Si sottopone all'attenzione dei lettori, invitandoli ad unirsi all'appello in favore della pubblicazione dell'opera.

Il caso esaminato come esempio è vero: si tratta di tre abitazioni al Testaccio (quella al VI piano è in Lungotevere degli Artigiani). Date ed ore dei grafici sono quelle reali.

# La prima stesura della "Linea Guida n.9 A.P.A.T." (di Fabrizio Calabrese, per l'APAT)

### Previsione d'Impatto Acustico per una manifestazione estiva -all'apertoed invernale, al coperto.

Lo Standard Internazionale **ISO 9613-2** costituisce il riferimento elettivo in materia di calcolo previsionale dei livelli d'immissione acustica; esso è tuttavia di lettura ed applicazione tutt'altro che semplici, anche e soprattutto nel campo specifico delle immissioni prodotte da impianti audio, all'aperto. Alcuni approfondimenti preliminari specifici sono utili: essi sono l'oggetto principale proprio di questa Linea Guida n.9.

Nella <u>Linea Guida n.5</u> è stato esposto un approccio alternativo assai più semplice, basato sull'applicazione di un ristretto numero di *coefficienti d'attenuazione in eccesso*, in aggiunta alla normale attenuazione per divergenza. Questi coefficienti hanno il particolare pregio di essere facilmente verificabili mediante rilevamenti sperimentali specifici.

L'esame di un numero di casi pratici, che correda la <u>Linea Guida n.5</u>, ha condotto a formulare un'ipotesi predittiva assai interessante e di vaste implicazioni: essa consiste nell'individuazione preventiva del potenziale massimo operativo dei diversi impianti audio, quale risultato della moltiplicazione del rendimento dei diffusori per la potenza (di picco) degli amplificatori. Il valore di Picco Lineare che si ottiene come risultato va quindi ridotto di un primo coefficiente, per ottenere un valore medio (cioè un <u>Livello Equivalente</u>) ponderato "A": questo coefficiente può essere individuato con precisione sia mediante rilevamenti effettivi, in loco, che mediante un'analisi preventiva del tipo d'incisioni normalmente utilizzate.

Il rendimento dei diffusori professionali è normalmente specificato per una distanza di riferimento di un metro: a questa stessa distanza sarà dunque riferito il risultato del nostro precedente calcolo.

Per calcolare il livello sonoro operativo, in pista da ballo, sarà sufficiente applicare il coefficiente di attenuazione per divergenza, calcolato come pari a:  $A_{\text{div.}} = 20 \times (\text{Log}_{10}(d_{\text{med}}))$ , dove  $d_{\text{med}}$  è la distanza media tra i diffusori e gli ascoltatori.

Per calcolare il livello d'immissione, in facciata alle abitazioni, sarà necessario applicare ancora una volta il coefficiente di attenuazione per divergenza, riferito, questa volta, alla distanza media <u>tra diffusori ed abitazioni</u>. Due ulteriori *coefficienti d'attenuazione in eccesso* permetteranno di individuare i livelli d'immissione previsti <u>all'interno</u> delle abitazioni<sup>1</sup>, tenendo anche conto dell'orientamento della finestra rispetto alla posizione della sorgente sonora.

I numerosi ed anche cospicui casi esaminati nella Linea Guida n.5 supportano, tutti, la notevole quanto

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> In proposito è di grande aiuto la norma specifica, contenuta nel D.M. 16/03/1998, Allegato "A", comma 5, che impone di rilevare (all'interno delle abitazioni, a finestre aperte) ad una precisa distanza all'interno della finestra, cioè ad 1 metro.

<sup>1</sup> di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

inattesa precisione di questa modalità di calcolo previsionale, che, peraltro, non contraddice in alcun modo il dettato della norma ISO 9613-2. Il calcolo dell'attenuazione per divergenza è infatti del tutto analogo, mentre l'irrilevanza dei fattori di attenuazione in eccesso correlati alle riflessioni dal terreno, ai movimenti ed all'assorbimento atmosferico, alla presenza di barriere, è facilmente riconducibile nell'ambito delle stesse indicazioni della norma ISO 9613-2, in quanto le immissioni prodotte dagli impianti audio contengono la maggior quota di energia nelle ottave di bassa frequenza, alle quali questi coefficienti sono appunto irrilevanti, o di segno contrario tra loro<sup>2</sup>.

#### L'elemento innovativo

La differenza tra l'approccio esemplificativo adottato nella <u>Linea Guida n.5</u> e la procedura dello Standard **ISO 9613-2** risiede, semplicemente, nell'essersi avvalsi, nel primo caso, del dato tecnico relativo al rendimento dei diffusori (facilmente misurabile, se ne occorre la verifica), il quale include in un solo termine la potenza acustica<sup>3</sup> e la direttività di emissione <u>in asse</u> del diffusore.

L'elemento veramente innovativo è tuttavia un altro: esso risiede nell'ipotesi predittiva secondo la quale tutti gli amplificatori sono utilizzati a pieno regime, naturalmente a livello di Picco Lineare.

Quest'ipotesi è avvalorata da un numero di osservazioni, facilmente verificabili, che seguono:

- La differenza tra il valore di Picco Lineare massimo e quello di Livello Equivalente, ponderato "A", è assai cospicua: si va dai 23-24 deciBel delle incisioni analogiche non compresse (o dai 27-31 dB delle colonne sonore digitali) ai 22-23 dB dei concerti dal vivo, scendendo a 15-17 deciBel solo per incisioni recentissime e compresse digitalmente<sup>4</sup>.
- ▶ Una precisazione importante: la differenza tra i valori di Picco Lineare e di Livello Equivalente permane elevata anche se si omette la ponderazione "A" da quest'ultima misura.
- ▶ Dall'ipotesi di un valore tipico di 23 dB (per la differenza LL Pk max LAEq.), si deduce che gli amplificatori audio verrebbero utilizzati, in media, a meno d'un centesimo del loro potenziale, nell'ipotesi appunto di operare in regime lineare, cioè riproducendo i picchi senza distorsione.
- Chiunque abbia esperienza pratica di impianti audio professionali sa bene, invece, che gli amplificatori vengono normalmente operati a livelli medi sostanzialmente superiori a quelli appena ipotizzati, come testimonia la necessità di alette di raffreddamento e ventilazione forzata. Dunque una quota non trascurabile dei picchi viene necessariamente distorta<sup>5</sup>.
- La configurazione progettuale dei diffusori professionali di maggiore potenza è spesso studiata proprio per consentire l'impiego degli amplificatori in regime di "clipping" ripetitivo, talvolta avvalendosi (nei sistemi multiamplificati), della massa dei coni o di cavità, in funzione di filtro delle alte frequenze e quindi anche delle armoniche di alto ordine create dal clipping.
- ▶ Le implicazioni economiche del surdimensionamento di un impianto audio, rispetto alle effettive necessità di utilizzo, sono solitamente tali da scoraggiare fortemente tale pratica. Un errore di 3 deciBel per un impianto da concerto, ne incrementa i costi di centinaia di migliaia di Euro.
- Soprattutto per gli impieghi all'aperto, ove manca il supporto energetico del campo riverberato, è assolutamente improbabile riscontrare impianti audio surdimensionati, cioè in grado di riprodurre livelli

<sup>2</sup> In particolare le riflessioni dal terreno e dagli edifici circostanti tendono ad annullare perfettamente l'eventuale effetto di barriera eventualmente creato da scenografie e recinzioni.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> La potenza acustica è qui espressa direttamente in termini di pressione sonora corrispondente ad una tensione standard ai capi del diffusore, per esempio 2,83 Volt per un diffusore da 8 ohm di impedenza di carico <u>nominale</u>. A questa tensione corrisponde la potenza <u>nominale</u> di 1 Watt. Naturalmente le impedenze effettive dei diffusori possono variare, rispetto alla frequenza, entro ampi margini: se si considera a questo punto che gli amplificatori audio sono di regola caratterizzati da bassissime impedenze interne, cioè sono quasi dei perfetti generatori di tensione, allora se ne deduce che la potenza elettrica effettivamente assorbita dal diffusore potrà essere assai variabile, in funzione della frequenza.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Si ottengono questi risultati mediante programmi noti come "massimizzatori", impiegati proprio per elevare al massimo il livello medio di incisioni destinate ad essere riprodotte su impianti minimali, autoradio, computers.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Questo tipo di distorsione è nota come "clipping" e si verifica a livelli facilmente prevedibili, in quanto di poco inferiori al valore delle tensioni di alimentazione in continua interne all'amplificatore. A parte rarissimi casi, nessun amplificatore a stato solido può erogare sul carico tensioni superiori a quelle di alimentazione, in assenza di trasformatori in uscita.

di Picco Lineare (massimo) superiori a quelli effettivamente utilizzati sul campo.

- Le stesse incisioni musicali, specie i CD, sono perfettamente allineate a livello di Picco Lineare, con valori tipici compresi tutti entro uno o due deciBel al di sotto del massimo livello quantizzabile e registrabile (vedi alla Linea Guida introduttiva specifica sulla dinamica delle incisioni).
- L'impiego di "limitatori di picco" in funzione di protezione, specie nei diffusori più recenti, è in pratica funzionale all'impiego degli stessi diffusori a valori medi di emissione assai più alti... La distorsione prodotta dal limitatore è infatti assai più accettabile di quella causata dal *clipping* dell'amplificatore, il che consente appunto di elevare il livello medio, a parità di qualità d'ascolto.

### L'equazione di base

La norma ISO 9613-2 indica, come punto di partenza del calcolo previsionale, un'equazione relativamente semplice, con tre termini. In pratica il livello di pressione sonora previsto presso i recettori, calcolato per bande di un'ottava, è pari alla potenza acustica della sorgente (in deciBel), aumentata del fattore di direttività di emissione in quella direzione e diminuita del fattore composito di attenuazione per divergenza ed in eccesso.

Quest'ultimo termine è costituito dalla somma delle perdite per assorbimento atmosferico, per effetto del terreno, per la presenza di barriere e per altri effetti (p.es. fogliame). Nel campo specifico delle immissioni da impianti audio questi ultimi termini assumono proporzioni minime, dato che l'energia emessa è tipicamente concentrata per il 50 % nelle due ottave centrate su 63 e 125 Hz. Per esempio, per quanto concerne l'assorbimento atmosferico, occorrono distanze superiori al chilometro per riscontrare attenuazioni superiori ad 1 deciBel, a queste frequenze.

Quanto poi alla presenza di barriere e di edifici, occorre tener presente che il posizionamento tipico dei diffusori audio è ad una certa altezza al di sopra delle teste degli ascoltatori, specie per le discoteche all'aperto, quindi ad almeno 3 metri di altezza. Di converso le abitazioni interessate alle immissioni possono essere alte anche diversi piani, specie in prossimità ed entro i centri urbani. In pratica è assolutamente tipico riscontrare percorsi diretti tra diffusori ed abitazioni, caso in cui l'efficacia delle barriere è nulla a qualsiasi frequenza.

L'eventualità che barriere, alte necessariamente almeno 7-8 metri, possano poi rivelarsi di alcuna efficacia è poi praticamente esclusa dalla constatazione che due terzi dell'energia contenuta nelle incisioni musicali è emessa a frequenze le cui lunghezze d'onda sono superiori a circa un metro e mezzo: facile dedurne la pressoché completa diffrazione al bordo superiore della barriera...

La presenza di barriere e di facciate piane di edifici può invece rivelarsi efficace nel dirigere verso le abitazioni un numero di riflessioni, che aggiungono energia a quella delle immissioni dirette. La norma ISO 9613-2 tratta queste riflessioni come "immagini" virtuali della sorgente primaria: la loro propagazione segue quindi le regole di ogni altra sorgente sonora<sup>6</sup>.

### La grande differenza

Esiste tuttavia una differenza di fondamentale importanza tra l'approccio rigoroso nell'applicazione dello Standard **ISO 9613-2** e l'alternativa che si avvale del dato pubblicato, che unisce rendimento e direttività: essa risiede proprio nell'assai diverso significato del termine "direttività" nel campo dell'audio professionale e nel più vasto campo dell'acustica applicata.

In campo audio, professionale ma anche domestico, il "coefficiente di direttività" esprime il rapporto tra il livello di pressione sonora emesso <u>nell'asse principale di emissione</u> del diffusore ed il livello medio emesso, nella stessa banda di frequenze, in tutte le direzioni attorno al diffusore. Esiste un coefficiente espresso linearmente, denominato " $\mathbf{Q}$ ", ed un fattore corrispondente, espresso in scala logaritmica, detto " $\mathbf{DI}$ ", che è pari a  $\mathbf{10} \times \mathbf{Log_{10}}(\mathbf{Q})$ .

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Anticipando di poco l'esame del caso approfondito come esempio, riscontreremo incrementi anche assai cospicui dei livelli d'immissione alle abitazioni, causati da queste riflessioni (Vedi all'Appendice "B", Fig.13 a/b).

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Che sta per "DIRECTIVITY INDEX"

In campo acustico, in generale, il "fattore di correzione in base alla direttività" descrive l'entità, in deciBel, della deviazione del livello sonoro emesso <u>in una specifica direzione</u> dalla sorgente considerata, rispetto al livello prodotto da una sorgente omnidirezionale di eguale potenza acustica.

A rigore, le due definizioni sembrano equivalenti<sup>8</sup>, ma una lunga tradizione nella pubblicazione dei parametri dei diffusori professionali ha da sempre ristretto l'attenzione al solo fattore di direttività lungo l'asse principale di emissione, non senza alcune buone ragioni. I diffusori professionali sono, infatti, impiegati di regola per sonorizzare aree specifiche, verso cui sono rivolti. Il loro angolo di copertura uniforme (entro –6 deciBel) è specificato sia orizzontalmente che verticalmente, e viene scelto appunto in funzione dell'ampiezza dell'area da sonorizzare, rispetto alla quota ed alla distanza cui si va a porre il diffusore.

Ogni emissione che non sia compresa in questo angolo solido di emissione è solitamente considerata come del tutto priva di importanza, in campo audio, ed è quindi assente nelle specifiche, se non appunto quale valore complessivo.

Ancor più importante, come aspetto distintivo dell'audio professionale, è che qui l'angolo di copertura di qualsiasi diffusore è sempre specificato come <u>valore minimo</u>, riferito alla gamma di frequenze più alta riprodotta dal particolare diffusore.

Infine la copertura angolare dei tradizionali diffusori professionali è sempre relativamente ampia: sono infatti considerate estremamente direttive le trombe con coperture angolari di  $40^{\circ} \times 20^{\circ}$ , di raro impiego, per cui costose e poco reperibili. Le coperture angolari "standard" sono invece pari a  $90^{\circ} \times 40^{\circ}$  e  $60^{\circ} \times 40^{\circ}$ , sempre intese come minime e riferite all'estremo superiore della risposta.

Esiste peraltro un valore massimo del "fattore di direttività" che sia fisicamente compatibile con una definita copertura angolare<sup>10</sup>: in pratica è del tutto tipico reperire diffusori caratterizzati da fattori di direttività assai minori del massimo conseguibile, a parità di copertura, in quanto si tende a contenere le dimensioni fisiche della sorgente ed in tal modo si perde il controllo della direttività di emissione a frequenze relativamente più alte<sup>11</sup>.

Alle frequenze basse e medio-basse, alle quali viene emessa la quota preponderante dell'energia quando si amplifica musica, la pratica totalità dei diffusori, professionali e domestici, è assolutamente omnidirezionale.

Solo per frequenze superiori a 500-800 Hz sono reperibili trombe con coperture angolari ristrette anche sino a 40° × 20°, ma esse sono di dimensioni e costi assai cospicui. Recentemente si è diffusa la tendenza ad impiegare trombe di piccole proporzioni e tuttavia con dispersione angolare ristretta: esse però perdono del tutto il controllo della dispersione a frequenze inferiori ai 2 KHz; in questo caso è del tutto legittimo tener conto della copertura angolare specificata dal fabbricante solo come indicazione cautelativa, intesa ad evitare l'impiego del particolare diffusore per aree di copertura maggiori di quelle coperte omogenemente<sup>12</sup>.

In sintesi, il contesto dell'audio professionale vede un'ampia disponibilità di diffusori del tutto omnidirezionali alle frequenze basse e medio-basse, mentre in gamma alta gli stessi possono disperdere (omogeneamente) entro un angolo minimo solitamente ben specificato, ma senza alcuna implicazione in ordine alla dispersione oltre tale angolo. Diffusori più piccoli tendono, per rispetto alle leggi della Fisica, a disperdere omnidirezionalmente anche a frequenze relativamente più alte, rispetto ai consimili di

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> E lo sono, lungo l'asse di propagazione principale del diffusore.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> E nella tacita quanto universale affermazione che a qualsiasi frequenza inferiore la dispersione non possa che essere più ampia di quella specificata. Diversamente il diffusore verrebbe classificato come mal progettato e di impiego problematico; un diffusore che abbia una dispersione disomogenea e non monotonicamente decrescente verso le alte frequenze crea infatti un campo riverberato spettralmente innaturale e spiacevole all'ascolto.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Esso è definito da un'equazione, detta "di Molloy", trattata nella <u>Linea Guida n.4</u>.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Vedi nella Linea Guida introduttiva alla tecnica dell'Audio professionale.

<sup>12</sup> Commercialmente vi è tuttavia un certo vantaggio a proporre sistemi più "direttivi",ancorché solo alle altissime frequenze: il maggiore rendimento in asse ottenuto restringendo l'angolo solido di emissione va a bilanciare la maggiore fragilità dei trasduttori impiegati per riprodurre le alte frequenze nei diffusori più economici...

maggiori dimensioni ed analoga copertura nominale.

La sostanziale diversità tra il concetto di "direttività" diffuso in ambito audio professionale e quello condiviso tra gli esperti di acustica applicata è alla base di gravi fraintendimenti e, a volte, di altrettanto cospicui errori nelle previsioni.

Un esempio spiega bene. Immaginiamo una tipica pista da ballo di discoteca all'aperto, ai quattro vertici della quale siano sospesi altrettanti diffusori (o gruppi di diffusori): se l'altezza e l'inclinazione dei diffusori sono ottimali, non sarà difficile sonorizzare omogeneamente la pista anche con diffusori da 90° × 40°. Se la distanza media tra diffusori ed ascoltatori, considerata per ogni quarto di pista, sarà pari ad esattamente la metà della distanza tra i diffusori stessi e gli ascoltatori posti a centro pista, allora la somma dell'energia emessa appunto verso il centro dai 4 diffusori compenserà esattamente l'attenuazione di 6 dB dovuta alla distanza doppia. Non è un caso che questa configurazione sia assolutamente tipica, per le discoteche estive all'aperto.

Vista dal *tecnico competente*, una pista da ballo di questo tipo può essere considerata, <u>nel suo complesso</u>, come una sorgente omnidirezionale, perlomeno sul piano orizzontale. Infatti le 4 trombe da 90° di copertura orizzontale sono orientate a 90° l'una rispetto all'altra: ammettendo che esse controllino effettivamente l'emissione oltre tale angolo, comunque ve ne è almeno una rivolta in ogni direzione. Alle frequenze basse e medio-basse i 4 diffusori sono perfettamente omnidirezionali, per cui le loro emissioni si sommeranno in ogni direzione, non senza le normali irregolarità di risposta (e dispersione) connesse con gli effetti di interazione di fase creati dai percorsi in aria differenti, per ogni possibile posizione dei recettori, inclusi gli ascoltatori in pista.

La curva di ponderazione "A" favorirà il contributo delle frequenze medio-alte ed alte, quando si rileva in pista, mentre alle abitazioni distanti sarà la maggiore energia emessa nelle tre ottave basse (63-125-250 Hz) a contribuire di più al valore letto dal fonometro, perché meno attenuata.

### La prima componente psicoacustica

Fin qui gli aspetti squisitamente tecnici, in base ai quali sarebbe tuttavia possibile ipotizzare qualsiasi arbitrario livello d'ascolto in pista (o per il concerto che precede le danze) e quindi, per conseguenza, qualsiasi livello d'immissione alle abitazioni.

Non è così, in pratica.

Nelle due **Appendici** "A" e "B" sono riportati e commentati **oltre 40 grafici** di rilevamenti fonometrici, effettivamente eseguiti presso abitazioni interessate alle emissioni provenienti da una stessa area, nella quale d'estate opera una manifestazione all'aperto, mentre in inverno ed in primavera ne è attiva una ospitata al di sotto di un ampio tendone circense.

Proprio l'ampiezza della documentazione tecnica disponibile, peraltro raccolta nel corso di anni, è la prova incontrovertibile della prevedibilità, della ripetibilità e, infine, <u>della vera e propria "necessità" di precisi livelli di pressione sonora entro il perimetro della manifestazione</u>, sia al chiuso che all'aperto.

Rimandando alle note che corredano ogni grafico, si potrà osservare che le occasioni in cui il livello sonoro è stato di necessità (o per prudenza) contenuto, <u>anche di pochi deciBel</u>, il pubblico ha sempre disertato precocemente la manifestazione, come testimoniano, in modo inequivocabile, proprio i risultati dei rilevamenti fonometrici eseguiti a fine serata, nel periodo d'allontanamento dei veicoli dei partecipanti alla manifestazione.

Ad una medesima deduzione si perviene anche osservando l'assoluta ripetibilità dei livelli di Picco Lineare, per tutta la durata di concerti e serate danzanti. Il valore di <u>LL-Pk max</u> è praticamente sempre perfettamente corrispondente a quello calcolato mediante la moltiplicazione delle potenze elettriche disponibili per il rendimento dei diffusori. Questa è una delle verifiche più semplici...

Confrontando i livelli d'immissione per anni di seguito, con impianti talora differenti (ma sempre di tipo tradizionale, non direttivo), ma con la stessa superficie di piste da ballo da sonorizzare, si conferma con sicurezza l'esistenza di ben definiti valori operativi minimi per gli impianti audio, il cui dimensionamento e quindi il costo (di noleggio) discendono in proporzione.

