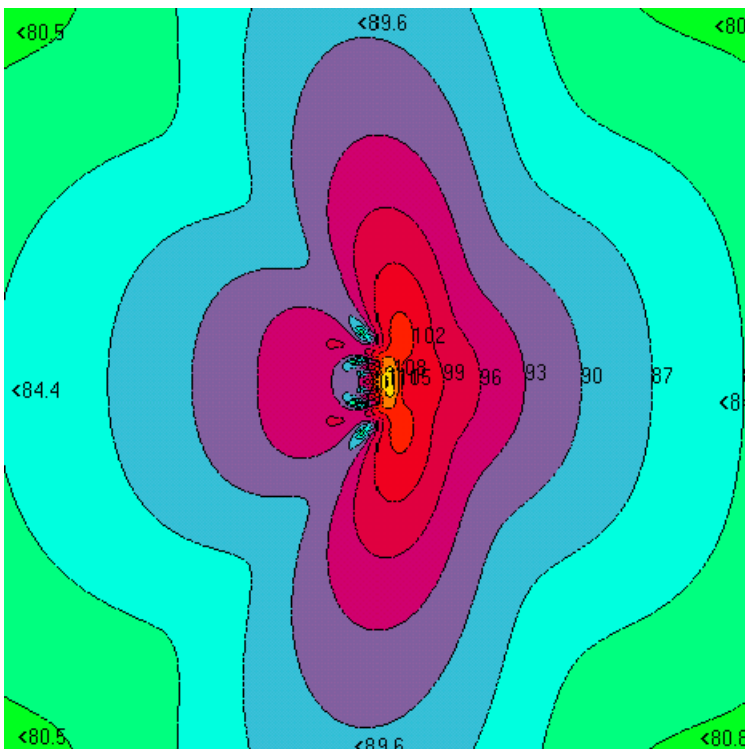
L’area esterna, che rappresenta la potenziale collocazione dei recettori, è un quadrato di 500 metri di lato, i cui bordi esterni sono sollevati fino ad una quota di 10 metri, per indagare i livelli attesi in facciata sui tipici edifici urbani di 5-6 piani.



**Fig.1**

Il grafico di **Fig.1**, alla sinistra, mostra il risultato della simulazione dei livelli di pressione sonora prodotti, a 315 Hz, dal “Line Array” lungo 6 metri, incurvato nei due terzi inferiori e sospeso a 9 m. L’area in cui sono simulati questi livelli è quella occupata dal pubblico, di 100 metri di lato, rispetto alla quale l’Array si trova alla sinistra, qualche metro indietro (come nella realtà di un concerto).

I livelli di emissione, eguali per le 24 unità, sono programmati per consentire un livello medio compreso tra 92 e 102 deciBel (LLeq), e verranno mantenuti identici per tutte le simulazioni successive, per consentire il confronto diretto, anche con quanto risulta a seguito di una riconfigurazione.



