Cenni sul dimensionamento degli impianti audio per discoteche e cinema

di Fabrizio Calabrese
Consigliere della Sezione Italiana
dell'Audio Engineering Society

L'argomento trattato è tra quelli normalmente affrontati dal punto di vista empirico, nonostante sia disponibile da tempo un approccio di calcolo numerico e di simulazione al computer assai verosimile.

L'importanza della comprensione degli aspetti quantitativi delle emissioni sonore prodotte da questi tipi di impianti audio risiede soprattutto nella valutazione delle possibili implicazioni in termini di impatto acustico verso l'abitato circostante.

I livelli operativi in discoteca

Fino a circa 15 anni fa i livelli di ascolto nelle discoteche erano solitamente limitati dalle ridotte potenze di amplificazione disponibili (a costi accettabili) e dall'inaffidabilità dei trasduttori: la forte distorsione tipica degli impianti sottodimensionati era comune occorrenza.

Recentemente sono diventati disponibili amplificatori compatti e di elevatissima potenza (p.es. 4000 Watt in 9 cm. di altezza e 10-12 Kg. di peso) -a costi accessibili- potenze cui si sono presto adeguati anche i diffusori acustici professionali, i cui rendimenti sono oggi in media dell'ordine dei 100 deciBel per un watt di potenza e ad un metro di distanza.

Dunque gli attuali livelli operativi (regolamentazioni escluse) sono limitati soltanto dai commenti del pubblico: questo si lamenta per lo scarso coinvolgimento emotivo di musica riprodotta a livelli medi di 95 dB"A" o inferiori.

Valori più graditi sono compresi tra 102 e 106 dB"A" Leq, mentre sensazioni di fastidio sono riferite per livelli tra 109 e 112 dB"A" Leq, che pure sono occorrenza tutt'altro che rara, specie nei locali di tendenza.

Valori medi di ascolto superiori a 112-113 dB"A" Leq sono evidentemente sgraditi per qualsiasi tipo di pubblico.

A livelli medi di ascolto tipici (100-103) dB"A" Leq corrispondono livelli di picco lineare di 124-127 deciBel (LLpk max).

I livelli operativi nei cinema

Le sale cinematografiche aderiscono a precisi standard qualitativi e quantitativi, oggetto a volte di certificazioni (p.es. THX): il problema è che il livello del parlato va mantenuto eguale a quello previsto in sede di produzione del film.

Un parlato riprodotto a livelli troppo bassi (meno di 60 dB"A" Leq) perde di intellegibilità e di contenuto emotivo, mentre a livelli troppo alti (oltre 80 dB"A") esso è facilmente fastidioso: in questo intervallo di 20 dB devono essere comprese le diverse espressività -dal sussurro al grido- e dunque vi è ben poco spazio per compensare le eventuali incertezze di regolazione dell'impianto della singola sala.

Gli impianti audio nei cinema dovrebbero riprodurre livelli di pressione sonora

omogenei in sala, con scostamenti non superiori a più o meno tre dB dalle file anteriori a fondo sala.

Le categorie di impianti audio per cinema sono tre: sale digitali, analogiche SR, analogiche in Dolby "A". Queste ultime, in via di scomparsa, presentano livelli di ascolto simili a quelli domestici (televisivi), con picchi non superiori a 100 dB (LLpk max) e livelli medi tipicamente inferiori a 70 dB "A" Leq.

Le sale analogiche SR (Dolby Spectral) sono di gran lunga le più diffuse: i loro impianti raramente emettono più di 113-115 dB di picco lineare (LLpk max), ma le scene d'azione di film recenti possono contenere passaggi sostenuti a livelli medi di 90-95 dB "A" Leq. La media complessiva di un film analogico raramente supera gli 80-84 dB "A" Leq.

Le sale digitali (Dolby Digital, DTS, SDDS) possiedono impianti di potenza decisamente elevata: i livelli di picco lineare superano agevolmente i 121-123 dB (LLpk max) e le scene d'azione possono comportare livelli continui di 96-100 dB "A" Leq per diversi minuti. La media di un intero film può raggiungere i 90 dB "A" Leq. Una sala Dolby Digital veramente a norma deve possedere una sezione effetti (i "Subwoofers") dieci volte più potente di ciascuno dei tre canali audio posti dietro lo schermo (113 dB "C" Slow contro 103 dB "C" Slow, notare la pesatura "C" invece che "A").