Solo in tempi recentissimi i costi degli amplificatori sono discesi fino al punto di poter ipotizzare un leggero surdimensionamento degli impianti, inteso quasi sempre soltanto a rendere possibile la compensazione delle perdite di rendimento a fine serata, causate dall'innalzamento della temperatura delle bobine mobili degli altoparlanti<sup>13</sup>, che oggi sono sollecitate a potenze unitarie assai elevate.

### La seconda componente psicoacustica

Anche sul versante dei recettori occorre tener conto delle particolari attitudini psicoacustiche che determinano la risposta a questo particolare tipo di inquinamento.

Contrariamente ad ogni altra forma di inquinamento, infatti, in campo acustico non ha assolutamente alcun senso concentrare l'attenzione sui soli termini <u>quantitativi</u>, perlomeno in quella che è la normale accezione di questo termine. Un livello d'immissione di 50 dB"A" Leq. può essere infatti del tutto accettabile, a finestre aperte, in un'abitazione in cui il normale livello di Rumore Residuo è all'incirca dello stesso ordine di grandezza (come accade, purtroppo, nelle abitazioni ai piani bassi che affacciano direttamente lungo direttrici di intenso traffico urbano ed extraurbano). Lo stesso livello d'immissione di 50 dB"A" solleverebbe una corale protesta ed attiverebbe ogni tipo di azione giudiziaria, se andasse ad interessare le abitazioni ai piani medi ed alti delle periferie residenziali, dove cioè il normale livello di Rumore Residuo può essere facilmente inferiore ai 40 dB"A" Leq<sup>14</sup>.

Parimenti accade nella condizione di misura (e di percezione) a finestre chiuse. Qui il livello di riferimento, cioè quello del Rumore Residuo<sup>15</sup>, è quasi sempre inferiore ai 20-23 dB"A"<sup>16</sup>, e le tipiche immissioni, di livello compreso tra i 30 ed i 40 dB"A" Leq. sono non solo intollerabili, ma anche percepite con grande nitidezza, fino a distinguere i messaggi vocali degli animatori.

Se a questa osservazione si aggiunge la constatazione che il *coefficiente di fonoisolamento* di un normale infisso di finestra può variare da poco più di 10 dB a 15-20 deciBel al massimo, ecco spiegata l'impossibilità di far fronte alle immissioni esterne con la semplice chiusura delle imposte. Infatti i livelli d'immissione esterni sono spesso dell'ordine dei 55-60 dB"A" Leq., ed anche attenuati di 15-20 deciBel (dalla chiusura delle finestre), restano sempre ampiamente superiori al livello di Rumore Residuo o di Fondo, e dunque sono perfettamente percepibili.

In sintesi, il meccanismo uditivo umano comporta <u>una sorta di regolazione automatica della sensibilità</u>, che è basata sul livello di Rumore di Fondo tipicamente presente nell'ambiente. Qualsiasi immissione priva di contenuto informativo, come ad esempio il traffico lontano, addiziona la sua energia a quella del Fondo, determinando un innalzamento della soglia percettiva. Qualsiasi immissione che, al contrario, sia caratterizzata da possibile interesse, per esempio la musica o i commenti dei DJ, oppure il rumore di una frenata brusca o l'infrangersi di vetri, viene nettamente percepita anche se di livello comparabile o inferiore a quello del Rumore di Fondo<sup>17</sup>.

Il criterio di equivalenza energetica, fissato come soglia notturna del Criterio Differenziale, di cui all'Art.4 del D.P.C.M. 14/11/1997, è dunque frutto della necessità tecnica di rilevare i livelli di entrambe le grandezze d'interesse (Rumore Ambientale e Residuo), altrimenti ben ardua impresa<sup>18</sup>.

### Il caso specifico in esame

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Al termine di una lunga ed impegnativa serata, le bobine mobili degli altoparlanti possono raggiungere temperature anche superiori ai 250° C, alle quali la resistenza in corrente continua dell'avvolgimento di rame si eleva fino a raddoppiare. Questo comporta una rilevabile perdita di rendimento (- 6 dB), che è attualmente oggetto di grande attenzione progettuale da parte dei fabbricanti di trasduttori più all'avanguardia.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Nei paesi è tipico riscontrare valori di R. Residuo anche largamente inferiori a 30 dB"A" Leq.,a finestre aperte.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Anzi, quello del <u>Rumore di Fondo</u>, inteso come LAF-95 (Livello Fast, pesato "A", ecceduto per il 95% del tempo).

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Che sono anche il livello minimo tipicamente rilevabile affidabilmente, con un fonometro di Classe 1.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Gli esperti di audio professionale sanno bene che è comunque possibile ottenere discreti livelli di intellegibilità del parlato, anche in condizioni in cui il rapporto segnale-disturbo assume valori negativi.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> E' tuttavia possibile rilevare il valore di una particolare immissione, anche se inferiore al livello di Rumore Residuo, per esempio estrapolandolo da una serie di rilievi a distanza ravvicinata dalla sorgente.

Dopo questa lunga premessa generale, è quanto mai utile esaminare in dettaglio un caso specifico, scelto per una sua rara particolarità: la concorrenza, in una stessa area urbana, sia di manifestazioni musicali estive all'aperto che dell'analogo invernale, al riparo di un tendone circense. Il tipo di impianto audio utilizzato è, specie negli ultimi anni, esattamente lo stesso nei due casi.

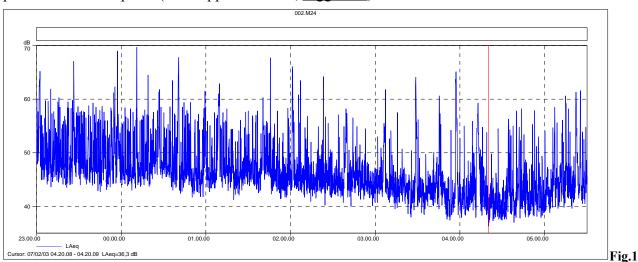
Altre e determinanti particolarità del caso sono la disponibilità di un numero di Valutazioni d'Impatto Acustico, redatte, anno dopo anno, da vari *tecnici competenti*, nelle quali sono puntualmente elencati gli apparati audio installati presso la manifestazione principale, sia in estate che in inverno, nonché una vasta mole di rilevamenti fonometrici eseguiti presso le abitazioni in varia misura interessate alle immissioni acustiche.

L'occorrenza nell'area di alcune manifestazioni minori complica solo leggermente il contesto tecnico. Diversamente da quello che accade per le discoteche del litorale, dove le potenze installate sono del tutto analoghe per i diversi impianti che immettono verso la medesima area abitata, qui esiste una sostanziale differenza nelle potenzialità degli impianti audio installati presso la manifestazione maggiore, rispetto a quelle, pure non trascurabili, presenti presso le altre. I valori rilevati, a distanze di circa mezzo chilometro, differiscono di almeno <u>6 deciBel</u> e dunque comportano un "errore" inferiore a 1,5 deciBel nella stima complessiva dei *coefficienti di attenuazione in eccesso*.

### Il contesto urbano: il normale livello di Rumore Residuo

Anche il livello di Rumore Residuo influenza, per sua definizione, la precisione con cui si può verificare la corrispondenza tra le potenzialità degli impianti audio installati ed i livelli effettivi d'immissione verso le abitazioni esposte. Anche qui, se il livello di Rumore Residuo è inferiore di almeno 6 deciBel rispetto al valore di Rumore Ambientale, allora il trascurarne il contributo determina un "errore" pari ad ancora 1,5 deciBel o meno<sup>19</sup>.

Per quanto riguarda il contributo del Rumore Residuo, fortunatamente, esiste la duplice opportunità di concentrare l'attenzione sui rilievi eseguiti in orario particolarmente tardo e/o presso abitazioni normalmente poco esposte al rumore del traffico urbano. Questo è stato fatto nel caso, non senza verificare comunque i livelli di Rumore Residuo ed Ambientale presso abitazioni normalmente o anche particolarmente esposte (vedi Appendice "A", Figg.4 e 6).

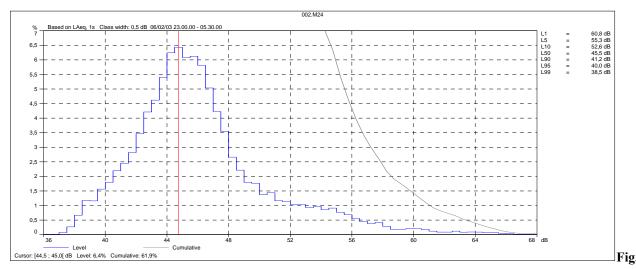


Il grafico di <u>Fig.1</u> mostra la sequenza di campionamenti di **Rumore Residuo**, ponderato "A", rilevati ad intervalli di un secondo e per un'intera notte, a finestra aperta, all'interno di un'abitazione al VI piano, la stessa presso la quale saranno anche rilevati la maggior parte dei livelli d'immissione riportati

<sup>19</sup> Di per sé non vi è alcuna necessità di trascurare sia il contributo delle immissioni provenienti da altri impianti, sia il contributo aggiuntivo del Rumore Residuo: basta sottrarne i valori energetici (lineari, non in deciBel...). Il vero problema è quello di definire un valore per queste due grandezze –specie per il Rumore Residuo- che sono soggette a variazioni sia in funzione della capienza di pubblico (per le manifestazioni) che del semplice orario di misura (per il R. Residuo).

<sup>7</sup> di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

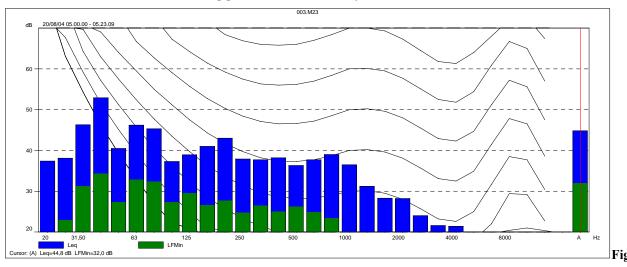
nelle **Appendici** "A" e "B". Da notare l'andamento gradualmente decrescente, con un minimo intorno alle 4-4 e 30' a.m.



Il grafico di <u>Fig.2</u> mostra il risultato dell'analisi statistica dei 23.000 campionamenti di LAEq. (1 s.) di <u>Fig.1</u>: l'unica e ben individuabile popolazione statistica di dati, centrata sul valore tipico di **45 dB"A" Leq**. è quanto mai indicativa del più probabile livello di <u>Rumore Residuo</u> rilevabile ai piani alti, a finestra aperta, un metro all'interno. **Il livello di Rumore di Fondo (L-95) è di 40 dB"A".** 

Il valore di Rumore Residuo ottenuto per "*integrazione continua*", per l'intero rilevamento, è di poco superiore, ma <u>non è e non può essere considerato corretto</u>, ai sensi di quanto richiesto dal D.M. 16/03/1998 (Allegato "A", comma 12), in quanto esso include, necessariamente, il contributo di un numero di tutti gli "*eventi sonori atipici*" verificatisi nel corso dell'intera notte.

In linea di principio, rilevando per periodi brevi, è pur possibile selezionare un intervallo in cui non si siano verificati *eventi atipici*. La brevità del rilievo, tuttavia, contraddice poi, palesemente, i requisiti dello stesso D.M. 16/03/1998 (Allegato "A", comma 5), secondo cui il tempo di osservazione va scelto in modo che "*la misura sia rappresentativa del fenomeno*"<sup>20</sup>.

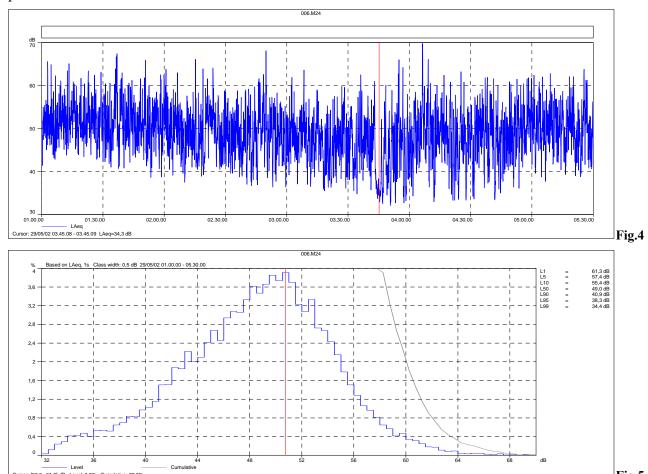


Il grafico di <u>Fig.3</u> mostra l'andamento spettrale del Rumore Residuo rilevato al VI piano, a finestre aperte, all'interno di un'abitazione non in vista di direttrici di traffico intenso. I livelli minimi per banda di un terzo d'ottava (Fast) oscillano tra i 26 ed i 32 deciBel da 31 ad 800 Hz. I Livelli Equivalenti per ogni banda di un terzo d'ottava sono tipicamente dell'ordine di 40 deciBel, da 20 Hz a circa 1000 Hz., frequenza oltre la quale decrescono gradualmente, a conferma del fatto che si tratta di traffico veicolare

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> Per quanto riguarda il rumore del traffico veicolare, costituente primaria del Rumore Residuo, lo stesso D.M. 16/03/98 prescrive tempi di misura dell'ordine di una settimana... (nell'Allegato "C", comma 2).

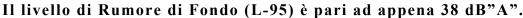
<sup>8</sup> di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

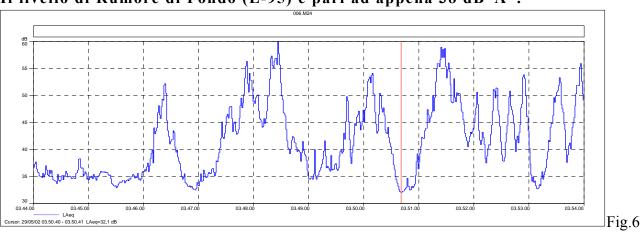
prevalentemente distante.



Il grafico <u>Fig.4</u> mostra la sequenza di campionamenti di **Rumore Residu**o, ponderato "A", rilevati ad intervalli di un secondo e per un'intera notte in un'abitazione al III piano, a finestra aperta, un metro all'interno. Quest'abitazione<sup>21</sup> affaccia su una piazza, che è attraversata sino all'alba dal traffico dei veicoli degli avventori alle manifestazioni ed ai locali della zona.

Il grafico di <u>Fig.5</u> mostra il risultato dell'analisi statistica dei campionamenti di LAEq. (1 s.) di cui al grafico precedente: la popolazione di dati centrata sul valore tipico di **51 dB"A" Leq**. è indicativa del più probabile livello di Rumore Residuo.





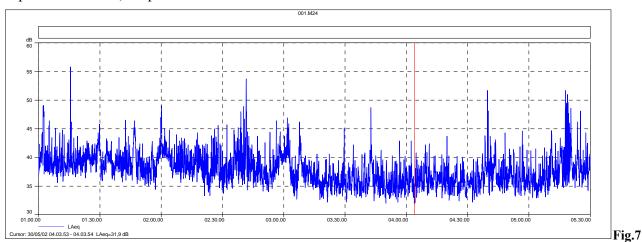
Il grafico di <u>Fig.6</u> mostra un ingrandimento tratto dalla serie di campionamenti di Rumore Residuo di cui alle <u>Figg.4 e 5</u>, rilevati al III piano, a finestra aperta, presso un'abitazione assai esposta al traffico

9 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

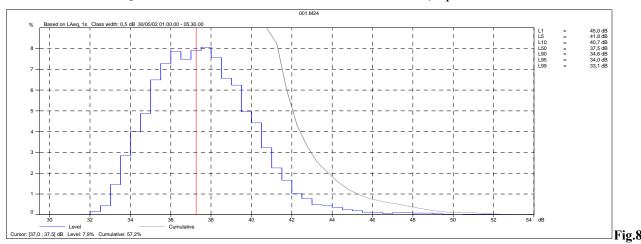
<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> La stessa presso cui sono stati eseguiti i rilievi riportati nelle Figg. 4 e 7 dell'Appendice "A".

notturno della zona. Il valore di Leq. per integrazione continua è di <u>47 dB"A"</u>, ma è ben evidente che il vero livello di riferimento è quello del Rumore di Fondo, cioè **38 dB"A"** o meno.

Ma ancora più silenziose, sebbene situate in pieno centro urbano, sono le abitazioni non direttamente esposte al traffico, in quanto affacciate su cortili interni.



Il grafico di <u>Fig.7</u> mostra la sequenza di campionamenti di **Rumore Residu**o, ponderato "A", rilevati ad intervalli di un secondo e per un'intera notte in un'abitazione all'VIII piano, a finestra aperta, un metro all'interno. Quest'abitazione<sup>22</sup> affaccia su un cortile interno, riparato dal traffico.



Il grafico di **Fig.8** mostra il risultato dell'analisi statistica dei campionamenti di LAEq. (1 s.) di cui al grafico precedente: la popolazione di dati centrata sul valore tipico di 37 dB"A" Leq. è indicativa del più probabile livello di Rumore Residuo.

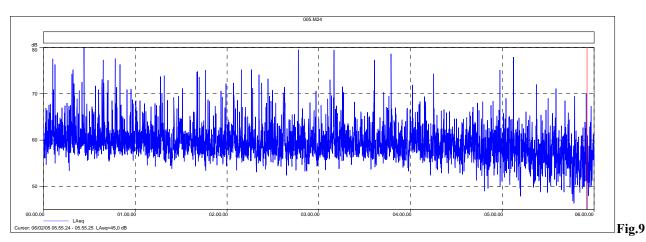
### Il livello di Rumore di Fondo (L-95) è pari ad appena 34 dB"A".

Abitazioni come queste sono facilmente esposte a livelli d'immissione in media di 43 dB"A" Leq., con punte di 46-48 dB"A" Leq., che evidentemente comportano la nitida percezione delle immissioni e la loro conseguente intollerabilità. La chiusura delle finestre lascia perfettamente inalterato il rapporto tra i livelli di Rumore Ambientale e di Rumore Residuo<sup>23</sup>.

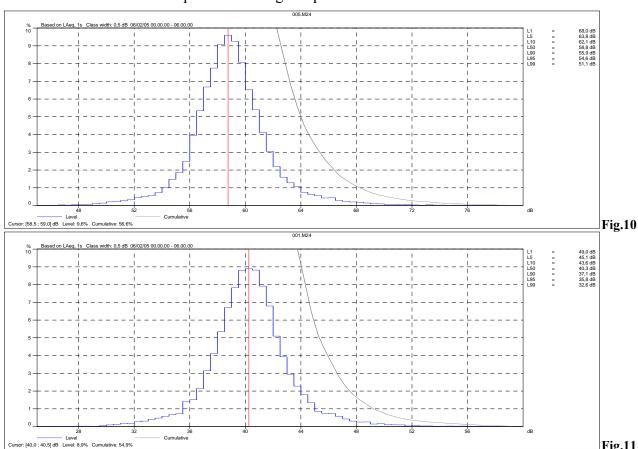
Il punto merita l'approfondimento consistente nell'esaminare il risultato di un rilevamento effettivo, operato avvalendosi di due fonometri perfettamente sincronizzati, attivati automaticamente e collocati l'uno all'esterno dell'abitazione, ad un metro dalla facciata, l'altro all'interno, ad un metro dalla <u>finestra chiusa</u>. Il tipo di infisso è moderno e con doppi vetri, sebbene di media efficacia. I rilievi sono stati eseguiti con le manifestazioni musicali attive.

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> La stessa presso cui sono stati eseguiti i rilievi riportati nelle Figg. 10, 13 e 18 dell'Appendice "A".

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Per la precisione, accade pressoché sempre che il rumore di fondo del traffico veicolare sia attenuato leggermente di più rispetto alle basse frequenze delle percussioni della musica da discoteca, che quindi sono meglio distinguibili.



Il grafico di <u>Fig.9</u> mostra la serie di campionamenti di LAEq. rilevati ogni secondo dal fonometro situato all'esterno dell'abitazione, al III piano, in vista di una piazza con intenso traffico veicolare notturno. Osservando con molta attenzione, si nota che prima delle 4 a.m. il livello non presenta alcuna, ancorché brevissima, "pausa" in cui siano riscontrabili valori inferiori ai 55 dB"A" Leq.: questo appunto è il livello delle immissioni provenienti dagli impianti audio.



I due grafici di <u>Fig.10 e Fig.11</u> mostrano il risultato dell'analisi statistica dei campionamenti di LAEq. rilevati contemporaneamente dai due fonometri sincronizzati, l'uno all'esterno (Fig.10), l'altro all'interno (Fig.11, <u>a finestra chiusa</u>). Il grafico di <u>Fig.10</u>, mostra una popolazione di dati assai compatta, centrata sul valore medio di <u>59 dB"A" Leq</u>. Il grafico di <u>Fig.11</u>, relativo ai dati rilevati dal fonometro posto all'interno, <u>a finestra chiusa</u>, mostra una popolazione di dati concentrata sul valore medio di <u>40</u> <u>dB"A" Leq</u>.

Dunque il *potenziale di fonoisolamento* del tipo di infissi adottati (con doppi vetri) è pari ad esattamente 59 - 40 = 19 deciBel, valore da considerare assai elevato.

Ora occorre fare attenzione ad un aspetto facilmente trascurabile: il livello di Rumore Residuo nelle

stanze della stessa abitazione non in facciata è facilmente dell'ordine di 20-23 dB"A" Leq. Se ne deduce che, anche a finestre chiuse e con doppi vetri, la concomitanza delle immissioni musicali e del traffico veicolare nell'area (connesso alla presenza di manifestazioni e locali) determina comunque un superamento di circa 20 deciBel del Criterio Differenziale...

Un'accurata osservazione dell'andamento temporale dei grafici a corredo dell'**Appendice "A"** permetterà di distinguere gli orari in cui predominano le immissioni musicali (dalla mezzanotte alle 4 a.m.), da quelli in cui è il solo traffico veicolare a causare le immissioni (dopo le 4 a.m.).

Il successivo confronto, tra i risultati di rilevamenti fonometrici effettuati all'esterno, ad un metro dalla facciata, ed all'interno, ma a finestra aperta, sarà proposto più avanti, dopo aver esaminato in dettaglio le potenzialità degli impianti audio ed i corrispondenti livelli d'immissione previsti alle abitazioni in vista diretta e non.