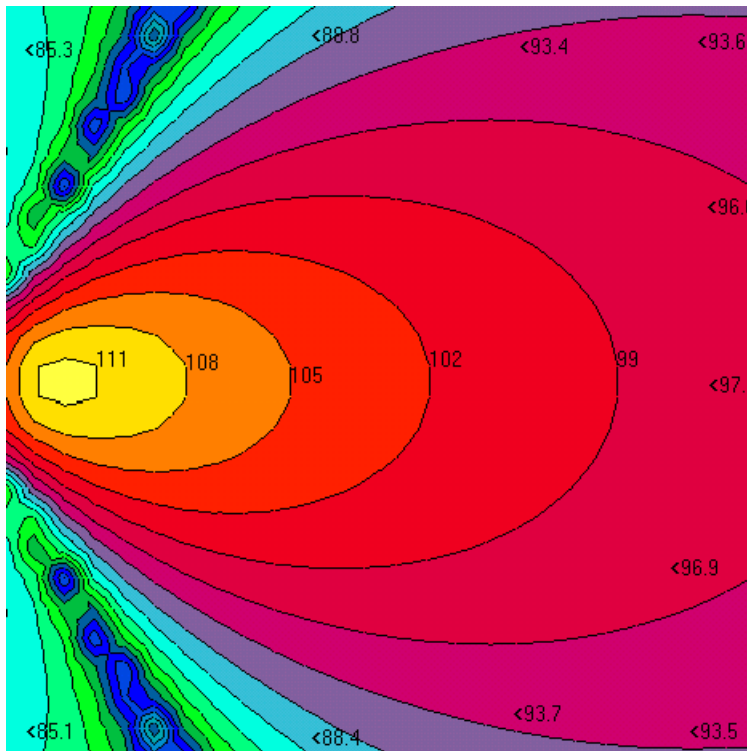
**Fig.2**

Il grafico di **Fig.2**, qui a sinistra, mostra il risultato della stessa simulazione, con un “Line Array” da 6 metri ed a 315 Hz, ma, questa volta, per un’area di 500 metri di lato, con il perimetro a 10 m. di altezza (la quota di un’abitazione).

L’Array è al centro dell’area. Sia dinanzi che a 180° il livello appare evidentemente inferiore, rispetto ai due lobi di emissione puntati a 90° e 270°, direzioni verso le quali sono riscontrabili livelli di circa 90 dB a 250 metri, appena due deciBel al di sotto del livello minimo nell’area del pubblico. Si può notare il decadimento di 6 dB per raddoppio di distanza, previsto anche in teoria, poiché il “Line Array” è di dimensioni relativamente contenute, rispetto alla lunghezza

d’onda emessa (circa 1 metro), Dunque gli effetti della perdita di rendimento causata dall’incurvamento dell’Array sono ben evidenti, in asse ed a 180°, anche a frequenze relativamente

basse. Questa gamma di frequenze è però anche quella che veicola quote prevalenti di energia (dai 40 ai 250 Hz, tipicamente) ed è letta con particolare enfasi dai fonometri dei *tecnici competenti* e dell'ARPA, che, necessariamente, impiegano la curva di ponderazione "A", che attenua progressivamente le frequenze inferiori a 500 Hz.

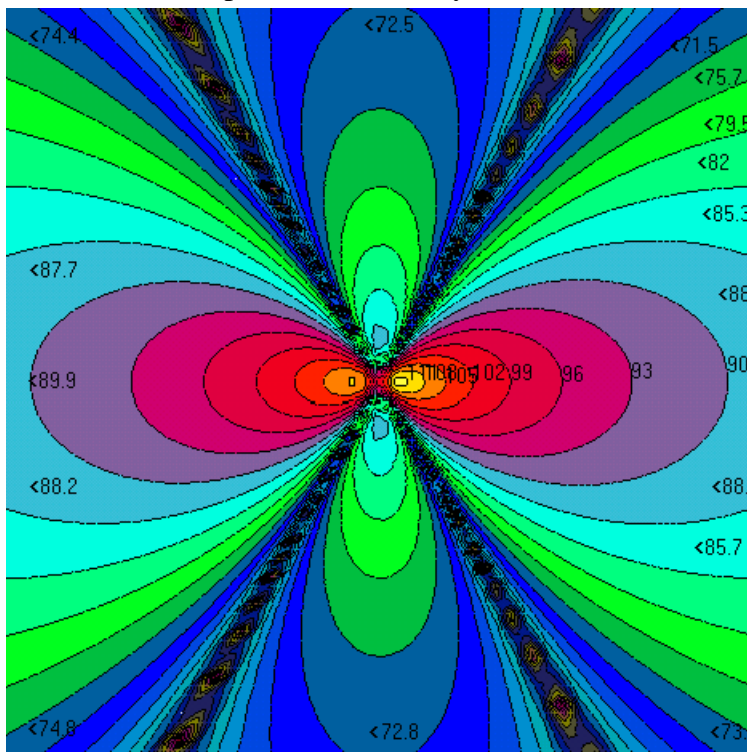


**Fig.3**

Il grafico di **Fig.3**, qui a sinistra, mostra il risultato di una simulazione di confronto, effettuata riconfigurando i 24 elementi (più uno), fino a formare una sorgente quadrata, di 125 cm. di lato. Questo tipo di sorgente simula assai verosimilmente il fronte d'onda prodotto da una tromba, con una bocca di pari dimensioni, oppure da un "Array" piano, bidimensionale.