Gli spettri di segnale

Discoteche e cinema condividono una particolarità a livello di spettri energetici: le basse frequenze comprese tra 30-40 Hz e 200 Hz sono presenti ad un livello medio circa dieci volte superiore rispetto alla gamma media (200-2000 Hz); di qui le raccomandazioni sul dimensionamento dei subwoofers per il cinema digitale, che sono trasferibili direttamente per l'audio delle discoteche.

La gamma delle alte frequenze, sopra 2000 Hz, è riprodotta con livelli medi gradualmente decrescenti al crescere della frequenza, tanto più quando i livelli d'ascolto previsti sono elevati (musica house).

In passato si ricorreva spesso alle alte frequenze (distorsioni incluse) per generare una sensazione di livello sonoro maggiore, pure con impianti audio di limitata potenza acustica: ne derivava un notevole fastidio all'ascolto.

Oggi la tendenza prevalente è ad aumentare la dinamica e l'estensione della risposta alle basse frequenze, con esiti favorevoli in termini di coinvolgimento emotivo e di qualità d'ascolto, ma moltiplicando il potenziale di problemi di immissione verso l'abitato circostante.

I diffusori professionali

Sia in discoteca che nei cinema prevale la presenza di diffusori con trombe per la gamma delle frequenze medio-alte e con altoparlanti a radiazione diretta per le basse frequenze e per i subwoofers. Questi ultimi diffusori sono specifici per le frequenze inferiori a 150 Hz, ed il loro ingombro è compensato dalla facilità di posizionamento consentita dal fatto che all'ascolto essi non vengono facilmente localizzati.

Le trombe per cinema hanno dispersione controllata, in modo di evitare invii di energia alle pareti laterali della sala, da cui ritornerebbero riflessioni nocive all'intelligibilità del parlato.

Le trombe per le alte frequenze dei diffusori per discoteca sono di proporzioni (e costo) assai più ridotte, e con una dispersione amplissima, indispensabile per consentirne la sospensione ad altezze ridotte sopra le piste da ballo.

Per entrambi i tipi di impianti audio le frequenze medio-basse e basse sono riprodotte senza alcuna direttività di emissione: questo semplicemente per via delle leggi della propagazione fisica del suono, che richiede sorgenti estese per poter essere emesso direttivamente. Altoparlanti a radiazione diretta di 30-40 cm. di diametro sono ben piccola cosa dinanzi alle lunghezze d'onda di 2-10 metri delle frequenze basse contenenti la massima energia.

I diffusori professionali sono solitamente specificati -in termini di rendimento- riportando il valore medio di pressione sonora prodotto alla distanza di riferimento di un metro e con la potenza di riferimento di un watt. I valori sono estrapolati da rilievi effettuati all'aperto, a distanze di 2-4-8-16 metri e con potenze calcolate ipotizzando una tensione fissa sul carico nominale dell'altoparlante (p.es. 2,83 Volt su 8 ohm). Un valore tipico è di 100 dB per 1 W ad 1 metro: i diffusori a tromba possono raggiungere e superare i 110 dB/1 W/1 mt., mentre diffusori con rendimenti inferiori a 93 dB/1 W/1 mt. non trovano solitamente impiego negli impianti audio professionali, ma solo in ambito domestico.

Un esempio tipico

Proviamo a dimensionare un impianto semplice, quello di una discoteca all'aperto con una pista di 10 X 10 metri, con un livello di picco lineare di 121 deciBel.

Impiegheremo quattro diffusori, sospesi a circa 4 metri di altezza ai vertici della pista: la distanza media tra questi e le teste degli ascoltatori sarà di circa 4 metri. A centro pista la distanza sarà doppia, ma la somma delle emissioni di quattro diffusori darà lo stesso livello sonoro medio presente nei quattro quadranti.