La manifestazione estiva offre spunti di grande interesse, per i numerosi tentativi di "autoregolamentare" i livelli d'ascolto, a seguito delle proteste e delle denunce della popolazione.

### Lo standard ISO 9613-2 sul campo

La trattazione rigorosa del nostro caso, secondo le indicazioni della norma **ISO 9613-2**, è resa assai impervia dalla generale indisponibilità di un dato di base indispensabile, cioè **il fattore di direttività di emissione** <u>nella direzione dei recettori...</u> I diffusori professionali sono infatti specificati per la sola direttività in asse, cioè nella direzione degli ascoltatori in pista.

Ancora più problematico è individuare, come richiesto dalla norma ISO 9613-2, il livello effettivo di potenza sonora emesso da ciascuna sorgente e per ogni banda di frequenza di un'ottava: qui è in agguato uno degli errori più frequenti, che è quello di ritenere che la potenza sonora emessa sia proporzionale al solo contenuto energetico registrato, e riprodotto linearmente dai diffusori. I diffusori professionali sono in effetti caratterizzati da una risposta in frequenza lineare (o comunque equalizzabile facilmente fino ad esserlo), ma questa risposta è riferita alla direzione di propagazione in asse ed all'angolo solido di copertura garantito come minimo, centrato sull'asse.

A parità di livello sonoro in asse (o nell'angolo di copertura), un diffusore potrà emettere un'elevata potenza sonora (omnidirezionalmente), oppure una potenza acustica molto minore, ma convogliata soltanto nell'angolo solido di copertura minima. Per ogni diffusore professionale esiste tutta l'infinita gamma di equilibri intermedi tra la dispersione omnidirezionale delle basse frequenze e quella, inevitabilmente comunque piuttosto direttiva, delle alte frequenze<sup>24</sup>.

Dunque l'applicazione rigorosa della norma ISO 9613-2 presenta difficoltà risolvibili solo a condizione di disporre del tempo (e degli spazi) necessari per specificare tutti i diversi tipi di diffusori impiegati, valutandone la potenza acustica emessa e la direttività in almeno due diverse direzioni, cioè verso la pista da ballo e verso le abitazioni (ma sarebbe necessario tener conto anche della presenza di pareti riflettenti...). Impensabile. Ed infatti è pratica pressoché sconosciuta.

Una prima semplificazione utile è quella di assumere che non vi sia necessità di alcun fattore di correzione per la direttività: l'errore è veramente minimo, in quanto tipicamente il 66 per cento dell'energia emessa da un diffusore per discoteca è concentrata nelle tre ottave a 63-125-250 Hz, alle quali la pratica totalità dei diffusori professionali è perfettamente omnidirezionale.

Resta da individuare il valore di potenza sonora emessa, calcolabile per ogni ottava addizionando in sequenza il valore di rendimento di conversione del diffusore, la potenza di amplificazione disponibile (o utilizzata), più un numero di fattori di conversione, che assumeremo fissi nel caso particolare di un diffusore omnidirezionale; tutti insieme, questi fattori concorrono a determinare un valore di pressione sonora di 109 deciBel per 1 Watt acustico irradiato omnidirezionalmente, ovvero 103 deciBel (lineari) per un diffusore pilotato con un Watt elettrico e con un rendimento del 25 % (che è pressoché il

12 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Non bisogna dimenticare che, per motivi di efficienza e potenza, i diffusori professionali impiegano pressoché sempre trasduttori a tromba per le alte frequenze. La direttività è un fattore inevitabile nelle trombe, perlomeno alle alte frequenze, le cui lunghezze d'onda siano inferiori al diametro della bocca.

massimo fisicamente realizzabile...).

A complicare la situazione basta osservare i dati pubblicati su un qualsiasi catalogo di diffusori professionali: ve ne è ben più d'uno che è specificato per un rendimento superiore a 103 dB/1W/1m. anche in gamma bassa, ma con un rendimento di conversione che di certo non supera il 25%... A parte i casi di semplici errori, come quello di specificare il diffusore in campo emisferico, vi sono anche casi di "addomesticamento" dei dati a fini commerciali, in cui è assai difficile districarsi. Il caso più frequente è quello in cui la risposta del diffusore sia gradualmente calante verso le basse frequenze, mentre il rendimento è specificato come "media" su tutta la gamma.

Ma la difficoltà ancora maggiore insita nell'applicazione rigorosa dello standard ISO 9613-2 risiede nella necessità di allocare per ogni ottava una quota della potenza disponibile dagli amplificatori; questo sarebbe semplice se vi fossero un amplificatore ed un trasduttore specifici per ogni ottava, ma in pratica questo non avviene mai, ed uno stesso trasduttore può (e deve) riprodurre più ottave, essendo amplificato da un solo amplificatore (negli impianti multiamplificati), oppure condividendo con altri trasduttori la potenza di un singolo amplificatore<sup>25</sup>.

Un diffusore che riproduca, per esempio, le tre ottave basse (63-125-250 Hz), può avere una risposta (ed un rendimento) assai **diversi** nelle tre bande, ed un singolo amplificatore può distribuire in proporzione assai diversa la sua potenza, rispetto a quanto accadrebbe qualora esso fosse collegato ad un diffusore più lineare.

Eppure tutta questa complessità contrasta apertamente con la grande uniformità dei risultati, sia dei rilievi fonometrici eseguiti presso le abitazioni, che di quelli eseguibili ponendo il fonometro al centro di una pista da ballo...

Dunque una semplificazione è possibile: esattamente quella proposta nella Linea Guida n.5.

In pratica ricaveremo dalla Valutazione d'Impatto Acustico l'elenco dei diffusori e degli amplificatori in forza ad ogni pista da ballo; con un poco di esperienza è facile assegnare ogni amplificatore allo specifico diffusore, di cui andrà rintracciato il dato pubblicato di rendimento, espresso in deciBel (lineari) per un Watt ad un metro di distanza, in asse. Nel caso in cui il valore di rendimento sia dubbio, esso potrà essere facilmente verificato sul campo, pilotando il diffusore con rumore rosa ad una potenza nota<sup>26</sup> e rilevando (in scala lineare, senza cioè la ponderazione "A") i livelli ad almeno due-tre distanze (p.es. a 1-2-4 metri) ed in asse, ed estrapolando i valori alla distanza di riferimento di 1 metro (ed alla potenza di riferimento di 1 Watt).

Gli amplificatori sono specificati per la potenza massima emessa con toni sinusoidali puri: la potenza di Picco Lineare massima è quindi pari ad esattamente il doppio di questo valore. Attenzione all'impedenza del diffusore... su un carico di 4 ohm (oppure con due diffusori da 8 ohm collegati in parallelo) gli amplificatori erogano infatti potenze circa doppie di quelle che altrimenti erogano, per ogni canale, sul carico tipico di 8 ohm. Molti amplificatori moderni sono specificati per operare anche su carichi di appena 2 ohm, ma questa è una pratica che solitamente conduce a minori prestazioni all'ascolto, con un incremento non proporzionale della potenza disponibile.

Esprimendo la potenza di picco di un ampli in "deciBel al di sopra del valore di riferimento di 1 Watt", si ha subito un dato prezioso per le nostre previsioni. Questo valore, sommato al dato relativo al rendimento in dB/1W/1m. del diffusore, ci darà il livello di Picco Lineare massimo atteso, riferito sempre alla distanza di 1 metro. Questo è <u>un dato facilmente verificabile sul campo</u>: basta portare l'amplificatore in saturazione anche per poche frazioni di secondo, per leggere (come LL-Pk-max) un valore sempre vicinissimo a quello calcolato. Una semplificazione è probabilmente assai utile, se **conduce a risultati così precisi e ripetibili**.

Questi livelli di picco possono essere addizionati (dopo averli convertiti da deciBel a livelli energetici) per ogni insieme ampli-diffusore, concorrendo ad un risultato finale, che rappresenta bene la somma

\_

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> E' questo il caso più frequente, in cui all'uscita dell'amplificatore è collegato un "filtro di crossover passivo", che assegna ad ogni trasduttore la banda di frequenze che esso riproduce meglio ed affidabilmente.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Per essere rigorosi: ad una <u>tensione nota</u>, alla quale corrisponderà una certa potenza nominale (Vedi Nota n.3).

delle potenze (acustiche) presenti presso la manifestazione.

Se il numero dei diffusori è elevato, ve ne sarà tipicamente di orientati in tutte le possibili direzioni, tenendo anche presente che in gamma bassa la pratica totalità dei diffusori è omnidirezionale.

## Dunque i primi due termini dello standard ISO 9613-2 sono stati conseguiti, sebbene congiunti tra loro.

Il termine più importante, cioè quello che rappresenta l'attenuazione per divergenza dei fronti d'onda, resta perfettamente utile ed è di ben facile calcolo, disponendo in partenza di un valore di pressione sonora riferito ad una distanza standard di 1 metro<sup>27</sup>.

I termini aggiuntivi, che rappresentano le attenuazioni (o gli incrementi) introdotti dalle riflessioni sul terreno o su edifici, dall'interposizione di barriere e fogliame, ecc., saranno il più delle volte di entità minima o di segno opposto e tendenti ad elidersi tra loro. Lo vedremo presto in pratica.

Quanto infine alla distribuzione spettrale dell'energia ed alla ponderazione "A" alla fine dei calcoli, il criterio più sicuro è quello di ipotizzare una differenza costante tra i livelli di Picco Lineare e quelli di LAEq. (p.es. di 23 dB), avendo l'accortezza di <u>verificare</u> con rilevamenti fonometrici che questo rapporto tenda a rimanere stabile, in pista come alle abitazioni, come accade per le abitazioni esposte direttamente alle immissioni provenienti da impianti audio all'aperto. I calcoli previsionali potranno essere effettuati più facilmente e con maggiore precisione in termini di livelli di Picco Lineare (cioè ipotizzando che ogni amplificatore possa erogare la sua massima potenza di picco indipendentemente dalla frequenza), trasponendoli solo al termine in Livelli Equivalenti pesati "A".

### La manifestazione estiva, nel 2001

L'allestimento della manifestazione principale presente nell'area per il periodo estivo 2001 ha visto l'area suddivisa in 4 aree da ballo, di cui due di maggiore superficie (150m²) e due di circa la metà.

La configurazione di impianto audio scelta per tutte le piste è stata quella tipica, con i diffusori sospesi (ma non molto in alto) ai vertici delle piste da ballo: naturalmente le piste maggiori erano sonorizzate con impianti assai più potenti.

La prima area era sonorizzata da un impianto costituito da 4 diffusori professionali, il cui rendimento in asse (dichiarato) era di ben 102 dB/1W/1m. Gli amplificatori erano due, da 2000 Watt<sub>RMS</sub> ciascuno. Un semplice calcolo permette di valutare la potenzialità di picco di quest'impianto, per il momento dedotta, per comodità di calcolo, alla distanza di riferimento di 1m. Due ampli stereo da 2000 Watt RMS possono erogare 8000 Watt di Picco Lineare, cioè **39 deciBel** al di sopra del livello di riferimento di 1 Watt (per il quale è specificato il rendimento dei diffusori).

Se aggiungiamo questi 39 deciBel ai **102 dB di rendimento** dei diffusori (in asse), otterremo come risultato appunto il potenziale massimo dell'impianto, esattamente **141 deciBel** Lineari, a un metro.

Il tipico montaggio dei diffusori ai vertici di una pista ci consentirà di ipotizzare che, considerati nel complesso, essi costituiscano una sorgente omnidirezionale sul piano orizzontale, quello sul quale sono (all'incirca) situate sia le abitazioni, sia le pareti riflettenti, potenziale causa della formazione di sorgenti speculari<sup>28</sup>.

La seconda maggiore pista da ballo era sonorizzata da un impianto costituito da 6 diffusori professionali,

<sup>28</sup> Qui occorrerebbe aprire una lunga e complessa parentesi, distinguendo il comportamento dell'impianto alle basse ad alle alte frequenze. In gamma bassa, con i diffusori che emettono omnidirezionalmente, ma sono distanziati proprio dell'ordine di distanze che causano i maggiori effetti di interazione di fase, è del tutto ragionevole assegnare a queste interazioni un fattore complessivo lievemente negativo, sia per i livelli sonori in pista che alle abitazioni.

In gamma alta, ove i diffusori emettono abbastanza direzionalmente, alle abitazioni pervengono, <u>ma prive di effetti di interazioni</u>, le emissioni di almeno un diffusore, ed attenuate quelle degli altri (che però possono essere riflesse da edifici e/o scenografie circostanti). In pista, alle alte frequenze, gli effetti di interazione di fase saranno tuttavia elevati. nel complesso. Dunque, <u>una serie di fattori che tendono ad elidersi reciprocamente</u>, come confermeranno i risultati.

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> Molti tecnici competenti cadono nell'errore di mantenere il coefficiente di correzione di <u>11 dB</u> anche quando esso è del tutto ingiustificato, cioè quando si parte <u>non</u> da un valore di potenza sonora, ma già direttamente dal valore di pressione sonora in deciBel.

con un rendimento in asse di 100 dB/1W/1m, più 4 subwoofers da 98 dB/1W/1m. Gli amplificatori erano tre, stereo, da 1200 Watt RMS ciascuno. In totale calcoleremo un potenziale di picco di circa **138 deciBel** Lineari alla distanza di puro riferimento di 1 metro.

La terza pista era sonorizzata con 4 diffusori da 98 dB/1W/1m ed un ampli da 1300 Watt RMS, dunque con un potenziale di circa 34 + 98 = 132 dB Lineari ad 1 metro.

La quarta pista era sonorizzata con 2 diffusori da 100 dB/1W/1m ed un ampli da 800 Watt RMS, ancora con un potenziale di circa 32 + 100 = 132 dB Lineari ad 1 metro.

Per addizionare i livelli energetici dei quattro impianti, espressi in deciBel, occorre convertirli dapprima in potenze lineari (dividendo il valore in dB per 10 ed elevando 10 a questo numero), poi si possono sommare in 4 valori, riconvertendo quindi il risultato in deciBel semplicemente moltiplicandone per 10 il Logaritmo in base 10. In totale 141 + 138 + 132 + 132 = 143,4 deciBel.

Questo risultato costituisce, naturalmente, una pura astrazione: è fisicamente impossibile collocare alla distanza di 1 metro da un microfono di misura 20 diffusori professionali, tutt'altro che piccoli. Il dato complessivo è tuttavia utile per proseguire con grande semplicità il calcolo previsionale.

143 deciBel lineari di picco corrispondono ad esattamente 120 dB"A" Leq. se si ipotizza, con grande verosimiglianza e <u>facilità di verifica</u>, che il rapporto tra queste due grandezze sia tipicamente di 23 deciBel nelle incisioni musicali programmate più di frequente<sup>29</sup>; ci riferiamo, ancora, alla distanza di riferimento di un metro.

A questo punto diviene assai facile calcolare il livello sonoro sulle varie piste da ballo, sonorizzate da un totale di 20 diffusori, il cui numero, convertito in dB, è pari a  $10 \times \text{Log}_{10}$  (20) = 13 deciBel. Dunque, come media, ciascuno dei 20 diffusori sarà operato ad un livello sonoro pari a 120 - 13 = 107 dB"A" Leq. alla distanza di riferimento di un metro.

Dai diffusori agli ascoltatori non sono presenti ostacoli, per cui l'unica attenuazione da calcolare sarà quella per divergenza: per esempio a 4 metri avremo  $107 - (20 \times \text{Log}_{10} \ (4)) = 95 \text{ dB"A" Leq}$ . Questo è esattamente il valore certificato dal *Tecnico competente* sulla Valutazione d'Impatto Acustico depositata per la stagione estiva 2001, dalle cui piantine allegate si evince anche che una distanza media di 4 metri tra i diffusori e gli ascoltatori è assolutamente tipica.

### La previsione dei livelli d'immissione alle abitazioni

Lo standard **ISO 9613-2** consente di prevedere i livelli in facciata alle abitazioni, ma per la normativa italiana<sup>30</sup> occorre effettuare i rilevamenti all'interno delle abitazioni, quando s'intende verificare il rispetto o meno del Criterio Differenziale di cui all'Art.4 del D.P.C.M. 14/11/1997 e/o la *normale tollerabilità* (o meno) delle immissioni, nelle vertenze ex Art.844 C.C.

Poiché i rilevamenti i cui risultati sono mostrati e commentati nelle Appendici "A" e "B" sono stati eseguiti tutti nell'osservanza di queste norme, sarà utile individuare subito il fattore di correzione.

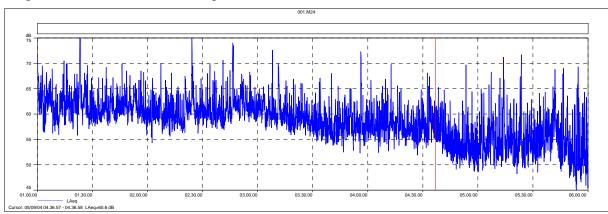
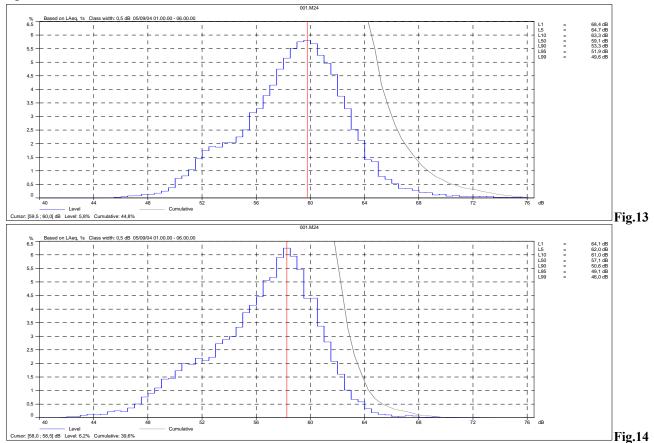


Fig.12

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Stiamo esaminando le previsioni per il 2001, quando i programmi di "massimizzazione" erano utilizzati ancora episodicamente, sui brani più recenti (e dunque per una quota ancora marginale della programmazione in discoteca). <sup>30</sup> E specificamente per il D.M. 16/03/1998, Allegato "A", comma 5.

Il grafico di **Fig.12** mostra la sequenza di campionamenti di LAEq. rilevati ogni secondo da un fonometro situato ad **un metro all'esterno** di un'abitazione al VI piano, a 400 metri di distanza ed in vista diretta della manifestazione estiva, in occasione di una riedizione successiva (nel 2004). Un secondo fonometro, sincronizzato rilevava in perfetta contemporaneità i livelli all'interno dell'abitazione, ad un metro dalla finestra aperta, cioè nelle condizioni di misura normalmente specificate dal D.M. 16/03/98 (All."A", comma 5). L'ambiente oggetto dei rilievi era una normale camera da letto, di medie dimensioni e con arredi relativamente assorbenti, da considerare assolutamente tipica.



I grafici di <u>Fig.13 e Fig.14</u> mostrano il risultato dell'analisi statistica delle due sequenze di campionamenti di LAEq. rilevati ogni secondo dai due fonometri. Quella di <u>Fig.13</u> è relativa ai dati raccolti dal fonometro in facciata (ad 1 m.), mentre quella di <u>Fig.14</u> è riferita ai dati rilevati dal fonometro posto all'interno dell'abitazione, a finestra aperta. Le due popolazioni statistiche hanno andamenti in pratica sovrapponibili, se non per la leggerissima differenza nel percentile di minore frequenza<sup>31</sup>. Interessantissimo il risultato generale, che vede una differenza assolutamente stabile e compresa tra <u>2 e 2,5 deciBel</u>. Questo sarà dunque il valore del *coefficiente di attenuazione aggiuntivo* che utilizzeremo, affidabilmente, in tutti i casi in cui la finestra sarà orientata esattamente nella direzione di provenienza delle immissioni<sup>32</sup>, come in questo caso.

Ritorniamo ora alla manifestazione estiva ed al suo potenziale complessivo di emissione di 143 deciBel Lineari di Picco, equivalenti a 120 dB"A" Leq. alla distanza di riferimento di 1 metro.

Non tutti i diffusori puntano in direzione delle abitazioni. Non sbaglieremo ipotizzando che almeno uno

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> Si tratta comunque degli "eventi sonori atipici", il cui contributo va eliminato, secondo quanto richiesto dal D.M. 16/03/98 all'Allegato "A", commi 11 e 12. Intuitivamente si tratta delle componenti ad alta frequenza dei passaggi veicolari nella via sottostante, che pervengono maggiormente attenuate al fonometro posto all'interno.

Nella <u>Linea Guida n.5</u> siamo pervenuti, nel medesimo modo, a determinare in <u>7 deciBel</u> il fattore di correzione da applicare nel caso di finestre orientate a lato rispetto alla direzione di provenienza delle immissioni.

I **5 deciBel** di differenza sono perfettamente coincidenti con le indicazioni contenute in alcuni autorevoli testi, come "*Noise* and Vibration Control Engineering" di L. Beranek e I. Ver (Wiley, 1992), Pag.117.

su quattro lo sia, alle frequenze medie ed alte. In gamma bassa sappiamo che tutti i diffusori commerciali sono omnidirezionali, ma che la loro ubicazione a distanze diverse produce effetti di interazione di fase: tenteremo di assegnare un unico valore alla concomitanza di questi due effetti, individuandolo, in prima istanza, nella misura di 6 deciBel.  $120 - 6 = 114 \, dB$ "A" Leq. (ref.1m.).

L'abitazione presso cui sono stati eseguiti il maggior numero di rilievi, e che considereremo quale esempio, era situata a 400 metri di distanza, in linea di vista diretta: dunque, applicando la sola attenuazione per divergenza calcoleremo  $114 - (20 \times \text{Log}_{10} (400)) = 114 - 52 = 62 \text{ dB}$ "A" Leq. in facciata alle abitazioni e 62 - 2 = 60 dB"A" Leq. all'interno, a finestra aperta.

Siamo vicinissimi al valore effettivamente misurato, visibile nell'Appendice "A" in Fig. 2.