La copertura di questo nuovo "Array" è evidentemente inferiore, insufficiente a sonorizzare omogeneamente l'area occupata dal pubblico, nonostante la quota elevata a cui è sospeso (9 m.). I livelli sonori sono però assai più elevati (98 dB a 100 m., in asse), ed è del tutto verosimile l'ipotesi che con due di questi sistemi, pilotati a metà

potenza ed orientati opportunamente, si possa sonorizzare l'area esattamente agli stessi livelli prima simulati con l'impianto "Line Array". Il livello alle abitazioni sarà però assai diverso.



**Fig.4**

Il grafico di **Fig.4**, qui a sinistra, mostra il risultato della simulazione su un'area di 500 metri di lato, con lo stesso "Array", riconfigurato, di Fig.3, composto da 25 elementi in quadrato, di 125 cm. di lato.

Il livello in asse permane elevato, circa 90 deciBel a 250 metri, ma la dispersione è in forma di due lobi, di cui quello posteriore sarebbe in realtà appena attenuato dall'ostacolo fisico costituito dalla scocca del diffusore (o dalla tromba). Quello che è bene osservare con particolare attenzione è l'andamento della dispersione verso ogni altra direzione: i lobi più energetici non superano i 73-74 dB, su entrambi i lati dell'area, a 90° e 270° dall'asse. Il livello di "inquinamento

acustico" è dunque  $90 - 74 = 16$  deciBel, cioè 40 volte inferiore a quello prodotto dall'impianto "Line Array", con le stesse potenze unitarie per elemento (ed un solo elemento su 25 in più, per questo Array). Nelle condizioni d'impiego più tipiche, di quest'ultima configurazione d'impianto ne sarebbe stata necessaria, come prima accennato, una doppia sezione, operata però a metà potenza, per via del maggiore rendimento in asse: il livello previsto per le immissioni alle abitazioni

resta dunque esattamente lo stesso. Già **questo esempio dimostra la fattibilità di una riduzione di ben 16 volte del livello delle immissioni verso l'abitato.**

La Linea Guida n.13 esamina il problema del rumore antropico, cioè del rumore provocato dal conversare degli avventori, in locali al chiuso. Partendo dai risultati di uno studio particolarmente sofisticato, eseguito da *M. Gardner* e pubblicato sulle pagine del *Journal of Audio Engineering Society*, è relativamente semplice trovare conferma della prevedibilità dei livelli, in funzione della densità di occupazione e della riflettività dell'ambiente considerato, oltrepassato un numero minimo di presenze.

La Linea Guida n.15 è interamente dedicata all'audio nei cinema e nelle arene: ancora una volta, è la vasta documentazione di risultati di veri rilevamenti fonometrici, a segnare il percorso di verifica personale da parte dei *tecnici competenti* in acustica ambientale.

Una sezione introduttiva, storica e tecnica insieme, spiega il diverso e crescente dimensionamento degli impianti audio nei cinema, la cui certificazione è tuttavia assai semplificata dalla presenza di Standard internazionali, estensivamente rispettati.

Le Linee Guida n.6 e n.16 affrontano il problema delle emissioni audio da una prospettiva più direttamente forense, cioè tecnico-legale. Queste due Linee Guida propongono, al *tecnico competente* ed al Consulente Tecnico d'Ufficio, un percorso di verifica personale, che culmina in due importanti constatazioni:

- ▶ Il rispetto letterale delle norme di buona pratica tecnica in materia di rilevamenti fonometrici, soprattutto del D.M. 16/03/1998, conduce letteralmente alla possibile unificazione tra i criteri tecnici adottati in ambito amministrativo e quelli tradizionalmente diffusi in ambito civilistico.
- ▶ Il livello di riferimento, sia esso il Rumore di Fondo civilistico, sia esso il Rumore Residuo definito in ambito amministrativo, è assai meno variabile, da caso a caso, nell'esperienza pratica, specie a finestre chiuse, di quanto comunemente si ritenga.

Una terza constatazione è già emersa nitidamente nel complesso di tutte le Linee Guida sul *contenimento delle immissioni da impianti audio*, ed è quella che vede la "tecnica di campionamento" quale tecnica di misura elettiva al fine di conseguire risultati precisi, ripetibili, documentati e di interpretazione univoca, peraltro con una potenziale reiezione degli "*eventi sonori atipici*" che è del tutto comparabile con quella ottenibile mediante le più complesse tecniche di misura con analizzatori *FFT* bicanale, di *Time Delay Spectrometry* e con i sistemi *MLS*.

Roma 5 luglio 2006

Fabrizio Calabrese