Abbiamo già enunciato i due principi base del dimensionamento di un impianto all'aperto: **il livello sonoro decresce di 6 (sei) deciBel per ogni raddoppio di distanza ed aumenta di 3 (tre) deciBel per ogni raddoppio di potenza (o del numero di diffusori).**

Un terzo principio da tener presente è che gli impianti audio si dimensionano in base ai livelli di picco (Lineare) necessari: sono infatti i picchi che vanno riprodotti indistorti, quindi alla potenza massima degli amplificatori moltiplicata per la sensibilità dei diffusori.

Nel nostro esempio **121 dB a 4 metri in media dai diffusori corrisponderanno a 127 dB a due metri ed a 133 dB ad un metro:** con un diffusore dal rendimento di 100 dB per 1 watt ad 1 mt. **occorreranno 33 dB di potenza rispetto ad un watt. Ogni 10 dB di livello in più la potenza elettrica applicata ad un diffusore va aumentata dieci volte, ogni 3 dB in più va raddoppiata.** Dunque 33 dB significano tre moltiplicazioni per dieci ed un raddoppio: **duemila watt di picco, cioè 1000 Watt RMS di amplificazione.**

Nel caso di una discoteca al chiuso la teoria vorrebbe che si considerasse il contributo energetico del riverbero: a parità di livello sonoro dovrebbero essere necessarie minori potenze di amplificazione. Così ragionando si dimentica il contributo di assorbimento elevatissimo introdotto dalla presenza del pubblico, sia in pista da ballo che nel locale: in pratica è più corretto dimensionare le sezioni medi ed alti come per una pista da ballo all'aperto, mentre per la gamma bassa il livello sonoro in pista sarà incrementato di 3 (tre) dB per ogni parete vicina meno di un terzo di lunghezza d'onda dal diffusore.

Per un subwoofer appeso a meno di un metro dal soffitto dovremo considerare un rendimento di 3 dB superiore a quello in aria libera, 6 dB in più allo spigolo tra soffitto ed una parete, 9 dB in più se è posizionato in un angolo. Questi incrementi possono esse aumentati dalla migliore impedenza di radiazione vista dall'altoparlante o diminuiti dall'interferenza di fase negativa quando la parete è

distante più di un terzo di lunghezza d'onda.

Lo stesso effetto positivo causato dalla riflessione da una parete vicina lo ritroviamo nel caso due o più diffusori siano affiancati a distanze sempre paragonabili a meno di mezza lunghezza d'onda.

Qui i testi del settore contengono spesso un errore con serie implicazioni:
l'aumento di 3 dB per ogni raddoppio di numero di diffusori non è affatto indefinito. A parte -infatti- le distanze fisiche inevitabili nell'affiancare 8 o più diffusori, anche l'interazione in termini di impedenza di radiazione trova un limite fisico nel rendimento di un altoparlante operato come generatore di onde piane.

Il dimensionamento degli impianti per i cinema

In questo caso il contributo energetico del riverbero si fa cospicuo, specie alle basse frequenze.

In pratica, al di là di una distanza critica (di qualche metro) il livello dell'energia direttamente proveniente dai diffusori continua a diminuire, ma il capo riverberato resta costante, come pure la lettura del fonometro.

La sensazione all'ascolto è di minore nitidezza dei transienti, solitamente accettata sull'altare di livelli di pressione sonora assai maggiori e coinvolgenti.

Alle alte frequenze è la direttività controllata delle trombe a rendere omogenei i livelli sonori nei settori anteriori ed a fondo sala: è importante la corretta scelta delle trombe ed i loro puntamento verso le file più lontane.

Gli impianti audio per cinema sono comunque assai complessi: essi comprendono tre canali frontali posti dietro lo schermo, una sezione subwoofer e numerosi diffusori di "surround", localizzati sul perimetro della sala e -complessivamente- potenti quanto le singole sezioni anteriori.

Dai livelli di picco ai valori medi

Fino ad ora abbiamo considerato i soli valori di pressione sonora di picco, senza alcuna pesatura: questo è il dato necessario ad ogni installatore per dimensionare correttamente l'impianto audio.