Siamo partiti dall'individuazione del potenziale **massimo** di emissione degli impianti audio ubicati presso la manifestazione, arrivando a prevedere il corrispondente livello **massimo** d'immissione all'interno di abitazioni in vista diretta, a 400 metri di distanza.

Ma che ne è dei coefficienti di attenuazione in eccesso previsti dallo standard ISO 9613-2?

Come previsto, alcuni di loro hanno entità minima, come quello per assorbimento atmosferico (che a queste distanze è dell'ordine di 1-2 dB), altri tendono ad elidersi a vicenda, come gli effetti della presenza di ostacoli e le riflessioni causate da edifici e scenografie, altri (come l'attenuazione da riflessione sul terreno), possono avere essi stessi valori positivi e negativi, che si elidono ancora una volta a vicenda se le aree interposte sono in parte riflettenti ed in parte assorbenti.

Occorre a questo punto riflettere sul fatto che l'accuratezza delle previsioni secondo lo standard ISO 9613-2 (± 3 deciBel) appare ampiamente rispettata anche senza dover ricorrere a questi complessi coefficienti di attenuazione in eccesso, e, soprattutto, evitando l'oneroso incomodo di operare i calcoli ottava per ottava, per ottenere solo alla fine un risultato potenzialmente esposto ad un numero di facili errori

Resta poi tutto da individuare l'intervallo di variabilità rispetto al tempo degli stessi valori di emissione delle sorgenti, cioè degli impianti audio, nel nostro caso. Qui risulterà preziosa la grande mole di dati disponibile per questa e per le edizioni successive della manifestazione estiva.

### La manifestazione estiva nel 2002

La stagione estiva 2002 ha visto importanti modifiche per gli impianti audio della manifestazione estiva: le aree in cui si balla si riducono a tre, ma una di queste è sonorizzata con un vero e proprio impianto da concerto.

In dettaglio, stando a quanto riportato nella Valutazione d'Impatto Acustico, l'impianto audio principale era costituito da 4 diffusori a tromba per la gamma media ed alta (con un rendimento in asse di 108 dB/1W/1m.), 4 diffusori a tromba per la gamma bassa (con un rendimento in asse di 107 dB/1W/1m.), 2 subwoofers da 105 dB/1W/1m., il tutto amplificato da due amplificatori da 2000 Watt RMS ed altri due da 4000 W RMS<sup>33</sup>. La potenzialità totale di questo impianto da concerto era di oltre **150 deciBel** Lineari di Picco alla distanza di riferimento di un metro.

La seconda pista da ballo era sonorizzata da un impianto costituito da 8 diffusori professionali, con un rendimento in asse di 98 dB/1W/1m, più 4 subwoofers da 98 dB/1W/1m.

Gli amplificatori erano tre, uno da 1300 Watt RMS e due da 2000 Watt RMS. In totale calcoleremo un potenziale di picco di circa **138 deciBel** Lineari alla distanza di puro riferimento di 1 metro.

La terza pista era sonorizzata con 2 diffusori da 100 dB/1W/1m ed un ampli da 1200 Watt RMS, dunque con un potenziale di circa 34 + 100 = 134 dB Lineari ad 1 metro.

In totale 150 + 138 + 134 = **150,4 dB Lineari di Picco**, alla distanza di puro riferimento di 1 metro.

Rispetto all'edizione 2001 della stessa manifestazione il potenziale degli impianti audio installati è

<sup>33</sup> Il collegamento più verosimile è quello che vedeva i due amplificatori da 2 KW utilizzati per la gamma media ed alta, con due diffusori in parallelo per ogni canale, mentre i due finali da 4 KW pilotavano uno i due sub (che sono a 4 ohm) e l'altro i 4 bassi, parallelati due per canale. In pratica 4 KW RMS per ciascuna delle tre sezioni di impianto.

aumentato di 7 deciBel, ma i diffusori dell'impianto da concerto (che sono i maggiori responsabili della maggiore potenza) hanno un controllo della direttività di emissione leggermente migliore di quello tipico dei diffusori convenzionali, utilizzati per le piste minori e per la passata edizione.

Esaminando con attenzione il <u>grafico di Fig.5 nell'Appendice "A"</u> non sarà difficile trovare la conferma sia delle maggiori potenzialità che del miglior controllo dell'emissione; i due effetti sembrano compensarsi quasi perfettamente: alle abitazioni a 400 metri di distanza pervengono ancora una volta anche **62-63 dB"A"** Leq., all'interno, a finestra aperta.

La stagione estiva 2002 registra qualche sporadico tentativo di contenere i livelli d'immissione verso l'abitato, da cui provengono da anni proteste e denunce: i risultati sono visibili in Appendice "A", **Fig.9** a/b, ma saranno oggetto di un migliore approfondimento in occasione della successiva edizione 2003, per la quale l'Appendice "A" contiene un numero assai maggiore di rilevamenti.

### La manifestazione estiva nel 2003 e nel 2004

Le stagioni estive 2003/4 condividono un allestimento comune ed assai particolare: i diffusori dell'impianto da concerto sono collocati praticamente ad altezza testa, con sezioni aggiuntive dello stesso tipo collocate a fondo della pista principale e come sorgente principale per la seconda grande pista da ballo. La superficie delle piste da ballo è pressoché raddoppiata, rispetto al 2001.

Le implicazioni di questa collocazione sono sconcertanti: gli ascoltatori che ballano davanti ai diffusori sono esposti a livelli continui che raggiungono i <u>118 dB"A" Leq.</u><sup>34</sup>, ai quali sono previste lesioni permanenti alle cellule del Corti dopo un'esposizione che di pochi minuti... Fortunatamente il fastidio di questi livelli favorisce un naturale allontanamento del pubblico, che evita anche l'assorbimento e la schermatura da parte di questo, altrimenti consistente.

Gli amplificatori di potenza sono di una nuova generazione, tutti in classe "D" e con potenze tipiche dell'ordine dei 4600 Watt RMS. Per la pista principale ne vengono utilizzati ben sei, di cui due per i diffusori situati a fondo pista, che hanno un rendimento di ben 107 dB/1W/1m. e sono a portata di mano del pubblico che accede alla pista. La potenzialità complessiva dell'impianto principale è aumentata a **152 deciBel** di Picco Lineare, alla distanza di riferimento di 1 metro.

La seconda grande pista da ballo annovera ancora due diffusori da concerto, da 107 dB/1W/1m., amplificati con due ampli da 4600 Watt RMS, più 4 coppie di diffusore e subwoofer di minore rendimento (101 dB/1W/1m.) e potenza (amplificati da tre ampli da 3000 Watt RMS ciascuno). Il potenziale complessivo, espresso ancora in deciBel di Picco Lineare, alla distanza di riferimento di 1 metro, è di ben **149 deciBel**.

Due piste "minori", con potenziali complessivi di 136 e 138 deciBel Lineari di Picco, sono da considerare praticamente trascurabili, ai fini del risultato finale e dei livelli d'immissione.

Sommando infatti le sole due piste principali si ha un potenziale di **152 + 149 = 153,8 dB**, contro 153,9 deciBel per il caso in cui si addizionino anche le energie delle due piste minori. Questo è il normale risultato dell'addizione di grandezze espresse in deciBel, i cui valori più alti hanno un peso preponderante. Rispetto all'edizione 2002 il potenziale d'immissione alle abitazioni è più che raddoppiato.

Le proteste e le denunce da parte della popolazione residente nell'area porteranno a più di un tentativo di "autoregolamentazione" dei livelli sonori, sempre seguito dalla defezione del pubblico della manifestazione e dal successivo veloce ripristino dei livelli operativi tradizionali, come è bene documentato nei grafici dell'Appendice "A".

Le potenzialità dell'impianto emergono tuttavia... si osservi bene il grafico di <u>Fig.15</u> (Appendice "A"), in cui sono raggiunti e superati livelli dell'ordine di **65-66 dB"A" Leq.** <u>all'interno</u> di un'abitazione a 400 metri di distanza, a finestra aperta.

L'installazione presso la manifestazione di amplificatori più potenti ha avuto un effetto paradossale ma

\_

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Effettivamente rilevati nel corso di sopralluoghi.

spiegabile: livelli sonori che per le edizioni precedenti potevano apparire soddisfacenti per il pubblico, divengono ora insufficienti, come testimonia l'evidente abbandono della manifestazione visibile nel grafico di Fig.12 (Appendice "A"). Il tutto si spiega facilmente con l'ipotesi che quei livelli fossero ottenuti, nelle passate edizioni, operando gli amplificatori in occasionale *clipping*, cioè in una condizione in cui si generano distorsioni facilmente avvertibili e che conferiscono alla percezione una connotazione aggressività, scambiata maggiore livello di spesso per Nelle edizioni più recenti, con ampli molto più potenti, l'insorgenza del clipping è stata facilmente evitata, con la conseguenza di privare gli ascoltatori di quella connotazione del suono che ne elevava il livello percepito, da cui l'insoddisfazione ed il calo di presenze, testimoniato dal livello di Rumore Residuo assolutamente inconsueto, a fine manifestazione...

In sintesi, è emerso ben evidente che sia del tutto possibile prevedere con inattesa precisione il livello d'immissione verso abitazioni situate anche a cospicua distanza da manifestazioni estive i cui allestimenti ed impianti audio possono anche variare negli anni, ma le cui potenzialità riflettono sostanzialmente le richieste del pubblico.

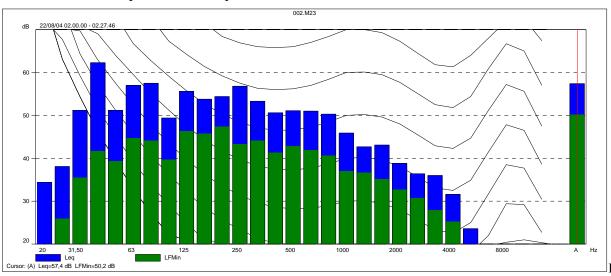
Queste ultime sono assai più precise di quanto sinora comunemente ritenuto, ed ogni tentativo di contenimento dei livelli d'immissione verso l'abitato circostante, che sia incardinato sulla sola riduzione dei livelli sonori presso la manifestazione, è destinato a sicuro insuccesso.

### Un approfondimento: lo spettro di emissione

Esiste un motivo preciso per cui tutti<sup>35</sup> i rilevamenti presentati e commentati in questa Linea Guida, incluse le Appendici "A" e "B", sono stati eseguiti con la "tecnica di campionamento" e dunque sono in forma di sequenze di valori di LAEq. (1s.), analizzati statisticamente: questa è infatti l'unica modalità di rilevamento che permette di confinare gli "eventi sonori atipici" o "eccezionali", come richiesto dal D.M.16/03/98 (All."A", commi 11/12), mediante criteri numerici (cioè la frequenza relativa) e non arbitrari, anche nel caso di rilievi protratti per ore o per una notte intera.

I rilevamenti della distribuzione spettrale potrebbero anch'essi essere eseguiti con eguale precisione e reiezione degli "eventi sonori atipici", ma questo richiederebbe apparati con elevatissima potenza di calcolo e di memoria<sup>36</sup>, ed il risultato necessiterebbe comunque di severi sforzi interpretativi.

Tuttavia il dato relativo alla distribuzione spettrale dell'energia immessa da impianti audio di grandi manifestazioni all'aperto è comunque interessante e meritevole di attenzione.



Il grafico di Fig.15 mostra per l'appunto il risultato di un simile rilevamento, effettuato in piena estate,

<sup>35</sup> Tranne Fig.3

<sup>&</sup>lt;sup>36</sup> Questi apparati di misura, che pure esistono, tendono a presentare un elevato consumo di energia, richiedendo di necessità l'alimentazione mediante rete, la quale –a sua volta- è spesso causa della presenza di componenti spurie a frequenza di rete. Queste sono un fattore assai critico quando si rilevano i livelli di Rumore Residuo a finestre chiuse.

con il fonometro ad un metro **all'interno** di un'abitazione al VI piano, a 400 metri di distanza dalla manifestazione oggetto di questa Linea Guida, **a finestra aperta**.

Il rilevamento è stato eseguito con filtri sequenziali, ma con un elevato numero di rilievi mediati (30), vale a dire per un intervallo complessivo di misura di oltre 27 minuti, il che ne rende assai significativo il risultato (sebbene esso potenzialmente includa gli "eventi sonori atipici" causati dal traffico nelle immediate vicinanze).

Il grafico mostra un andamento spettrale lineare dai 31 a circa 1000 Hz, frequenza oltre la quale il livello per banda di un terzo d'ottava cala gradualmente. E' indispensabile un confronto con il corrispondente rilievo di Rumore Residuo, già mostrato in <u>Fig.3</u>, che qui si ripete.

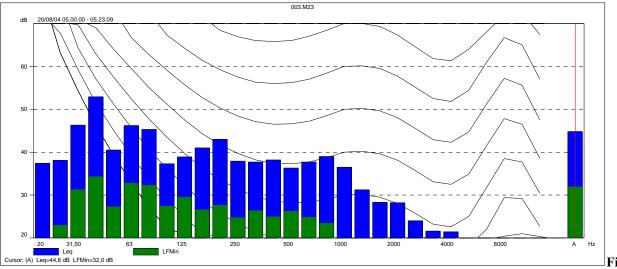


Fig.3

Come si può osservare, anche lo spettro del Rumore Residuo appare lineare da 31 a 1000 Hz., ma con livelli energetici mediamente 10 deciBel inferiori anche a frequenze assai elevate (4-5 KHz!).

Questo è un aspetto sorprendente e di grande interesse: dunque <u>le immissioni pervengono a distanze dell'ordine dei 400 metri ancora con uno spettro ricco di alte frequenze,</u> finanche a 5 KHz.

Due sono le implicazioni facilmente deducibili: da una parte si conferma l'assenza di ostacoli o barriere lungo il percorso diretto di propagazione, dai diffusori alle abitazioni; anche un ostacolo di minime proporzioni avrebbe comunque efficacia, a queste frequenze. D'altro canto, le frequenze comprese tra 700 e 3200 Hz. sono anche quelle che veicolano in massima parte l'articolazione delle consonanti, e dunque l'intellegibilità del parlato: questo spiega bene la facilità con cui, anche a 400 metri, si riescono a comprendere i commenti degli animatori. Un'immissione con elevato contenuto d'informazione è però causa di assai maggiore disturbo, proprio per questa sua caratteristica di allertare l'attenzione dei recettori.

<u>Ma l'implicazione più grave è un'altra ancora</u>: quando si tenta di ricondurre i livelli d'immissione entro i limiti di legge, per esempio mediante l'impiego di impianti audio direttivi anche alle basse frequenze, si trascura a volte l'importanza fondamentale delle frequenze medie ed alte.

Una riduzione del solo livello d'immissione alle frequenze maggiormente energetiche, cioè nella banda compresa tra 40-50 e 250 Hz, è comunque assai utile e ben percepita (ed apprezzata) dai recettori; la curva di ponderazione "A" dei fonometri ne contiene tuttavia l'effettivo riscontro ai rilevamenti. Resta il problema delle emissioni nella banda tipica della voce, che, abbiamo appena osservato dagli spettri, pervengono ad un livello oltre 10 deciBel superiore a quello del Rumore Residuo, in assenza di interventi specifici di contenimento. Ma un parlato a livelli dell'ordine di 50-60 dB, 10 dB sopra il Fondo, è assolutamente identico al **normale livello di conversazione** o di ascolto TV notturno. Di qui l'intollerabilità dell'immissione.

### La manifestazione invernale, dal 2002 al 2006

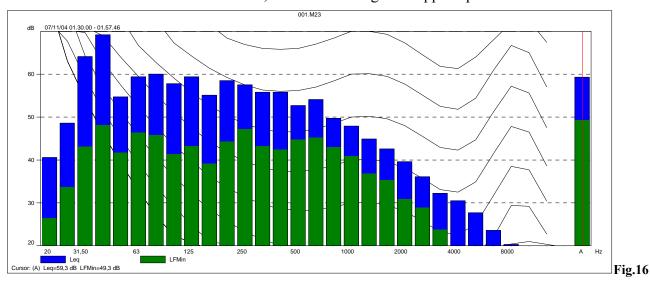
Uno dei possibili metodi di contenimento dei livelli d'immissione verso l'abitato causati da impianti

audio è quello di schermare le emissioni mediante strutture fonoisolanti di varia efficacia.

I risultati conseguibili mediante strutture rigide sono oggetto delle Linee Guida n.2 e n.7.

Qui di seguito è invece presentato e discusso il caso, assai particolare, di una **tensostruttura**, per la quale sono disponibili gli elenchi degli apparati d'amplificazione ed un cospicuo numero di rilevamenti fonometrici, effettuati alla distanza di 200 metri ed in linea di vista. Trattandosi della stessa posizione di misura (e dello stesso impianto audio) della maggior parte dei rilievi oggetto della prima parte di questa <u>Linea Guida n.9</u>, sarà prezioso porre in sequenza sia le due trattazioni tecniche che i risultati dei rilevamenti (presentati e commentati nell'Appendice "B").

Prima di esaminare in dettaglio il contesto tecnico, è utile operare subito un confronto tra gli spettri d'immissione, prodotti da questa tensostruttura all'interno di abitazioni a 200 m., e quelli di Rumore Ambientale estivo e di Rumore Residuo, visibili nei due grafici appena precedenti.



Il grafico di <u>Fig.16</u> mostra per l'appunto il risultato di un simile rilevamento, effettuato in autunno, con il fonometro ad un metro **all'interno** di un'abitazione al VI piano, **a finestra aperta**, <u>a 200 metri di</u> distanza dalla manifestazione, che si è spostata all'interno della vasta tensostruttura.

Due aspetti colpiscono l'attenzione: da una parte il livello d'immissione (<u>59 dB"A" Leq</u>.) non è affatto contenuto dalla presenza del tendone, ma è addirittura più alto di quello rilevato d'estate (ma non dimentichiamo che in quel caso la distanza era esattamente doppia, per cui un incremento di 6 dB sarebbe comunque atteso, per la diminuzione dell'attenuazione per divergenza).

D'altra parte anche lo spettro d'immissione è assolutamente simile, con differenze quasi soltanto a frequenze superiori ai 4-500 Hz.

- ▶ Una prima deduzione è possibile ricavarla proprio da questa similitudine negli spettri d'immissione: <u>la copertura del tendone è acusticamente assai permeabile</u>, vale a dire tutt'altro che pesante e/o rigida. Diversamente le alte frequenze verrebbero fortemente attenuate, secondo la "*legge della massa*"<sup>37</sup>.
- ▶ Una seconda deduzione, relativa ai livelli sonori operativi entro il tendone, è possibile ricavarla grazie ad un rilevamento d'immissione effettuato contemporaneamente ad una registrazione DAT. In questa si riconosce perfettamente la richiesta del pubblico, e degli esecutori, di portare il livello sonoro ad un certo valore, cui corrispondono circa 65 dB"A" Leq. di immissioni all'interno delle abitazioni a 200 metri di distanza. A questo livello deve dunque corrispondere un livello sonoro superiore a 100-103 dB"A" Leq., all'interno della tensostruttura: 10 dB in meno sono evidentemente inaccettabili, sia per gli esecutori che per gli ascoltatori.

21 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

<sup>&</sup>lt;sup>37</sup> In tutti i manuali d'Acustica è trattata la relazione che lega l'attenuazione per trasmissione, attraverso una partizione, al peso ed al tipo di materiale con cui questa è realizzata: esiste una precisa proporzione, in funzione di frequenza e peso per unità di superficie.

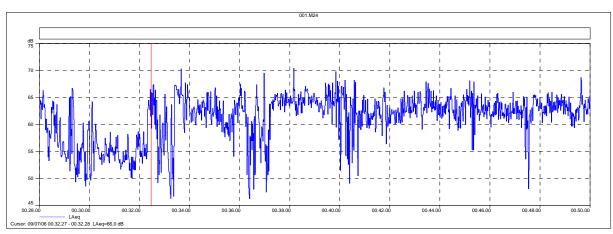


Fig.17

Il grafico di <u>Fig.17</u> mostra il momento critico: nei primi 4 minuti, il livello (alle abitazioni) oscilla sui <u>55</u> dB"A" Leq. ed il pubblico, all'interno della tensostruttura, protesta. Alle 00,32' il livello viene innalzato di **10 volte**, fino ad oltre **65 dB"A" Leq.**, ed è finalmente accettato, talché questo livello è mantenuto di seguito. Più avanti, a notte fonda, i responsabili dello spazio tenteranno alterne fasi di contenimento (visibili in <u>Fig.15</u>, nell'Appendice "B"), con esiti tali da dover ritornare comunque ai più alti livelli, poco dopo. Va sottolineato che i normali livelli di Rumore Residuo, all'interno delle abitazioni, a 200 m., sono dell'ordine di **45 dB"A" Leq.**, cioè 20 dB (100 volte) inferiori. Le immissioni sono infatti perfettamente intellegibili, parola per parola.

Prima di approfondire il contesto acustico introdotto dalla presenza della tensostruttura, riproducendolo e studiandolo mediante un modello in scala, procediamo ad individuare le grandezze energetiche relative all'impianto audio. Diversamente dalla manifestazione estiva, qui è disponibile solo una Valutazione d'Impatto Acustico, relativa al periodo che va dall'autunno 2004 alla primavera 2005. L'impianto è così descritto:

- n.8 diffusori a tromba per medio-alti, da 1400 Watt, con un rendimento di 108 dB/1W/1m.;
- n.8 diffusori a tromba per bassi, da 1400 Watt, con un rendimento di 106-107 dB/1W/1m.;
- n.4 subwoofers da 1000 Watt, con un rendimento di 105 dB/1W/1m.;
- n.8 amplificatori da 4600 Watt RMS (su 4 ohm, pari a 9200 Watt di picco).

La potenza di picco disponibile è dunque pari a  $4600 \times 8 \times 2 = 73.600$  Watt, cioè + 48,6 dB ref.1W.