Tutta la legislazione in termini sia di Inquinamento Acustico che di esposizione agli alti livelli d'ascolto prevede invece misure di Livello Equivalente o medio, con una **curva di pesatura (detta pesatura "A") che attenua fortemente le basse frequenze sotto 500 Hz (ben 30 dB a 50 Hz. !).**

Questa pesatura ha un duplice significato: essa da un lato riproduce la naturale minore sensibilità dell'orecchio umano alle basse frequenze ed ai bassi livelli d'ascolto, dall'altro lato essa attribuisce il giusto maggior valore sia in termini di lesività che di fastidio proprio delle alte frequenze agli alti livelli d'ascolto.

Anche il fatto di misurare Livelli Equivalenti (cioè medie integrate sul tempo di misura) obbedisce a considerazioni logiche: è la quantità di energia complessiva a disturbare o a danneggiare l'ascoltatore, mentre brevi picchi (di intensità minore di 140 deciBel) sono tutt'altro che lesivi o fastidiosi all'ascolto.

Il problema che nasce quando si vuol passare da livelli di picco a valori medi pesati è che la corrispondenza è tutt'altro che univoca.

Un impianto audio ben dimensionato, in cui gli amplificatori saturano solo occasionalmente, riprodurrà picchi e valor medio (non pesato) nelle naturali proporzioni in cui sono stati registrati: **una pratica internazionale ormai consolidata fa differire le due grandezze di 16-20 deciBel.**

Un impianto sottodimensionato -o una trasmissione adatta all'ascolto domestico-

vedranno i picchi "tosati" ad un livello 12-14 dB superiore a quello medio.

La curva di pesatura "A" farà leggere valori medi assai inferiori nel caso di registrazioni ricche di basse frequenze (è il caso della musica da discoteca o delle colonne sonore dei film d'azione).

In discoteca -in media- si trovano almeno 20 dB di differenza tra il livello di picco lineare ed il Livello Equivalente pesato "A". Nel cinema questa differenza sale a 27-30 deciBel.

In alcune disposizioni di legge si trova anche un valore di "LAS max", cioè il livello massimo rilevato con la curva di pesatura "A" e con una costante di tempo "Slow" cioè di circa un secondo: il tempo giusto di integrazione per riuscire a leggere il valore sul display di un fonometro. **Il valore di LAS max è assai più vicino al Livello Equivalente che non al livello di picco lineare:** i picchi musicali hanno infatti una durata di qualche millisecondo e sono evidentemente "spianati" da una costante di tempo centinaia di volte più lenta.

Il problema dei limitatori

Allo scopo di rispettare i limiti di legge, sia per l'esposizione degli avventori agli alti livelli di pressione sonora che in termini di inquinamento acustico, si è spesso ipotizzato l'impiego di limitatori elettronici.

Essi sono di due tipi: il primo è specifico per gli impieghi di protezione e contenimento delle emissioni, essendo dotato di un sistema di misura autonomo (con microfono da porre in sala) ed intervenendo -con una certa lentezza- sul valor medio dell'emissione controllata.

Il secondo tipo è specifico per l'impiego in registrazione e processamento di segnali audio musicali e non: sono i cosiddetti "limitatori di picco" ed agiscono con estrema velocità (in millisecondi), essendo spesso avvertibili come vera e propria distorsione (nei picchi).

Un decreto attualmente abrogato (il D.P.C.M. 18/9/97) indicava esplicitamente il solo primo tipo di limitatori per l'impiego in discoteche e cinema: il punto è stato successivamente dimenticato.

Ma esaminiamo un caso pratico: quello di un locale le cui emissioni si immettano ben oltre i limiti ammessi dal D.P.C.M. 14/11/97 nell'abitazione di uno o più vicini.

Immaginiamo che l'impianto audio sia stato dimensionato correttamente e che sia operato a livelli medi di 100 dB "A" Leq (con un LAS max di 102 dB "A") e che le immissioni debbano essere ridotte di 12 deciBel per rientrare nei limiti di legge.

Un limitatore del primo tipo, con un tempo di intervento di secondi o centinaia di millisecondi, lascerà passare un segnale indistorto e con lo stesso rapporto tra il livello dei picchi e quello medio contenuto nella registrazione.

Se i picchi superano il livello medio di 20 dB, allora basterà che la loro durata sia di cento volte inferiore a quella delle porzioni intermedie di segnale perché essi influenzino la lettura del microfono del limitatore esattamente nella stessa misura dei passaggi interposti: così è circa, in pratica.

Dunque per ridurre di 12 dB le immissioni verso i vicini dovremo ridurre nelle stesse proporzioni picchi e livello medio entro la discoteca: un livello medio di 100 - 12 = 88 dB "A" Leq sarà però assolutamente insufficiente a causare alcun coinvolgimento emotivo nei frequentatori del locale, che dapprima si lamenteranno con il gestore del locale e quindi lo deserteranno.

Un limitatore di picco che "tagli" i picchi a 116 invece che a 121 dB avrà ben pochi risultati all'ascolto, ma causerà un discreto abbassamento del livello di energia nel locale: a questo intervento seguirà quello di un limitatore del primo tipo, utilizzato

però soltanto per abbassare il livello medio di 7-8 deciBel, cioè da 100 a 92 dB"A" Leq (un livello sempre assai basso, ma compatibile per una programmazione musicale da piano-bar o night club).

In tutti i casi sarà opportuno che il limitatore del primo tipo legga le basse frequenze emesse entro il locale, che sono poi quelle trasmesse al vicino, e non le alte, innocue -di solito- in termini di inquinamento (dunque via la "pesatura A"...).

La soluzione di impiegare uno o più limitatori è comunque senz'altro la peggiore ipotizzabile, sia in termini di efficacia che per qualità di prestazioni all'ascolto.

L'efficacia è dubbia perché -nel caso i livelli cui venga tarato l'impianto siano incompatibili con il tipo di programmazione musicale del locale- sarà inevitabile che il gestore o i D.J. debbano disinserrarlo, specialmente nelle serate di maggiore affluenza di pubblico, pena la perdita dello stesso o concreti problemi di ordine pubblico.

La qualità dell'ascolto sarà compromessa non solo dall'intervento dei limitatori del secondo tipo, ma soprattutto dal fatto che i brani musicali sono "missati" (un termine tecnico che vuol dire "assemblati", riversando sui due canali di un impianto stereo le 24-48 piste registrate con i vari strumenti) da un fonico che ascolta ad un determinato livello, solitamente assai elevato (102 dB"A" Leq p.es.). Se lo stesso brano musicale viene ascoltato di un livello assai inferiore, al quale l'orecchio di ogni ascoltatore percepisce inevitabilmente assai meno le basse frequenze, allora il bilanciamento timbrico originale dell'incisione verrà perso e ben poco potranno fare le eventuali correzioni apportabili dal D.J. su un segnale composto di due soli canali, somma di tanti altri.

Il problema maggiore nell'impiego di limitatori è che essi dovrebbero -ai sensi dell'Art.6 del D.P.C.M. n.215 del 16/4/1999- essere dotati di meccanismi che ne impediscano la manomissione, il che è evidentemente impossibile.

Qualsiasi limitatore -infatti- è dotato di connettori di ingresso e di uscita, cui pervengono i cavi di collegamento, che possono essere facilmente collegati tra loro, saltando il limitatore. In alternativa è sempre possibile -in pochi secondi- collegare direttamente il mixer agli amplificatori, con un altro cavetto (le linee bilanciate permettono di effettuare le connessioni anche ad impianti accesi, senza rumori o danni).

Una soluzione migliore

I problemi di inquinamento acustico possono essere meglio risolti intervenendo sull'isolamento del locale o, all'aperto, con barriere acustiche.

Nel primo caso il rapporto tra costi e prestazioni può essere veramente scoraggiante, nel secondo caso la soluzione può non essere per nulla efficace.

La musica per discoteca (e gli effetti nel cinema) contengono basse frequenze (30-200 Hz) a livelli dieci volte superiori al resto dello spettro udibile: con onde lunghe da 10 a due metri circa occorrerebbero barriere alte decine di metri per avere l'efficacia richiesta (peraltro i diffusori sono appesi a quote assai più alte dei motori dei veicoli, che emettono vicino al terreno...).