Nell'ipotesi di un rendimento medio di almeno 106 dB/1W/1m., il potenziale complessivo ammonta a 48 + 106 = 154 deciBel di Picco Lineare, alla distanza di puro riferimento di un metro.

Un calcolo ancora più accurato, che preveda l'esame in dettaglio della potenza erogata da ogni canale di ogni amplificatore sui diversi tipi di diffusori dell'impianto, perviene allo stesso risultato.

Applichiamo dunque ora il primo *coefficiente* di facile verifica, cioè quello, pari a **23** deciBel in media, che consente di convertire il valore di Picco Lineare nel più familiare valore di Livello Equivalente con ponderazione "A". Dunque **154 – 23 = 131 dB"A" Leq.**, sempre alla distanza di puro riferimento di un metro. Facile dedurre i livelli d'ascolto presso il pubblico, disposto ad una distanza massima di circa 30 metri: a questa distanza si raggiungono oltre 102 dB"A" Leq., anche senza considerare il contributo aggiuntivo dato dal campo riverberato. Questi sono i valori previsti, al limite della saturazione degli amplificatori.

L'ipotesi che gli impianti audio noleggiati per le manifestazioni estive siano tutti utilizzati, perlomeno nei picchi, fino al limite delle loro disponibilità di potenza di amplificazione, è stata sinora sempre confermata dai calcoli effettuati sia per questa che per la Linea Guida n.5. Nel caso delle manifestazioni minori il riscontro è quanto mai scontato: quasi sempre il caso è quello per cui si tenta di sonorizzare l'area più estesa possibile, pur con risorse inadeguate. In queste condizioni una certa percentuale di saturazione per gli ampli (detta "clipping") è tollerata facilmente, ed anzi conferisce al suono quella leggera aggressività che ne eleva il livello apparente percepito. Nel caso delle manifestazioni maggiori è la vicinanza tra le numerose piste da ballo e la presenza nell'area di decine e decine di diffusori potenti ed efficienti (ne abbiamo contati quasi 100, a volte...) a creare una vera e propria necessità di operare al limite della distorsione, pena il dirottamento degli avventori verso le altre piste.

Nel caso delle manifestazioni al coperto non esiste quest'ultima condizione, ma il dimensionamento dell'impianto, perlomeno di quello esaminato, appare tuttavia congruo con le più elevate richieste.

Ad avvalorare l'ipotesi che quest'impianto sia operato anch'esso al limite del *clipping* si può tuttavia giungere osservando con attenzione i livelli d'immissione alle abitazioni. Dai grafici di Fig.13b e Fig. 14b (Appendice "B"), cioè dalle distribuzioni statistiche dei valori d'immissione rilevati all'interno di abitazioni a 200 metri di distanza ed in vista diretta della tensostruttura, si nota che vi è un brusco calo nei percentili al di sopra di 68-69 dB"A" Leq. Ebbene questo tipo di distribuzione è spesso associato al raggiungimento del limite di emissione di un impianto audio<sup>38</sup>, mentre i valori dei percentili relativi a normali rumori, veicolari o di fondo, decrescono sempre con assai maggiore gradualità<sup>39</sup>.

Applicando all'inverso il coefficiente di attenuazione previsto per divergenza a 200 metri, cioè  $20 \times (\text{Log}_{10}(200)) = 46 \text{ deciBel, ed il } coefficiente di attenuazione in eccesso di 2-3 deciBel tra i livelli$ esterni e quelli interni, già rilevato per lo stesso ambiente abitativo, ipotizziamo un livello alla tensostruttura pari a 67 + 46 + 3 = 116 dB"A" Leq. Questo valore differisce di 131 - 116 = 15 dB da riferimento di calcolato alla distanza di un metro dall'impianto Abbiamo sinora tralasciato di introdurre un valore d'attenuazione in eccesso da ascrivere, necessariamente, alla presenza schermante della tensostruttura: forse i 15 deciBel che residuano?

### L'acustica di una tensostruttura

Uno spazio coperto, delimitato da una copertura di consistenza sufficiente ad attenuare di 15 dB le emissioni trasmesse, non potrebbe non essere caratterizzato dalla presenza di un elevato livello del campo sonoro riverberato, al suo interno. Dunque l'esemplificazione d'introdurre un fattore di attenuazione in eccesso, per la presenza della partizione, costituita dalla copertura, è tecnicamente inaccettabile.

Un approccio più corretto è quello di individuare dapprima il livello di sollecitazione imposto alla copertura, dall'interno, dalla somma delle emissioni dirette dai diffusori e dal campo riverberato, e, quindi, dedurre il coefficiente di trasmissione dai valori rilevati all'esterno e a distanza.

Uno studio su un modello in scala è l'unico modo di separare le due incognite relative al contributo del fonoassorbimento introdotto dalla presenza del pubblico, e dal coefficiente di riflessione della copertura. Quest'ultimo, a sua volta, va scomposto nelle due componenti, dissipativa e trasmissiva, di cui la seconda è quella determinante, rispetto ai livelli d'immissione verso le abitazioni circostanti. Una volta compreso il contesto fisico del modello e le relative implicazioni, se ne può assai più facilmente andare a verificare la sussistenza o meno, nel caso reale.

Come per le Linee Guida n.3, n.10 e n.14, si è predisposto un contesto sperimentale facilmente riproducibile da ogni tecnico competente che sia interessato ad approfondire personalmente questo particolare argomento. All'interno di un grande ambiente riverberante (V=250 m<sup>3</sup>; RT<sub>60</sub>=1,2-1.3 sec.), è stata realizzata una tensostruttura di minime proporzioni (m.  $2 \times 0.6 \times 0.9$ ), all'interno della quale è stato collocato un diffusore emidirezionale<sup>40</sup>, con risposta estesa, in basso, fino a 200 Hz. Con lo stesso diffusore emidirezionale è stato caratterizzato il livello del campo diretto e riverberato prodotto nell'ambiente riverberante esterno alla tensostruttura.

Diversamente dalle modalità operative più semplici, ammissibili negli studi con i modelli in scala contenuti nelle Linee Guida n.3/10/14 (laddove il dato spettrale quantitativo era di rilevanza primaria), per questo studio, più complesso, si è rivelato indispensabile utilizzare tecniche di misura più sofisticate.

<sup>39</sup> Come si può osservare, per esempio, nella popolazione di dati alla sinistra di Fig.14b, in Appendice "B".

<sup>&</sup>lt;sup>38</sup> Vedi il caso, molto caratteristico, degli impianti da cinema in formato "Dolby A", nella Linea Guida n.15.

<sup>&</sup>lt;sup>40</sup> Un trasduttore da 65 mm. di diametro, in cassa chiusa, collocato a contatto con il pavimento, per cui si formava un'immagine speculare ed un campo irradiato emisferico.

### Questo per diversi motivi:

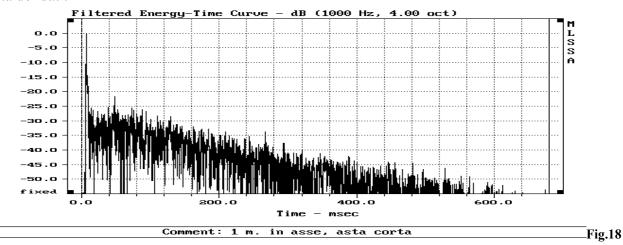
- La presenza della tensostruttura introduce due diversi decadimenti, nei rilevamenti al suo interno: la loro misura e la proporzione reciproca sono entrambi elementi fondamentali, da rilevare.
- ▶ Il secondo decadimento subentra a livelli relativamente contenuti, per cui è indispensabile una gamma dinamica di misura quanto mai estesa.
- ► Anticipando i risultati, le differenze tra le grandezze rilevate sono talmente ridotte, che anche la minima contaminazione, da parte di rumori esterni, risulterebbe fuorviante.
- ▶ Sempre per via delle minime differenze riscontrate, è indispensabile operare con un segnale di prova di estrema stabilità.

Per questi ed altri motivi è risultato indispensabile ricorrere alla tecnica di misura MLS, invece di utilizzare Rumore Rosa filtrato in bande di un'ottava, come per gli studi su modelli prima citati. Anche la *Time Delay Spectrometry*, sebbene ottima per la reiezione dei rumori e per la stabilità del segnale analitico, si è rivelata poco adatta, per la necessità di adottare tempi di misura lunghissimi<sup>41</sup>.

Le sequenze MLS consentono, invece, di rilevare entro un intervallo dinamico compreso tra 50 e 60 deciBel, avendo l'accortezza di reiterare la misura almeno 16 volte (mediando, in modo di abbattere le contaminazioni da rumori esterni) e di filtrare il segnale analitico, sia in uscita, prima dell'amplificatore, che all'ingresso dell'analizzatore<sup>42</sup>.

La risposta complessa all'impulso, che è il risultato di ciascun rilevamento con tecnica MLS, permette di individuare con precisione il decadimento per ogni banda di frequenza: in questo caso, esaminati i primi risultati, si è deciso di rilevare e valutare le quattro ottave comprese tra 250 e 4000 Hz, ponendo attenzione al differente comportamento alle due ottave inferiori, rispetto alle due superiori. Una banda relativamente larga ha consentito anche di determinare con precisione i decadimenti assai rapidi, con tempi di riverbero inferiori al decimo di secondo, che si verificano all'interno della tensostruttura di prova, specie in presenza di materiale fonoassorbente.

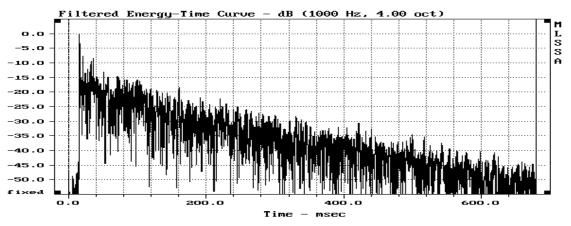
Dalla risposta complessa all'impulso si ricava (tramite analisi FFT) anche lo spettro di emissione, inclusivo delle componenti diretta e riverberata. Quest'ultima è rilevata per un intervallo che è pari a quello dell'impulso: se esso però si estende per oltre 0,6 secondi, le riflessioni successive presentano livelli inferiori di oltre 50 dB rispetto all'arrivo diretto, cui evidentemente non apportano alcun ulteriore contributo energetico. Per ottenere il rispetto di questa condizione è stato necessario utilizzare una sequenza lunga 32K campioni, ad una frequenza di campionamento di 24 KHz, analizzando la prima metà dei dati.



<sup>41</sup> La *Time Delay Spectrometry* si presta bene a rilevare il livello e la risposta del primo arrivo di energia, diretto dal diffusore al microfono di misura, ma richiede *sweep* lunghissimi se si vuole integrare il livello di tutte le riflessioni comprese in un intervallo ampio almeno alcune centinaia di millisecondi.

24 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

<sup>&</sup>lt;sup>42</sup> Queste due ultime precauzioni si sono rivelate particolarmente efficaci: la prima per consentire livelli di emissione più elevati, senza correre il rischio di danneggiare il diffusore di prova; la seconda per operare con linee bilanciate e con una sostanziale reiezione del rumore di fondo (composto per lo più di frequenze inferiori a 200 Hz).



Comment: 4 m. in asse, asta 1,3 m.

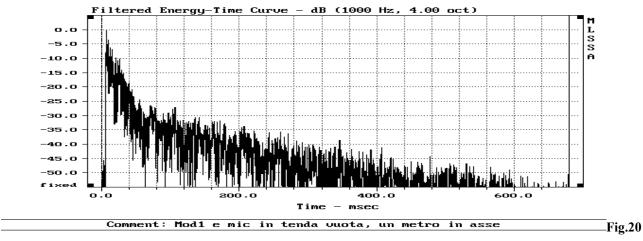
Fig.19

I due grafici di <u>Fig.18</u> e <u>Fig.19</u> mostrano, rispettivamente, le risposte energetiche all'impulso ad un metro ed a 4 metri, per il solo modello di diffusore emidirezionale, collocato a terra, nell'ambiente di prova (di 250 m³), per le 4 ottave da 250 a 4000 Hz. I Tempi di Riverbero, calcolati per l'intervallo tra 200 e 500 millisecondi, sono compresi tra 1,23 ed 1,28 secondi.

A questi valori di Tempo di Riverbero, inseriti in un foglio di calcolo programmato con l'Equazione di Hopkins-Stryker (insieme ai valori, noti, di Volume, Superficie, Direttività), corrisponde una "distanza critica" inferiore ad un metro e mezzo, cioè una differenza di poco più di un deciBel nei valori previsti a 2 ed a 4 metri dalla sorgente. Esattamente quanto rilevato con la tecnica MLS.

Dunque il nostro ambiente riverberante di prova si comporterà come un <u>integratore</u> del livello energetico di tutte le emissioni che fuoriescono, in ogni direzione, dal modello di tensostruttura. Questo con un errore dell'ordine di un deciBel o meno, per distanze di misura di oltre 3-4 metri, come puntualmente osservato in sede di verifica<sup>43</sup>.

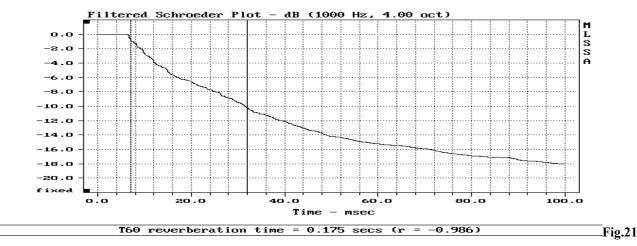
I grafici di <u>Fig.18</u> e <u>Fig.19</u> sono utili come riferimento, soprattutto per visualizzare il diverso tipo di decadimento per distanze di misura inferiori e superiori alla "distanza critica", e, ancor più, per confermare la linearità del decadimento dell'ambiente di prova, perlomeno nell'intervallo di tempi e di frequenze rilevato.



Il grafico di <u>Fig.20</u> mostra, a confronto, il **doppio decadimento** che si rileva ponendo sia il diffusore di prova che il microfono all'interno del modello di tensostruttura, **vuota**. Si tratta di un fenomeno prevedibile, che permette quindi di spiegare il comportamento della tensostruttura.

12

<sup>&</sup>lt;sup>43</sup> Ogni misura del campo riverberato emesso dal modello di tensostruttura è stata infatti ripetuta per quattro diverse posizioni di misura, ottenendo risultati di precisione compatibile con quella di un fonometro di Classe-1, ma senza poter incorrere nelle contaminazioni con i rumori di fondo, cui sarebbe stato soggetto il fonometro...



Il grafico di <u>Fig.21</u> mostra il risultato dell'integrazione all'inverso ("di *Schroeder*") della risposta all'impulso di <u>Fig.20</u>, ingrandita per i primi 100 millisecondi e con il valore del Tempo di Riverbero calcolato per i primi 10 deciBel di decadimento: <u>0,175 secondi</u>, a tenda vuota.

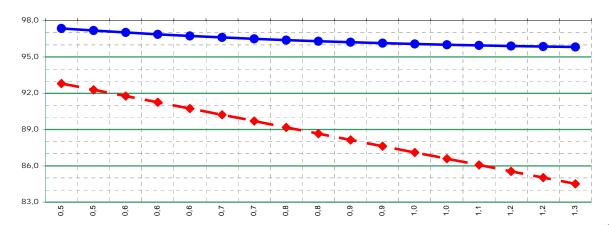


Fig.22

Il grafico di <u>Fig.22</u> mostra i livelli complessivi (curva in alto) e del solo campo diretto (curva in basso) calcolati con un foglio di calcolo programmato con l'equazione di Hopkins-Stryker, nella quale sono stati inseriti i termini noti (Tempo di Riverbero, Volume, Superficie, Direttività) della tensostruttura e della sorgente di prova: i valori della curva in alto corrispondono perfettamente a quelli rilevati.

- E' il momento di formulare la prima ipotesi: quella per cui la copertura non rigida si comporti come una parete fortemente assorbente: **l'energia intercettata non è però dissipata, ma trasmessa all'esterno**. Questo spiega bene il decadimento iniziale, che può assumere una tale pendenza solo nel caso le pareti intercettino ben il 20 % circa dell'energia che vi incide, rimandando il residuo 80 % all'interno, ad incrementare il livello del campo riverberato<sup>44</sup>.
- ▶ Sin qui non possiamo stabilire in alcun modo quale parte del 20 % di energia sottratta ad ogni impatto con la tensostruttura sia trasmessa e quale parte sia dissipata termicamente.
- ▶ La quota di energia riflessa (80 %) spiega bene la relativa omogeneità di livello all'interno della tensostruttura di prova (1-2 dB di differenza tra 0.5 e 1,3 metri dalla sorgente, puntualmente confermati alle misure). Questo, naturalmente, a tenda vuota.
- ▶ Osservando con attenzione la differenza tra il livello totale (curva in alto di <u>Fig.22</u>) e la sola componente diretta (curva in basso), si deduce che il campo riverberato innalza il livello sonoro all'interno della tensostruttura **dai 5 ad oltre 10 dB** (9 dB alla distanza di riferimento di un metro).
- ▶ Se la quota del 20 % di energia assorbita dalla tenda fosse integralmente trasmessa all'esterno, cioè

26 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

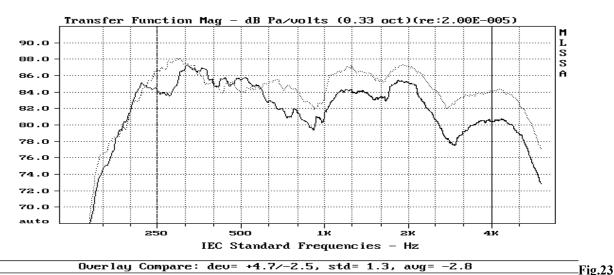
<sup>&</sup>lt;sup>44</sup> Queste percentuali tengono conto del fatto che, per questa prova, a tenda vuota, il pavimento è riflettente al 99 %.

non venisse dissipata affatto, allora la quota di energia trasmessa sarebbe inferiore di  $10 \times \text{Log}_{10}(0,2) = -7 \text{ deciBel}$  (approssimativamente).

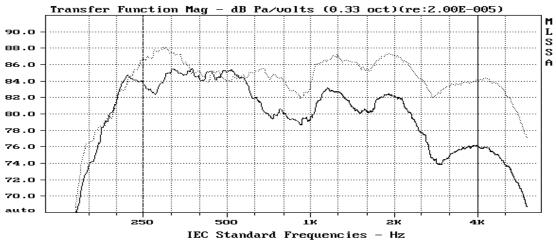
L'ipotesi che si va delineando è quella secondo cui l'energia trasmessa all'esterno sarà assai simile a quella emessa in assenza della tensostruttura, con l'impianto audio operato allo stesso livello di potenza acustica: infatti l'ordine di grandezza dell'incremento del livello interno causato dal campo riverberato (5-10 dB) è del tutto comparabile con l'attenuazione minima compatibile con il decadimento rilevato (-7 dB). E' il momento di effettuare la verifica.

Prima di collocare il trasduttore di prova all'interno della tensostruttura in scala, erano stati rilevati i livelli nell'ambiente circostante, a distanze sia inferiori che superiori alla "distanza critica" (1,5 m.): in particolare sono stati rilevati livelli di 90-91 dB ad un metro e di circa **85 deciBel in varie posizioni nel campo riverberato** (a 4 metri almeno dal diffusore).

Ebbene, collocando il diffusore sotto la tensostruttura (vuota), il livello del campo riverberato scende di poco più di un deciBel e mezzo per le due ottave centrate su 500 Hz, mentre decresce di esattamente 3 deciBel per le due ottave centrate su 2 KHz.



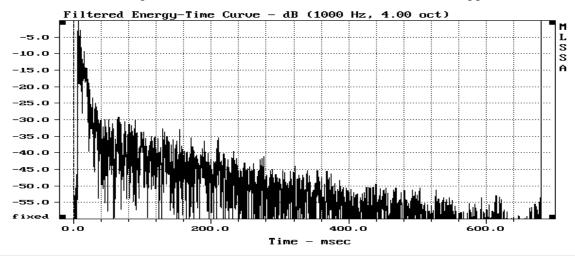
Il grafico di <u>Fig.23</u> mostra la sovrapposizione, e la comparazione, tra le due funzioni di trasferimento rilevate in campo riverberato (a 4 m.) in assenza della tensostruttura (curva in alto, tratteggiata) e con il diffusore di prova sotto la tensostruttura <u>vuota</u> (curva inferiore, solida): la differenza media di circa tre deciBel è prodotta da una sostanziale eguaglianza dei livelli alle frequenze più basse (sotto 600 Hz.) e da una crescente attenuazione delle frequenze da 600 a 4000 Hz. Ma cosa accade se introduciamo un contributo di fonoassorbimento all'interno della tenda?



Ouerlay Compare: dev= +7/-3.4, std= 2.3, avg= -5.7 Fig.24

Il grafico di Fig.24 mostra la sovrapposizione, tra le due funzioni di trasferimento rilevate in campo riverberato (a 4 m.) in assenza della tensostruttura (curva in alto, tratteggiata) e con il diffusore di prova sotto la tensostruttura con due terzi del pavimento reso assorbente (curva inferiore, solida): ancora una volta le curve tendono a sovrapporsi sotto i 600 Hz, mentre il livello delle frequenze più alte, trasmesse all'esterno della tensostruttura, decresce di ulteriori 3 deciBel, in media.

- ▶ Il calo di livello nella ristretta banda centrata su 270-300 Hz è diagnostico di una possibile risonanza della copertura (in PVC) impiegata per la prova: nelle realizzazioni in scala 1:1 sarà probabile riscontrare comportamenti simili, in corrispondenza di bande di frequenza diverse.
- A parte questa risonanza, le curve rilevate in campo riverberato, lontano dalla tensostruttura, in presenza o in assenza di questa, seguono andamenti del tutto simili, gradualmente divergenti verso le alte frequenze. Questo è sintomatico di un comportamento assai prevedibile, basato sulla massa della partizione e sulla quantità di materiale assorbente all'interno della tensostruttura.
- Quanto rilevato è dunque assai verosimilmente trasferibile ai casi reali. Approfondiamo.



Comment: Mod1 e mic in tenda assorbente, 1 m. in asse Fig.25

Il grafico di Fig.25 mostra, anch'esso, il doppio decadimento che si rileva ponendo sia il diffusore di prova che il microfono all'interno del modello di tensostruttura, questa volta con il pavimento occupato per due terzi da pannelli assorbenti (spessi 8 cm.).

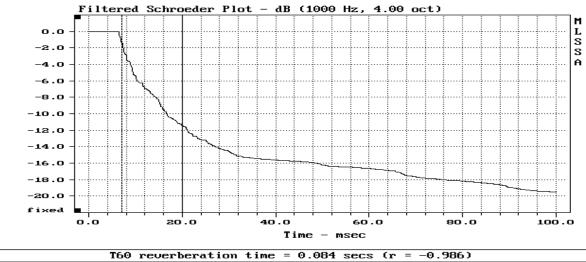
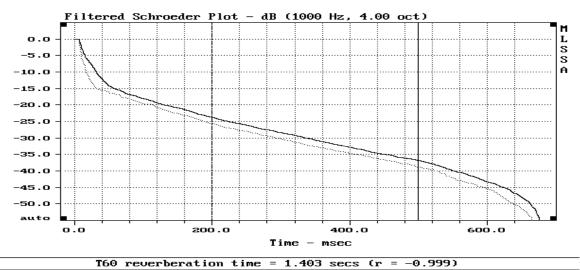


Fig.26

Il grafico di Fig.26 mostra il risultato dell'integrazione "di Schroeder" della risposta all'impulso di Fig.25, ingrandita per i primi 100 millisecondi e con il valore del Tempo di Riverbero calcolato per i primi 10 deciBel di decadimento: 0,084 secondi, con due terzi del pavimento assorbente.



Il grafico di <u>Fig.27</u> mostra il risultato dell'integrazione "di *Schroeder*" delle due risposte all'impulso, rilevate **con e senza il materiale assorbente**<sup>45</sup>, all'interno della tensostruttura di prova, ad un metro dal trasduttore: i due segmenti iniziali sono quelli ingranditi nelle Figg.21 e 26. Come previsto, il

trasduttore: i due segmenti iniziali sono quelli ingranditi nelle <u>Figg.21 e 26</u>. Come previsto, il decadimento successivo è perfettamente identico, come s'intuiva già osservando le <u>Figg. 20 e 25</u>. Questo secondo decadimento è null'altro che quello prodotto dal grande ambiente entro il quale è stata collocata la tensostruttura di prova. Ma la presenza di quest'ambiente, non dimentichiamolo, è indispensabile, in sede sperimentale, per poter integrare il livello delle emissioni prodotte all'esterno della tensostruttura, in tutte le direzioni. Alcune deduzioni:

▶ La tensostruttura realmente esistente, sottoposta a rilevamenti del livello e spettro di emissione, mostra un comportamento del tutto analogo a quello del modello in scala.

▶ In particolare, il livello delle emissioni di basse frequenze, verso le abitazioni, risulta del tutto analogo a quello previsto (e rilevato, tenuto conto della distanza) in assenza della copertura.

▶ L'attenuazione delle alte frequenze, operata dalla tensostruttura reale, è moderata ed assai graduale, come quella del modello in scala.

▶ Il decadimento assai rapido che si rileva all'interno del modello in scala è causato dalla sottrazione di energia per emissione verso l'esterno rispetto alla copertura.

▶ Il successivo e più graduale decadimento è causato dalla presenza dell'ambiente esterno, nella prova con il modello: mancando quest'ambiente, il decadimento proseguirebbe con la pendenza iniziale.

▶ Il decadimento tardivo, indotto dall'ambiente esterno, rappresenta una condizione in cui l'energia rientra nella tensostruttura, essendo tuttavia assai attenuata, e, quindi, ininfluente, nei reali termini energetici<sup>46</sup>. **Questo decadimento è assente nel caso reale**, senza che questo alteri in alcun modo la pregnanza del confronto.

▶ La presenza o meno di un contributo di fonoassorbimento supplementare, come quello prodotto dalla presenza del pubblico, influisce sul livello delle immissioni, ma solo alle frequenze più elevate, ovvero quelle rispetto alle quali il materiale della copertura è sostanzialmente meno permeabile. Nel caso reale si tratterebbe di frequenze superiori a 4-500 Hz, visti gli spettri effettivamente rilevati.

▶ Sia nel caso reale che per il modello in scala, la presenza o meno del pubblico, e del relativo contributo di fonoassorbimento, comporta variazioni contenute nei livelli d'immissione, in proporzione pari alla diminuzione del livello del campo riverberato entro la tensostruttura.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>45</sup> La curva rilevata in presenza dell'assorbente è, naturalmente, quella in basso, tratteggiata.

<sup>&</sup>lt;sup>46</sup> Se si osserva con attenzione il grafico di <u>Fig.27</u>, si noterà che il secondo decadimento, con pendenza più graduale, subentra a livelli almeno 15 deciBel inferiori a quelli del valore integrato complessivo. L'addizione di una immissione 15 dB inferiore a quella di un'altra, di livello superiore, non ne incrementa il livello che di una frazione di deciBel.

- ▶ Il rapido decadimento iniziale<sup>47</sup> comporta un valore relativamente minore per la "distanza critica", rispetto a quello riscontrabile in uno spazio coperto di pari dimensioni ma delimitato da pareti rigide: dunque occorre attenzione ad evitare un'eccessiva esposizione degli spettatori situati nelle aree più vicine all'impianto audio (vedi DPCM n.215).
- ▶ Una quota considerevole, se non la maggioranza, del pubblico è tuttavia situata ad una distanza dai diffusori che è eguale o poco superiore alla "distanza critica", per cui il livello sonoro non è incrementato che in misura minima dalla presenza del campo riverberato: questo spiega la tendenza ad installare impianti di potenza elevata entro le tensostrutture.

Lo studio con un modello in scala, collocato in un ambiente di prova riverberante, si è dunque rivelato utile per individuare a grandi linee i meccanismi fisici che sottendono la propagazione acustica all'interno ed all'esterno di tensostrutture. Questo a livelli qualitativi, più che quantitativi.

Tuttavia la trasposizione dei risultati dal modello al caso reale è resa semplice e sicura proprio dai riscontri iniziali sul caso 1:1, per il quale è sicuramente confermata sia la relativa <u>eguaglianza dei livelli d'immissione</u>, a parità di impianto audio, **con e senza copertura**, sia la tendenza delle coperture reali a trasmettere relativamente senza attenuazione le frequenze inferiori a 4-500 Hz., cioè proprio quelle che veicolano la maggior parte di energia acustica, per i comuni brani musicali.

Gli elevatissimi livelli d'immissione rilevati presso le abitazioni a 200 metri di distanza sono, ancora una volta, compatibili esclusivamente con la condizione in cui <u>l'impianto audio installato nella tensostruttura sia operato in regime di pieno utilizzo</u>, cioè con potenze elettriche (di picco) di amplificazione tali per cui il livello di "*clipping*" degli amplificatori sia ottenuto più che occasionalmente. Trattandosi di impianti noleggiati, questo conferma in pratica quella che è una vera e propria regola per gli impianti operati all'aperto.

L'acustica di una tensostruttura è, in sintesi, assai più simile e vicina a quella riscontrabile nel caso di un impiego all'aperto dello stesso impianto audio, rispetto a quella di un impiego in ambiente chiuso e riverberante. I risultati dei rilevamenti dei livelli d'immissione confermano pienamente un assunto che sarebbe stato assai difficile sostenere, in assenza di questi, ma anche senza aver approfondito l'argomento con lo studio su un modello in scala.

<sup>&</sup>lt;sup>47</sup> Che è presente sia nel modello (come confermano i rilevamenti) che nel caso reale (come confermano gli spettri di emissione assai poco attenuati in gamma media).

### APPENDICE "A": I RILEVAMENTI FONOMETRICI PER LA MANIFESTAZIONE ESTIVA

L'affermazione della prevedibilità, della costanza, della ripetibilità, anche negli anni, dei livelli d'immissione acustica causati da una **manifestazione estiva all'aperto** di grande richiamo può essere sostanziata mediante l'esame di un'ampia serie di rilevamenti fonometrici.

Il caso in esame è particolare proprio per questa disponibilità, unita a quella della documentazione del tipo di apparati audio presenti in loco. Il contributo delle manifestazioni minori, adiacenti, risulterà assai meno influente, alla verifica mediante rilievi fonometrici, di quanto atteso.

Per tutti i rilevamenti i cui risultati sono illustrati e commentati di seguito è stata impiegata la "tecnica di campionamento" (vedi D.M. 16/03/1998, Allegato "B", comma 2, lettera "b"). Sono stati campionati valori di Livello Equivalente ponderato "A" ad intervalli di un secondo e per periodi di misura di diverse ore, a partire da prima della mezzanotte e fino all'alba, in modo di includere un periodo di silenzio relativo (Rumore Residuo) nell'intervallo successivo al termine della manifestazione. Questo valore di Rumore Residuo è risultato del tutto analogo a quello rilevato in giorni in cui le manifestazioni non erano operanti.

L'analisi statistica di queste decine di migliaia di campionamenti compare come secondo grafico (b), alla destra di quello (a) che illustra l'andamento dei campioni di LAEq (1 s.) rispetto al tempo. Essa si rivela particolarmente efficace nel relegare gli "eventi sonori atipici" ed "eccezionali" nella loro corretta collocazione, agli estremi, consentendo di individuare, spesso con estrema precisione, il valore delle due grandezze fondamentali indagate (Rumore Ambientale e Rumore Residuo), come valori medi di popolazioni statistiche bene individuabili.

L'andamento temporale dei grafici riflette la variabilità degli orari di programmazione di concerti e discoteche estive, mentre la distribuzione statistica dei campionamenti di LAEq (1 s.) è praticamente sempre compatta e ben definita (relativamente al Rumore Ambientale). E' infatti tutt'altro che raro riscontrare popolazioni statistiche di dati comprese entro un intervallo complessivo di appena 4-5 deciBel.

La lunga serie di grafici che segue riveste particolare interesse anche per una serie di aspetti impliciti: per esempio è ben individuabile il minimo, ma ben rilevabile, risultato degli sforzi di contenimento dei livelli sonori in coincidenza con gli attesi rilievi dell'A.R.P.A. Quasi mai il tentativo ha successo al punto di raggiungere il rispetto dei limiti di legge, evidentemente impraticabili con il tipo di impianti audio e per il tipo di programmazione musicale scelto.

Altrettanto indicativo è il ritorno dopo pochi giorni agli stessi livelli sonori di sempre: questa è la migliore conferma alla vera e propria "**necessità**" di un certo livello sonoro minimo sulle piste da ballo, al di sotto del quale il pubblico letteralmente "non balla" e diserta la manifestazione.

La maggiore o minore presenza di pubblico nell'area è testimoniata con precisione dai livelli di rumore rilevati appena dopo la chiusura della manifestazione: il normale livello di Rumore Residuo tipico della zona si raggiunge, infatti, solo dopo l'allontanamento dei veicoli dei partecipanti alla manifestazione. In occasione di serate di minima affluenza, questo avviene in orari assai più precoci e con un andamento caratteristicamente brusco.

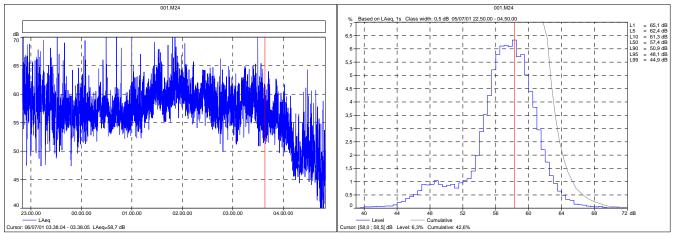
Capita a volte che sia i livelli d'immissione che quelli del Rumore Residuo al termine della manifestazione siano ridotti in misura corrispondente; questo accade sia in presenza di brezza leggera in direzione contraria che in occasione di una serata di scarsa affluenza; la diversa condizione è facilmente identificabile osservando con attenzione i livelli dei passaggi veicolari isolati e vicini, poco prima dell'alba: la presenza della brezza li attenua.

L'andamento dei livelli sonori rispetto al tempo mostra anche che l'inizio delle danze segue spesso una fase di riempimento dell'area, con musica a livello più contenuto; solo quando sono previsti concerti (il cui livello è tipicamente assai elevato), può mancare questa fase preliminare.

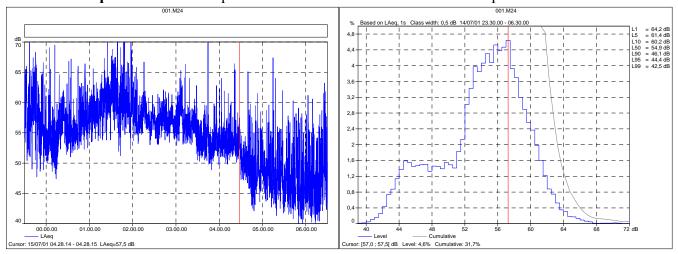
Le abitazioni presso cui sono stati effettuati i rilevamenti fonometrici commentati qui di seguito sono ubicate in tre posizioni, particolarmente significative: la prima (con il maggior numero di casi) è situata ad esattamente 400 metri di distanza, praticamente in linea di vista. Quest'abitazione è al sesto piano, e nello spazio compreso tra essa e l'area della manifestazione non vi sono direttrici di traffico intenso.

La seconda abitazione è a 250 metri di distanza, appena schermata da una spessa muraglia (che ha però archi ed altre aperture), al terzo piano, ma affacciata su una piazza con intenso scorrimento veicolare causato proprio dagli avventori alla manifestazione ed ai locali adiacenti. La terza abitazione è forse il caso più interessante, in quanto situata anch'essa a 400 metri dall'area della manifestazione, ma esposta alle immissioni solo indirettamente, grazie alla riflessione di queste sulla facciata piana di un edificio a 90°; essa è situata all'VIII piano ed è fortemente schermata dal rumore del traffico veicolare, per cui le immissioni musicali vi pervengono assai nitide e con un cospicuo superamento del "Criterio Differenziale".

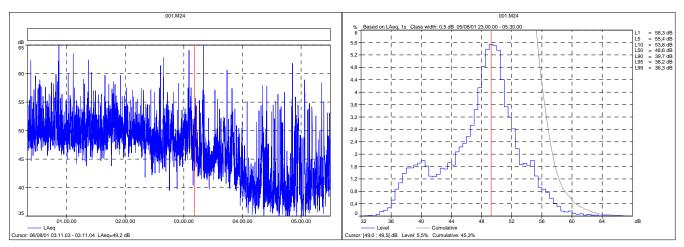
L'andamento dei grafici mostrati e commentati di seguito è assai tipico, ma varia da sera a sera in funzione degli orari di chiusura imposti a volte dalle autorità, a volte (più spesso) dall'allontanamento precoce del pubblico, insoddisfatto dei bassi livelli sonori eventualmente tentati allo scopo di limitare le proteste dei residenti o di evitare sanzioni. Raramente si riconoscono anche eventi acustici d'altra origine, come i lavori di manutenzione della vicina ferrovia (Fig.3, App."B"). Interessante la ripetibilità dei livelli di Rumore Residuo in estate ed inverno, deducibile dal confronto con il rilievi commentati nell'Appendice "B".



**Fig.1** a/b: Rilievo all'interno di un'abitazione a 250 m. di distanza, al IV piano, a finestra aperta, un metro all'interno, non in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco attorno ai **58 dB"A"** Leq. Il livello di Rumore Residuo si individua solo con attenzione, ed è situato intorno ai **48-49 dB"A"** Leq. L'abitazione è esposta al traffico notturno della sottostante piazza.

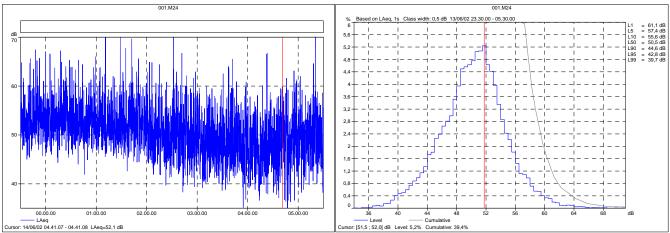


**Fig.2** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla tra i 53 ed i 57 dB"A" Leq., ma supera –al culmine della serata- anche i 60 dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo si individua abbastanza bene intorno ai 45-48 dB"A" Leq. L'abitazione è poco esposta al traffico veicolare notturno: quello locale crea i rari picchi, meglio visibili dalle 5 alle 6 e 30' a.m.



**Fig.3** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla tra i 48 ed i 51 dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo oscilla intorno ai 40 dB"A" Leq. La diminuzione di entrambi i livelli avvalora l'ipotesi della presenza di vento leggero in direzione opposta, cioè proveniente dal mare. L'entità dell'attenuazione introdotta dalla brezza appare essere dell'ordine di 5 deciBel.

I primi tre rilevamenti sono stati eseguiti nel corso della stagione estiva 2001. Quelli che seguono sono del 2002, con un allestimento simile per la manifestazione.



**Fig.4** a/b: Rilievo in un'abitazione a 250 m. di distanza, al III piano, a finestra aperta, un metro all'interno, non in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ad appena **51** dB"A" Leq. (è la serata d'inaugurazione e <u>sono presenti le autorità comunali</u>). Il livello di Rumore Residuo non è praticamente rilevabile per via dell'elevato traffico veicolare.

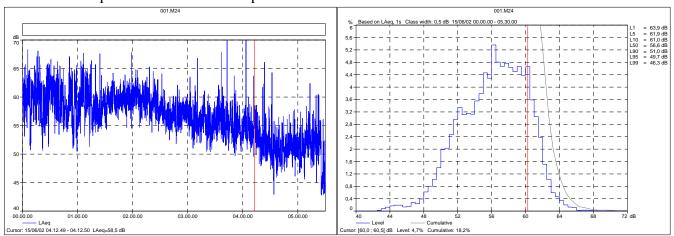
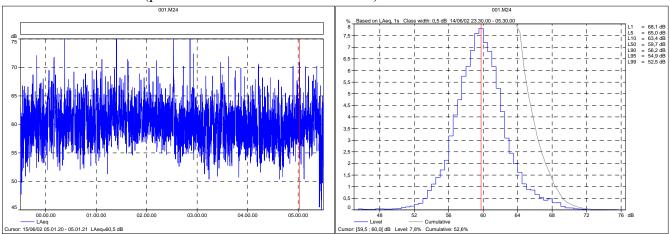
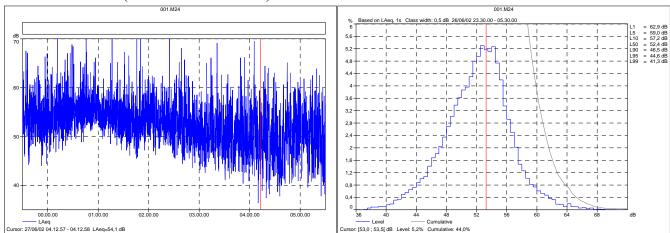


Fig.5 a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, il giorno dopo. Il livello di Rumore Ambientale oscilla tra i 56 ed i

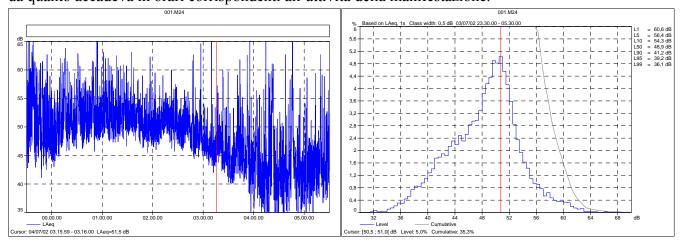
**60 dB"A"** Leq. Il livello di Rumore Residuo non è individuabile, dato che la programmazione musicale continua sino all'alba (per via delle manifestazioni minori).



**Fig.6** a/b: Rilievo all'interno di un'abitazione a 150 m. di distanza, al III piano, a finestra aperta, un metro all'interno, non in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco attorno ai **60 dB"A" Leq.** Il livello di Rumore Residuo non è praticamente rilevabile per via del traffico veicolare notturno continuo (decisamente anomalo) nella via sottostante.

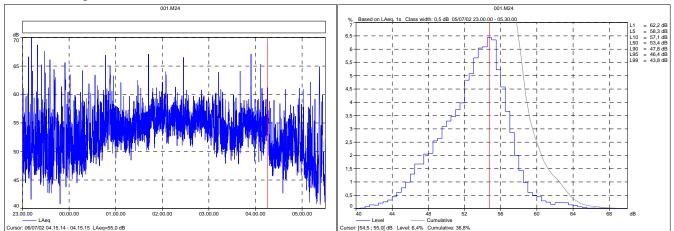


**Fig.7** a/b: Rilievo in un'abitazione a 250 m. di distanza, al III piano, a finestra aperta, un metro all'interno, non in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco attorno ai **53** dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo non è praticamente rilevabile per via del traffico veicolare notturno nella sottostante piazza: se però si osserva con attenzione il grafico a sinistra nell'intervallo successivo alle ore 4 a.m., si può notare che i livello scende fino anche a 40 dB"A" Leq., diversamente da quanto accadeva in orari corrispondenti all'attività della manifestazione.



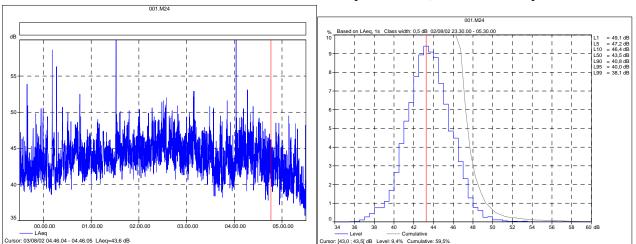
**Fig.8** a/b: Rilievo all'interno di un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un 34 di 50 – Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno i 51 dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo si intuisce intorno ai 41-46 dB"A" Leq. I netti passaggi veicolari poco prima dell'alba portano ad escludere la presenza di vento: la manifestazione ha semplicemente contenuto i livelli di emissione. Anche l'orario in cui terminano le emissioni è anticipato, verosimilmente proprio per l'abbandono dell'area da parte del pubblico, insoddisfatto dei bassi livelli sonori nelle piste da ballo.