Interventi di isolamento efficaci per frequenze medi ed alte sono noti e spesso applicati per insonorizzare cabine di motori, sistemi di ventilazione ed altri apparati rumorosi, che però tipicamente emettono assai poche basse frequenze.

Gli stessi trattamenti che isolano di 20-30 dB"A" una voce o un motore elettrico hanno invece un'efficacia di 3-4 dB"A" se impiegati per isolare una discoteca dall'abitazione adiacente. I trattamenti veramente efficaci sono noti a pochi esperti, di cui richiedono la presenza e la supervisione di ogni fase del montaggio, per evitare gli errori tipici che tanto ne pregiudicano le prestazioni.

Una soluzione ancora più efficace

Da qualche anno a questa parte sono disponibili -anche per opera di chi scrive- impianti audio di configurazione originale e brevettata, che permettono di contenere le emissioni anche di basse frequenze verso le abitazioni adiacenti discoteche sia all'aperto che al chiuso.

Alcuni impianti operano sfruttando la maggiore direttività di sorgenti estese realizzate affiancando centinaia di piccoli altoparlanti, sospesi sopra le piste da ballo. Il problema di questi impianti è che -quando la pista è semivuota, a tarda notte- il rimbalzo di energia acustica dal pavimento ritorna agli altoparlanti ed alla lamiera su cui essi sono montati, essendo poi da questi riflesso nuovamente e con angolazioni sempre maggiori verso l'esterno.

Ancora un problema di questo tipo di impianti risiede nella costanza di prestazioni nel tempo: alcuni altoparlanti possono risentire di abusi o umidità più di altri, e dunque l'addizione in fase delle energie può peggiorare nel tempo.

In ogni caso -per semplici motivi fisici- il controllo della direttività di questi impianti si perde a frequenze le cui lunghezze d'onda superano la metà o poco più della distanza tra i differenti trasduttori: questo obbliga a montarne centinaia, con evidenti problemi di peso e di costanza di prestazioni (risposta in fase).

Personalmente preferisco una soluzione diversa, in cui la cancellazione delle emissioni al di fuori dell'area della pista da ballo viene ottenuta, alle basse frequenze, mediante l'interazione di fase negativa tra le emissioni ricavate dalle due facce dello stesso altoparlante, con risultati stabili nel tempo.

Se ben progettati, questi diffusori possono essere efficientissimi e leggeri, **con una sezione minima che non intercetta l'energia dei rimbalzi a pista semivuota e non la rimanda alle abitazioni.**

Altre tecniche, sempre assai sofisticate ma efficienti, permettono di ottenere eccellenti risultati nel controllo delle emissioni alle frequenze medie, alle quali sono particolarmente sensibili sia i fonometri (per via della pesatura "A") sia gli ascoltatori posti nelle abitazioni disturbate (per via dei bassi livelli di immissione).

Raramente le alte frequenze causano problemi di immissione, ma in questi casi le soluzioni sono diverse e tutte assai semplici.

In conclusione è sicuramente possibile progettare e realizzare impianti audio la cui direttività di emissione -basse frequenze incluse- sia tale da consentire gli elevati livelli di pressione sonora sulle piste da ballo richiesti dal pubblico, tuttavia **limitando di circa 16 dB il livello di immissione verso le abitazioni circostanti** (in confronto al livello di immissione di un impianto convenzionale).

Nei locali al chiuso va seguito il percorso dei rimbalzi, curando di assorbirne l'energia con un trattamento passivo tuttavia di limitata estensione.

In tutti i casi questa tipologia di impianti audio permette di ridurre l'esposizione sia del pubblico che dei dipendenti agli alti livelli di pressione sonora, ottenendo il rispetto contemporaneo del **D.P.C.M. n.215 del 16/4/99** e delle **Leggi n.277/91 e 626/95**: se infatti si valuta la pressione sonora presente nella media del locale, essa risulta anche dieci volte inferiore al livello riscontrabile in pista.

L'impiego di sistemi di limitazione diventa opzionale e non va in conflitto con le richieste del pubblico e quindi con il successo dell'attività: il Tecnico Competente non deve ipotizzare manomissioni incontrollabili, potendo dunque certificare le reali condizioni di impiego e di operazione degli impianti audio.