**Fig.9** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno i **55 dB"A" Leq.** Sono passati appena due giorni dal rilevamento precedente; evidentemente i responsabili della manifestazione si sono visti costretti ad incrementare i livelli sonori sulle piste, pena l'insoddisfazione del pubblico e l'insuccesso per la manifestazione.

Il livello di Rumore Residuo non è rilevabile se non dopo le 5 a.m., ma con scarsa precisione.

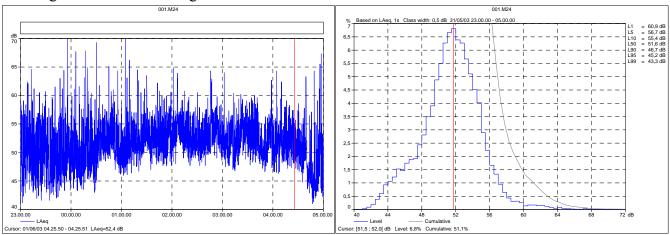


**Fig.10** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, all'VIII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, **non** in linea di vista diretta, ma interessata da una riflessione. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno i **43,5 dB"A"** Leq. Il livello di Rumore Residuo (che in quell'abitazione, protetta dal traffico, è di solito di appena **36 dB"A"** Leq), non è raggiunto se non al termine dell'intervallo di misura, circa alle 5 e 30' a.m.

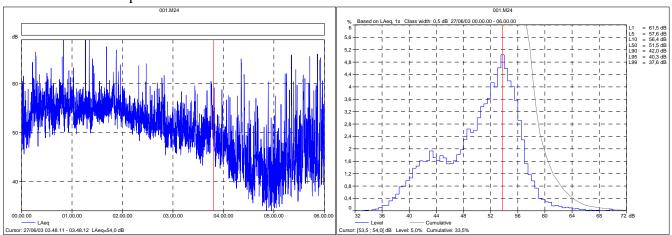
Terminano con questo i rilevamenti relativi alla stagione estiva 2002. La successiva stagione estiva 2003 vedrà il ritorno all'impiego di un vero e proprio impianto audio da concerto, con diffusori di rendimento altissimo (108 dB per 1 Watt ad 1 metro) e con potenze di amplificazione dell'ordine dei 20.000 Watt (40 KW di picco). L'area delle superfici dedicate al ballo può così circa raddoppiare ed il potenziale d'impatto acustico alle abitazioni è letteralmente moltiplicato.

Tuttavia le proteste dei residenti nell'area sono sfociate in denunce sino ai più alti livelli istituzionali, per cui vi è un iniziale periodo di grande attenzione da parte degli organizzatori della manifestazione, onde contenere i livelli d'immissione. La valutazione dei risultati conseguibili mediante

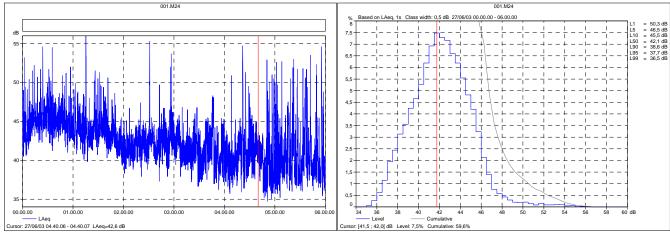
"autoregolamentazione" è di grande interesse tecnico.



**Fig.11 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno i **52 dB"A" Leq**. e si spiega per il fatto che la manifestazione si svolge appena <u>dopo una grave denuncia della cittadinanza</u>, indirizzata anche alla Presidenza della Repubblica. Il livello di Rumore Residuo non è rilevabile se non dopo le 4 e 50' a.m.



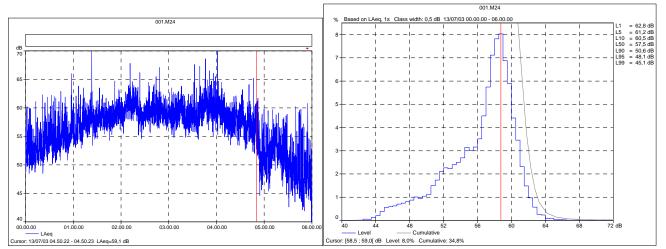
**Fig.12** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno i **54 dB"A" Leq**. Questo livello è da considerare ancora come frutto di una certa cautela da parte degli organizzatori della manifestazione: il pubblico tuttavia non gradisce e diserta gradualmente l'area, come testimonia con certezza il livello di Rumore Residuo, insolitamente contenuto. Il livello di Rumore Residuo è dunque finalmente riconoscibile nella popolazione di dati centrata sul valore di **44 dB"A" Leq**. (grazie anche alla protrazione del rilevamento fino alle 6 a.m.).



36 di 50 - Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

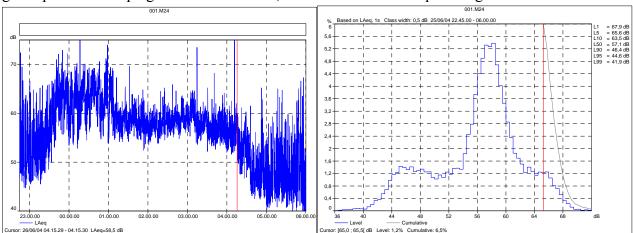
**Fig.13** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, all'VIII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, **non** in linea di vista diretta, ma interessata da una riflessione. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno i **42** dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo (che qui

Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno i **42 dB"A"** Leq. Il livello di Rumore Residuo (che qui è tipicamente pari a **36 dB"A"** Leq), non è raggiunto se non dopo le 5 a.m.



**Fig.14 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno i **59 dB"A" Leq.** Il pubblico, evidentemente, apprezza, e permane nell'area fino alle 5 a.m. Il livello di Rumore Residuo (46-47 dB"A" Leq.) è infatti raggiunto solo dopo le 5 e 30' a.m. A stagione avanzata cessa –evidentemente- ogni precauzione in ordine al contenimento dei livelli d'immissione verso l'abitato circostante la manifestazione.

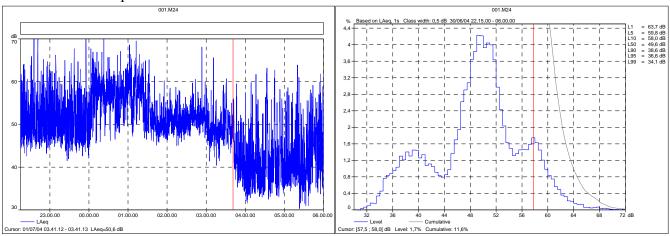
La stagione 2003 si concluderà con il sostanziale mantenimento di questi livelli d'immissione, consentito dalle maggiori potenze di amplificazione disponibili. Ancor più potenti (e numerosi) saranno gli amplificatori impiegati nell'estate 2004, con i risultati visibili qui di seguito.



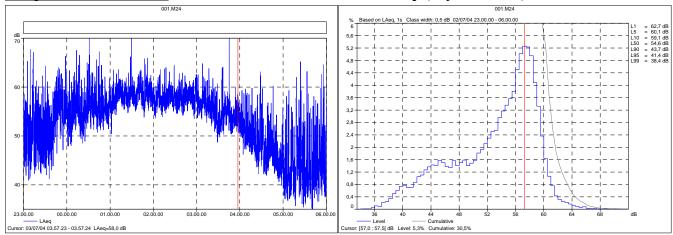
**Fig.15 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale raggiunge e supera il ragguardevole valore di **65 dB"A" Leq. dalle 23 e 30' all'una**, probabilmente per un concerto (in occasione del quale viene utilizzata a fondo la maggiore potenza installata per questa stagione 2004). In orario successivo operano le discoteche, con un livello di Rumore Ambientale assai stabile intorno ai **58 dB"A" Leq**. Il livello di Rumore Residuo è riconoscibile nella popolazione di dati centrata sul valore di **45 dB"A" Leq**. (grazie ancora alla protrazione del rilevamento fino alle 6 a.m.).

Una breve riflessione si impone: indipendentemente dal fatto che una corretta progettazione degli impianti ed una altrettanto approfondita analisi preliminare da parte del *tecnico competente* incaricato abbiano pre-allertato i responsabili della manifestazione della concreta possibilità di un vasto superamento dei limiti d'immissione vigenti, appare evidente che vi è ben poco margine nel tentare una semplice "autoregolamentazione" dei livelli sonori. A conferma di ciò basti osservare come in ogni

occasione in cui si tenta di contenere i livelli sonori entro la manifestazione, il pubblico inevitabilmente l'abbandona assai prima del normale orario...



**Fig.16 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale raggiunge i **58 dB"A" Leq.** dalla mezzanotte a poco dopo l'una, quando intervengono i VV.UU., imponendo una riduzione di livello, per cui <u>il pubblico abbandona precocemente la manifestazione</u>. Questo spiega il livello di Rumore Residuo tra i più bassi mai rilevati, con un valore di circa **40 dB"A" Leq.** (dopo le 4 a.m.).



**Fig.17** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, appena <u>due giorni dopo il precedente</u>.

Il livello di Rumore Ambientale raggiunge nuovamente i **57 dB"A" Leq.** e questo livello è mantenuto ben oltre le 3 a.m. (a conferma del permanere del pubblico nell'area). Il livello di Rumore Residuo raggiunge il valore di **45 dB"A" Leq.** solo dopo le 5 a.m.

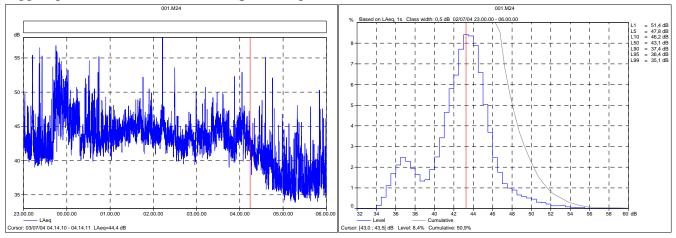


Fig.18 a/b: Rilievo in contemporanea con il precedente, ma presso un'abitazione a 400 m. di distanza,

all'VIII piano, a finestra aperta, un metro all'interno, **non** in linea di vista diretta, ma interessata da una riflessione. Le immissioni prima delle 24 sono causate da un evento locale. Il livello di Rumore Ambientale oscilla poi di poco intorno i **43,5 dB"A" Leq**. Il livello di Rumore Residuo è **confermato** sul valore tipico di **37 dB"A" Leq**, ma è raggiunto solo dopo 5 a.m.

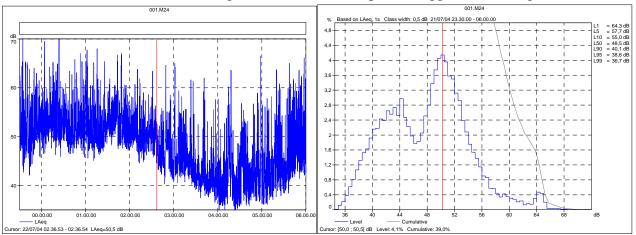
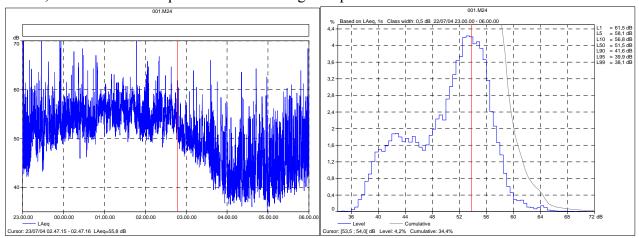


Fig. 19 a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, in corrispondenza della data prevista per i rilevamenti A.R.P.A. (che in realtà sono stati posticipati proprio per evitare la mancanza sorpresa...). Il livello d'immissione alle abitazioni è di appena i 50 dB"A" Leq., ma il pubblico diserta precocemente la manifestazione: infatti il livello di Rumore Residuo raggiunge il valore di 43,5 dB"A" Leq. già dalle 3 a.m., contrariamente a quanto accadeva nei giorni precedenti.



**Fig.20 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, <u>un giorno dopo rispetto al precedente rilievo</u>. Il livello di Rumore Ambientale torna a crescere, oscillando intorno a <u>54 dB"A" Leq.</u>, ma ancora una volta il pubblico diserta precocemente la manifestazione: infatti il livello di Rumore Residuo raggiunge il valore di **43 dB"A" Leq**. già dalle 3 a.m.

La manifestazione estiva all'aperto è stata avviata sulla base di una Valutazione d'Impatto Acustico evidentemente erronea, nella quale l'unica prescrizione del *tecnico competente* in ordine alle soluzioni da adottare per contenere i livelli d'immissione alle abitazioni è stata, in pratica, quella di autoregolamentare i livelli operativi, eventualmente avvalendosi di un monitoraggio in loco. L'evidenza del permanere di alti livelli d'immissione alle abitazioni e gli andamenti di questi rispetto al tempo e rispetto ai tentativi di autoregolamentazione, confermano due aspetti fondamentali per le manifestazioni estive, all'aperto: 1)- Gli impianti audio sono dimensionati al limite del necessario, cioè del minimo livello accettabile da parte del pubblico e, 2)- Gli impianti sono normalmente utilizzati per la loro piena potenzialità, per cui i livelli operativi sono deducibili anche dal solo calcolo del Livello di Picco Lineare (vedi **Linea Guida n.5**).

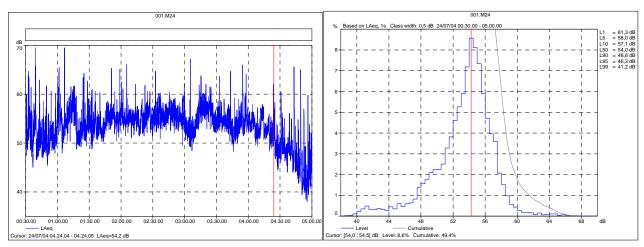


Fig.21 a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, ancora un giorno dopo rispetto al precedente rilievo. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno a 54 dB"A" Leq. ed è stabile sino all'alba. L'A.R.P.A. rileva, ed i responsabili delle manifestazioni nell'area ne sono stati informati poco dopo le 2, ma evidenti motivi di ordine pubblico li costringono a tenere alti i livelli sonori, nonostante appunto siano a dell'effettuazione conoscenza dei rilievi **ARPA** delle sanzioni. attese Si confronti con quanto rilevato appena due giorni prima, quando i rilievi A.R.P.A. erano ben previsti ed il livello sonoro entro il perimetro della manifestazione era contenuto sin dall'apertura: il poco pubblico affluito -peraltro insoddisfatto- era facilmente indotto ad abbandonare l'area anche poco dopo le ore due. Impossibile fare lo stesso in una normale serata, come appunto 2 giorni dopo.

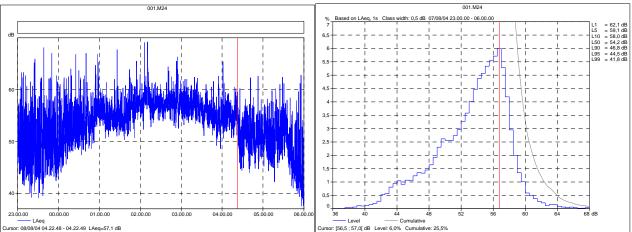
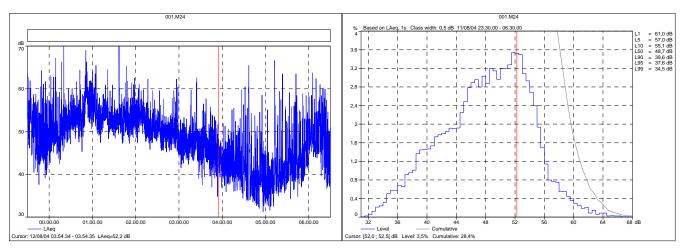


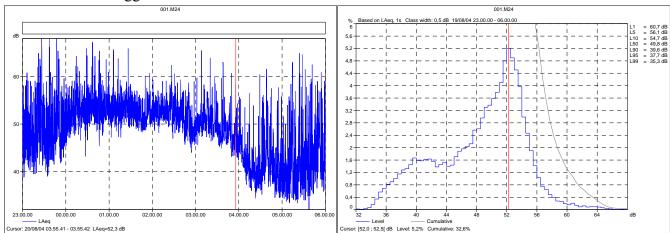
Fig.22 a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno. diretta. settimane dopo i rilievi linea vista due Il livello di Rumore Ambientale raggiunge nuovamente i 57 dB"A" Leq. e questo livello è mantenuto ben oltre le. a.m. (a conferma del permanere pubblico Il livello di Rumore Residuo raggiunge il valore di 44 dB"A" Leq. solo dopo le 5 e 45' a.m.

Riassumendo la vicenda, si evince che il rilevamento A.R.P.A., e la relativa sanzione, nulla hanno potuto in ordine a ricondurre i livelli d'immissione entro livelli, se non leciti, almeno più ridotti.

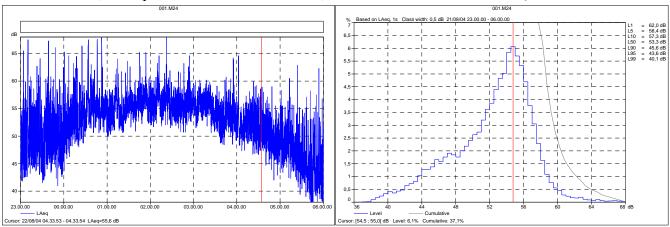
La correlazione tra i livelli sonori (sia nell'area della manifestazione che, di conseguenza, alle abitazioni fino a mezzo chilometro ed oltre), e la permanenza del pubblico nell'area è evidente e sempre perfettamente confermata. Gli organizzatori non ritengono di dover operare alcun intervento di mitigazione, né questo appare praticabile, una volta inaugurata la manifestazione, cioè una volta noleggiati gli impianti audio e le strutture sulle quali essi sono sospesi o appoggiati.



**Fig.23 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, <u>con la manifestazione principale non operante</u>. Il livello di Rumore Ambientale raggiunge i **52 dB"A" Leq**. e le attività cessano poco dopo le ore 2 a.m. Il livello di Rumore Residuo raggiunge valori inferiori a **40 dB"A" Leq**. intorno alle 5 a.m.: i livelli (elevati) dei transiti veicolari locali portano ad escludere del tutto la presenza di vento. Insolitamente contenuto il livello del Rumore di Fondo (L-95): meno di 38 dB"A" Leq., a conferma dell'assenza di vento e del fortissimo decremento del traffico veicolare notturno, indotto dalla chiusura della manifestazione maggiore.

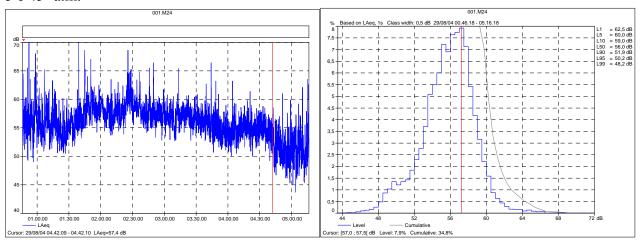


**Fig.24** a/b: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, pochi giorni dopo la riapertura della manifestazione. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai **52 dB"A" Leq.**, a conferma della cautela imposta dagli organizzatori, ma è mantenuto fino a circa le 4 a.m. <u>Il pubblico nell'area è assai meno del solito</u>, come conferma il livello di Rumore Residuo di appena **40 dB"A" Leq.** subito dopo le 4 a.m. (i transiti veicolari vicini, di ampiezza normalmente elevata, confermano l'assenza di vento).



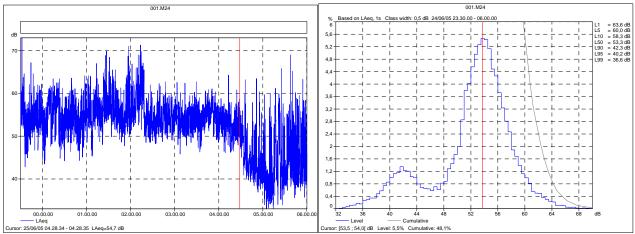
41 di 50 - Prima stesura della "Linea Guida 9", di Fabrizio Calabrese, per l'A.P.A.T.

**Fig.25 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, <u>appena tre giorni dopo il precedente</u>. Il livello di Rumore Ambientale raggiunge nuovamente i <u>54 dB"A" Leq</u>. e questo livello è mantenuto ben oltre le 4 e 30' a.m. Il livello di Rumore Residuo raggiunge il valore di **45 dB"A" Leq**. solo dopo le 5 e 45' a.m.



**Fig.26 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta, **una settimana dopo il precedente**. Il livello di Rumore Ambientale raggiunge nuovamente il livello "tradizionale" di **57 dB"A" Leq.**, che è mantenuto anche oltre le 4 e 30' a.m. Il livello di Rumore Residuo resta alto ed anomalo, verosimilmente per il traffico veicolare del pubblico che lascia l'area solo dopo le 4 e 30'.

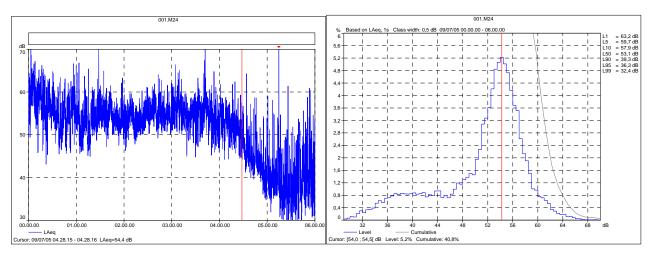
La stagione 2004 si conclude, come la precedente, con una sostanziale conferma dei livelli d'immissione verso l'abitato. Nell'estate 2005 la manifestazione maggiore verrà ricollocata in altra area, per cui i successivi due rilevamenti mostreranno solo il contributo delle manifestazioni minori rimaste attive nei pressi: il valore di Rumore Ambientale rilevato confermerà le deduzioni già proposte nei commenti ai rilievi della stagione precedente (vedi <u>Fig.23 a/b</u>).



**Fig.27 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai **54 dB"A" Leq**. ed è quasi costante dalle 2 e 30' alle 4 e 30' a.m.

Il livello di Rumore Residuo è di appena **42 dB"A" Leq**. e conferma il minore afflusso di pubblico nell'area.

Lo spegnimento degli impianti audio in un preciso orario è causa della formazione di due popolazioni statistiche di dati assai nette e bene individuabili. Diversamente, quando sono attive più manifestazioni contigue e quando il pubblico nell'area è assai numeroso, è il rumore dei veicoli in allontanamento ad elevare il livello di Rumore Ambientale fin quasi all'alba.



**Fig.28 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 400 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno ai **54,5 dB"A" Leq**. ed è praticamente costante sino alle 4 e 30' a.m. Il livello di Rumore Residuo è di **appena 40 dB"A" Leq**., ulteriore conferma del minore afflusso di pubblico nell'area.

E' confermato il livello veramente minimo del Rumore di Fondo (L-95): appena **36 dB"A" Leq.**, in assenza di vento e grazie al fortissimo decremento del traffico veicolare notturno, indotto dalla dislocazione altrove della manifestazione maggiore.

FINE (Appendice "A")

Un caso assai particolare, se non unico, vuole che le stesse abitazioni interessate in estate dalle immissioni acustiche delle manifestazioni estive all'aperto, documentate nell'Appendice "A", siano sottoposte, d'inverno, alle immissioni prodotte da una manifestazione che si svolge al coperto, sotto un ampio tendone.

Questa manifestazione, che si avvale degli stessi impianti a noleggio impiegati d'estate, è dislocata ad esattamente 200 metri di distanza ed in linea di vista diretta dalle finestre dell'abitazione al VI piano presso la quale sono stati effettuati la maggior parte dei rilevamenti dell'Appendice "A".

La documentazione che segue è dunque doppiamente importante dal punto di vista tecnico: essa permette di approfondire le implicazioni del trasferimento al coperto di uno stesso impianto audio, ancorché al di sotto di una struttura assai poco fonoisolante, oltre a fornire un'interessante conferma dei livelli di Rumore Residuo riscontrabili nell'area, presso un'abitazione in pieno centro urbano, ma non in vista di direttrici con intenso traffico veicolare.

Per tutti i rilevamenti i cui risultati sono illustrati e commentati di seguito è stata impiegata sempre la "tecnica di campionamento" (vedi D.M. 16/03/1998, Allegato "B", comma 2, lettera "b"). Sono stati campionati valori di Livello Equivalente ponderato "A" ad intervalli di un secondo e per periodi di misura di diverse ore, in modo di includere un periodo di silenzio relativo (Rumore Residuo), nell'intervallo successivo al termine della manifestazione. L'analisi statistica di queste decine di migliaia di campionamenti compare come secondo grafico (b), alla destra di quello (a) che illustra l'andamento dei campioni di LAEq (1 s.) rispetto al tempo. L'abitazione presso cui sono stati effettuati i rilevamenti fonometrici commentati qui di seguito è sempre la stessa, al VI piano, a 200 metri, in linea di vista. I rilievi sono stati tutti (tranne uno) eseguiti a finestra aperta, ad un metro all'interno, in un ambiente di dimensioni medio-piccole, con arredi assorbenti. Il rilievo a finestra chiusa dimostra l'efficacia dei doppi vetri nell'isolare egualmente le immissioni ed il Rumore Residuo, mantenendo praticamente intatta l'entità della violazione al Criterio Differenziale.

Rispetto alla manifestazione estiva, qui la distanza è dimezzata, da 400 a 200 metri, ed è assente ogni ostacolo interposto. Alcune pareti degli edifici che delimitano l'area in cui è installato il tendone si comportano come riflettori, la cui efficacia è stata moltiplicata (cioè estesa fino a frequenze più basse) dal montaggio più recente (autunno 2005) del tendone, avvicinato ad un angolo. I livelli d'immissione relativamente più alti di quelli estivi si spiegano facilmente ipotizzando che il coefficiente di fonoisolamento del tendone sia dello stesso ordine dell'incremento di energia introdotto dalla presenza di un campo riverberato, aggiungendovi i fattori risultanti dal dimezzamento della distanza, dall'assenza di ostacoli, dalla presenza delle pareti riflettenti ed anche da una sostanziale minore cautela nell'impiego degli impianti audio (nell'erronea convinzione che il disturbo sia meno avvertibile d'inverno, a finestre chiuse).

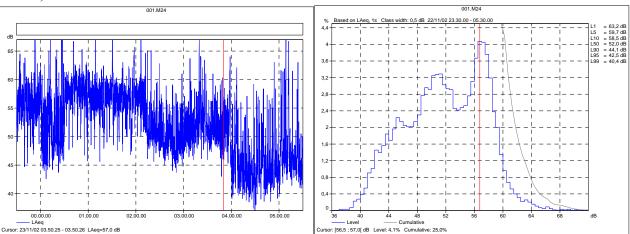


Fig.1 a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno ai 57 dB"A"

Leq. in orario compreso tra le 00,30' e le 2 a.m., in probabile coincidenza con un concerto, mentre fino alle 4 a.m. è prossimo ai 51 dB"A" Leq. (discoteca). Il livello di Rumore Residuo è di 45 dB"A" Leq., assolutamente tipico.

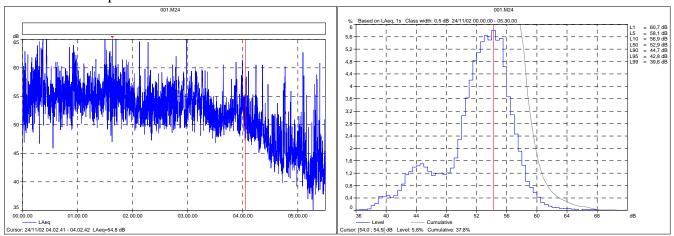
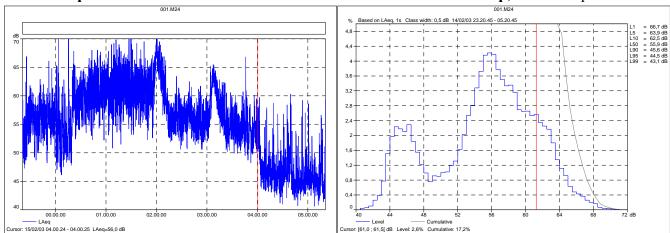
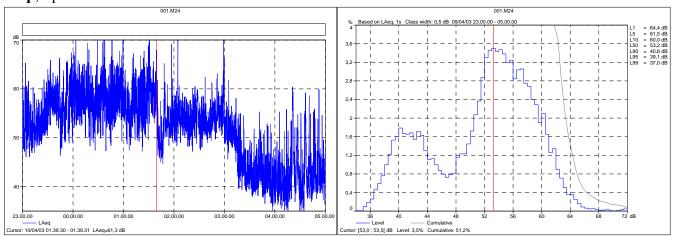


Fig.2 a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. Il livello di Rumore Ambientale varia dai 52 ai 56 dB"A" Leq. fino alle 4 a.m. Il livello di Rumore Residuo è di 45 dB"A" Leq., del tutto tipico.



**Fig.3** a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai <u>61 dB"A" Leq.</u> in orario compreso tra le 00,30' e le 2 a.m., <u>in coincidenza con un concerto</u>, mentre fino alle 4 a.m. è prossimo ai **56 dB"A" Leq.** (discoteca). Il livello di Rumore Residuo è compreso tra **44 e 47 dB"A" Leq.**, tipico.

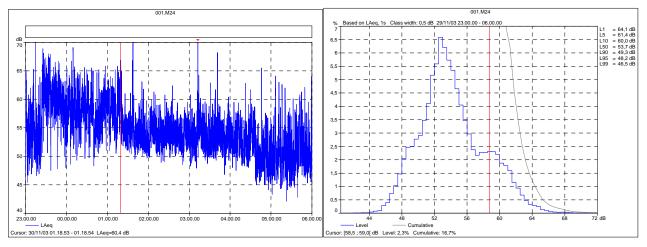


**Fig.4** a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai <u>60 dB"A" Leq</u>. in

orario compreso tra le 23 e 30' e l'1 e 40' a.m., <u>in coincidenza con un concerto</u>, mentre fino alle 3 a.m. è prossimo ai **54 dB"A" Leq.** (con musica da discoteca).

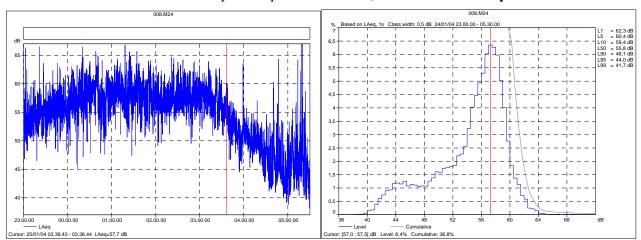
Il livello di Rumore Residuo è compreso tra 39 e 44 dB"A" Leq., appena inferiore alla media.

Successivamente, il tendone viene smontato in vista della stagione estiva e ricollocato in autunno (2003). I successivi rilievi sono riferiti al nuovo allestimento, praticamente analogo al precedente.



**Fig.5** a/b: Rilievo all'interno di un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai <u>59 dB"A" Leq.</u> in orario compreso tra le 23 e 30' e l'1 e 20' a.m., <u>in coincidenza con un concerto</u>, mentre fino alle 4 a.m. è stabile intorno ai 53 dB"A" Leq. (discoteca).

Il livello di Rumore Residuo è di poco superiore al solito, con 48 dB"A" Leq.

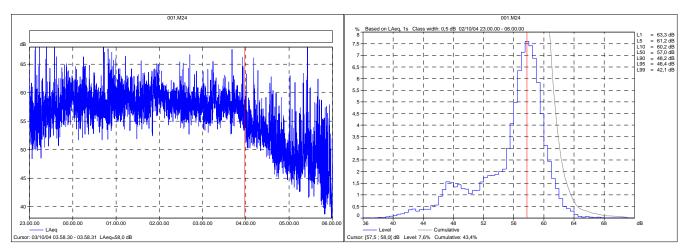


**Fig.6** a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. <u>Il livello di Rumore Ambientale oscilla di pochissimo intorno ai 57 dB"A" Leq.</u> fino alle 3 e 30' a.m.

Il livello di Rumore Residuo è di 45 dB"A" Leq., di nuovo assolutamente tipico.

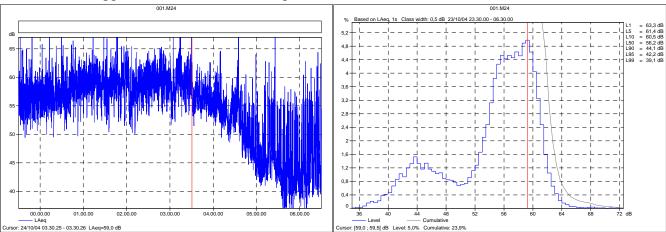
Questi rilevamenti rappresentano bene la situazione sino all'estate 2004, quando il tendone viene nuovamente smontato, per ricomparire, regolarmente, nell'autunno del 2004, cui si riferiscono i rilievi successivi.

In questi anni è avvenuto un progressivo incremento delle potenze installate: trattandosi di impianti noleggiati, sono le stesse società di noleggio a sostituire i loro amplificatori, p.es. da 2-4 KWatt, con i nuovi modelli da 3-6 KWatt, di costo ed ingombro paragonabili ai precedenti. Nel contempo le tecniche di registrazione si evolvono, con la diffusione di software di "massimizzazione", che permettono di incidere livelli medi assai più elevati, a parità di livello di picco. Ma gli impianti sono dimensionati per riprodurre senza distorsione i picchi, per cui le nuove incisioni consentono innalzamenti dei livelli medi di anche 10-12 deciBel, a parità di diffusori ed amplificatori.



**Fig.7** a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di pochissimo intorno ai **58 dB"A" Leq.** fino a circa le 4 a.m.

Il livello di Rumore Residuo è di **48 dB"A" Leq.**, appena superiore al valore tipico di 45 dB"A" Leq., che è tuttavia raggiunto verso il termine del periodo di rilevamento.



**Fig.8 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. Il livello di Rumore Ambientale oscilla <u>tra 56 e 60 dB"A" Leq</u>. fino alle 3 e 30' a.m., discendendo poi gradualmente. E' dunque confermato che le maggiori potenze installate per la stagione estiva siano state trasferite anche al coperto, in inverno. Il livello di Rumore Residuo è di **44 dB"A" Leq**., il normale livello nell'area.

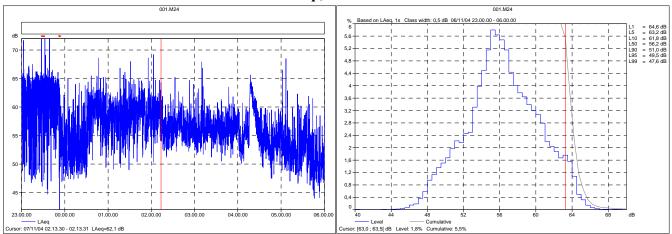
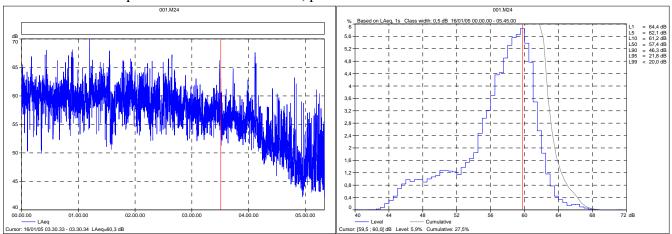


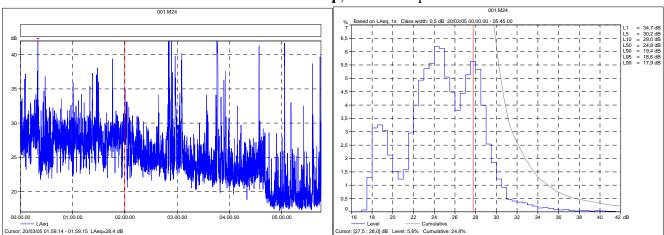
Fig.9 a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai 63 dB"A" Leq. prima della mezzanotte ed in orario compreso tra le 00,30' e le 2 a.m., in coincidenza

con un concerto, mentre fino alle 5 a.m. è prossimo ai **56 dB"A"** Leq. (discoteca). Il livello di Rumore Residuo è praticamente non rilevabile, per via del traffico veicolare di allontanamento dall'area.



**Fig.10 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone. Il livello di Rumore Ambientale oscilla di poco intorno ai **60 dB"A"** Leq. fino a circa le 3 a.m., discendendo poi gradualmente.

Il livello di Rumore Residuo è di 47-48 dB"A" Leq., ma solo dopo le 4 e 45'.



**Fig.11 a/b**: Rilievo all'interno di un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, **a finestra chiusa e con doppi vetri**. Il livello di Rumore Ambientale è pari a **28 dB"A" Leq**. fino alle 2 a.m., poi scende sino a 24 dB"A" Leq. Il livello di Rumore Residuo (a finestre chiuse) è di appena **19 dB"A" Leq**., valore minimo rilevabile dal fonometro. Il limite della "*normale tollerabilità*" è comunque ecceduto, nella stessa misura in cui lo era a finestre aperte.

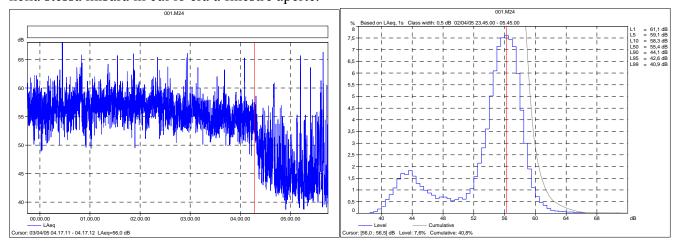
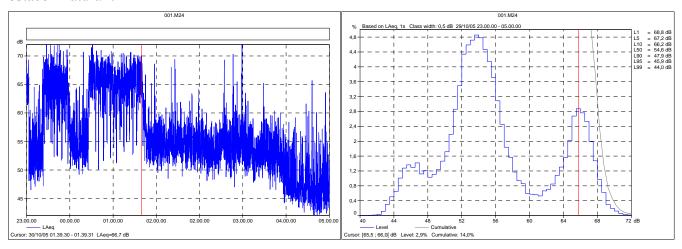


Fig.12 a/b: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone, nella primavera 2005. Il livello di Rumore Ambientale è

assai stabile intorno a **56 dB"A"** Leq. fino alle 4 e 20' a.m. Il livello di Rumore Residuo è di **44 dB"A"** Leq., assolutamente tipico nell'area.

La stagione invernale e primaverile 2005 si chiudono con questi andamenti tipici: una volta superata senza sanzioni una quota ampiamente superiore alla metà delle serate programmate, appare possibile, agli organizzatori, fare a meno di ogni precauzione in ordine ai livelli d'immissione verso l'abitato; questo spiega non solo gli alti livelli rilevati, ma anche la loro costanza fin quasi all'alba.

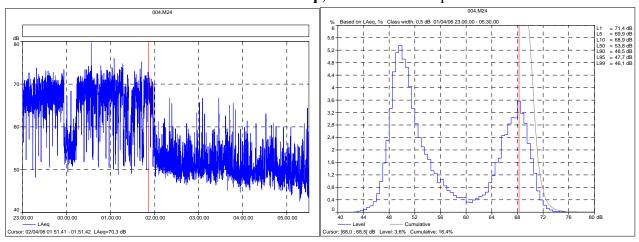
Ancora una volta il tendone viene smontato per l'estate, ma nell'autunno del 2005 esso verrà ricollocato a ridosso di un angolo formato da due edifici che delimitano l'area. Questo incrementerà il livello delle immissioni verso l'abitato a sud-ovest, esposto alle riflessioni causate da queste due pareti, mentre l'effetto di schermatura interesserà le sole abitazioni a nord-est, già in precedenza riparate da altri ostacoli naturali.



**Fig.13 a/b**: Rilievo in un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone, nell'autunno 2005.

Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai 66 dB"A" Leq. dalle 23 e 30' all'1 e 40' a.m., con una breve pausa (del concerto ?). Successivamente la discoteca opera al tradizionale livello di Rumore Ambientale di 54 dB"A" Leq., sino alle 4 a.m.

Il livello di Rumore Residuo è di 46 dB"A" Leq., livello del tutto tipico nell'area.



**Fig.14 a/b**: Rilievo all'interno di un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un metro all'interno, in linea di vista diretta del tendone, nella primavera 2006. **Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai 68 dB"A"** Leq. dalle 23 alle 2 a.m., con una breve pausa (a mezzanotte). Il livello di Rumore Residuo è di **50 dB"A"** Leq.

Si tratta probabilmente dei più alti valori d'immissione registrati all'interno di abitazioni: essi sono del tutto analoghi ai livelli immessi da un tronco ferroviario primario in abitazioni a meno di 20 metri di distanza dai binari.

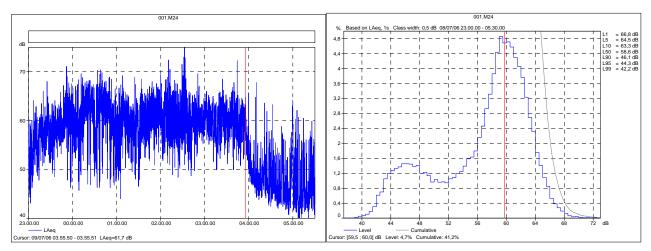
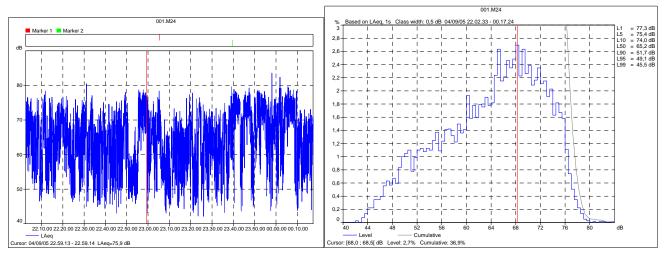


Fig. 15 a/b: Rilievo all'interno di un'abitazione a 200 m. di distanza, al VI piano, a finestra aperta, un tendone, all'interno, in linea di vista diretta del ad inizio estate Il livello di Rumore Ambientale oscilla intorno ai 60 dB"A" Leg. dalle 23 e 30' alle 4 a.m. Il livello di Rumore Residuo è di 46 dB"A" Leq. Un ingrandimento, commentato nel testo di questa Linea Guida n.9, dimostra che il livello operativo dell'impianto è ritenuto accettabile, da parte del pubblico e degli esecutori, quando il livello d'immissione raggiunge i 65 dB"A" Leq.: dunque il livello medio di questa notte di attività è frutto di un compromesso, attuato in presenza di una forte conflittualità giudiziaria con i residenti nell'area.

## Un confronto esplicativo



**Fig.16 a/b**: Per tentare di rendere al meglio la misura di quanto corrisponda, alla percezione, il livello delle immissioni rilevate nell'abitazione di cui ai grafici precedenti, è stato effettuato un semplice esperimento, che ogni *tecnico competente* può personalmente replicare con facilità.

In un normale soggiorno, relativamente silenzioso ma a finestre aperte, in estate, è stato collocato un fonometro che ha permesso di rilevare il normale livello d'ascolto domestico di un film (uno degli episodi del "Signore degli Anelli"), riprodotto nel formato "*Dolby Digital*" tramite un convertitore esterno e con un impianto audio in grado di superare i 100 dB di Picco Lineare.

Il controllo del volume d'ascolto è stato lasciato a disposizione dei presenti, in modo che lo regolassero secondo quanto ritenuto più gradevole e/o accettabile. Il risultato del rilevamento, espresso in termini di valore di maggiore frequenza, è proprio di <u>68 dB"A" Leq.</u>, cioè lo stesso valore di Fig.13 a/b. Se ne deduce che il livello delle immissioni è esattamente pari al normale livello d'ascolto di un film tra i più impegnativi, per scene d'azione, nel formato caratterizzato dalla più ampia dinamica.

**FINE**