

Il rumore ambientale



Contenuti

| | |
|--|----|
| Informazioni sull'opuscolo | 3 |
| Introduzione | 4 |
| Cos'è il suono? | 7 |
| Tipi di rumore | 14 |
| Propagazione del rumore nell'ambiente | 16 |
| Identificazione delle sorgenti di rumore..... | 23 |
| Misura del rumore | 25 |
| Calibrazione | 29 |
| Classificazione – Disturbo e fattori di penalizzazione | 30 |
| Valutazione (Limiti) | 32 |
| Il report di misura | 40 |
| Calcolo dei livelli di rumore (determinazione dei dati futuri)..... | 42 |
| Pianificazione | 47 |
| Riduzione del rumore..... | 51 |
| Misure sotto sorveglianza o in automatico..... | 54 |
| Monitoraggio permanente | 57 |
| Normative internazionali | 60 |
| Parametri di rumore ambientale e terminologia | 63 |
| Informazioni riguardo Brüel & Kjær | 68 |

Copyright © 2000 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.

Questa pubblicazione è protetta dalla legge sui diritti d'autore e dai trattati internazionali.

I contenuti possono essere copiati e distribuiti per l'intero o in parte, a condizione che la sorgente sia specificata e riconosciuta come Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Danimarca.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S non si ritiene responsabile di nessuna perdita o danno, diretto o indiretto, che possa accadere in conseguenza all'uso di questo opuscolo.

Informazioni sull'opuscolo

Questo opuscolo descrive le varie forme di rumore ambientale/inquinamento acustico a cui siamo soggetti – per esempio rumore proveniente da aree industriali, da traffico stradale e ferroviario, da aeroporti e complessi commerciali, ma non ricopre quegli argomenti in correlazione come l'acustica architettonica, le vibrazioni nei fabbricati ed il rumore domestico e neanche ciò che riguarda la risposta umana alle vibrazioni e gli usi industriali delle misure acustiche e delle vibrazioni. Per ricevere informazioni più approfondite riguardo queste materie, vi preghiamo di contattare il Vostro rappresentante locale Brüel & Kjær. Anche se non si può garantire un'informazione totale di tutti gli aspetti, si è cercato di presentare in questo opuscolo una panoramica aggiornata di tutte le normative, raccomandazioni, regolamenti e metodi relativi all'inquinamento acustico. Per ottenere informazioni più dettagliate e pertinenti al Vostro Stato, Regione o Comune, Vi consigliamo di consultare le autorità locali in materia.

Introduzione

Tutti i giorni siamo testimoni di storie legate a problemi di rumore ambientale, alcune di queste raggiungono anche alti gradi di drammaticità, fortunatamente in minima parte, anche se tutt'oggi vengono investite molte risorse finanziarie e fatti molti sforzi per risolvere conflitti in relazione all'inquinamento acustico.

Questo tipo di rumore interessa tutto il pianeta, ma il modo con cui viene affrontato è enormemente diverso da paese a paese e dipende dal tipo di cultura, di economia e di politica. I problemi però persistono anche in quegli Stati dove si è investito maggiormente in risorse per la regolazione, la valutazione e l'attenuazione delle sorgenti di rumore o per la creazione di barriere anti-rumore.

Per esempio grossi sforzi sono stati fatti per ridurre il rumore da traffico alla sorgente ed infatti le automobili di oggi sono molto più silenziose di quelle costruite 10 anni fa. Purtroppo però il volume di traffico è aumentato in modo così considerevole che l'effetto di questo sforzo ingegneristico è stato come cancellato ed il livello di disturbo è comunque in incremento. Le auto più silenziose hanno perciò migliorato la qualità della nostra vita per un certo periodo, ma non completamente. Non esistono stime in nessuna parte del mondo riguardanti l'impatto ed il costo del rumore ambientale, tuttavia un'esempio importante che riguarda la maggior parte dell'Europa è – la Carta Verde dell'Unione europea sulla politica del rumore futuro (1996).



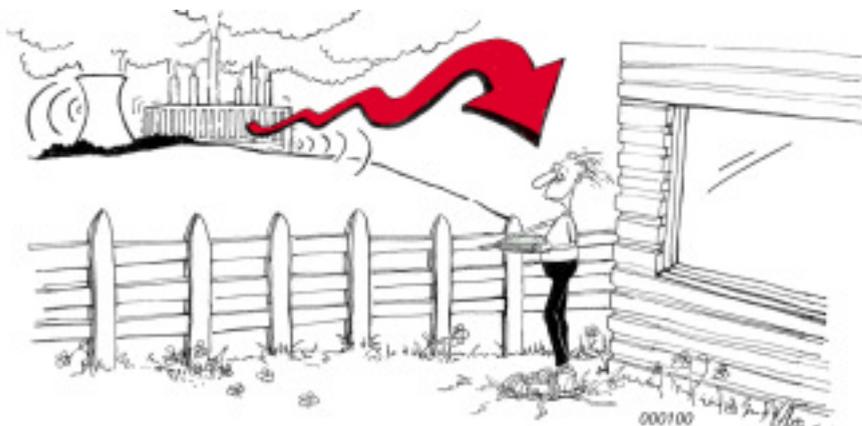
000082

- La Carta Verde fornisce la stima che, in termini di numero di popolazione vittime del rumore, il 20% della popolazione (80 milioni di persone) soffrono di disturbi legati ad esposizioni a livelli di rumore inaccettabili, come l'insonnia, o stati generali di insofferenza ed altri problemi di salute. Inoltre oltre 170 milioni di cittadini europei vivono in aree dove i livelli di rumore causano seri disturbi durante il giorno
- In termini finanziari, l'inquinamento acustico ambientale costa alla società una cifra che varia dallo 0.2% al 2% del prodotto interno lordo nazionale. Anche la cifra più bassa rappresenta un costo enorme

Protezione dall'inquinamento acustico ambientale

I programmi di protezione dall'inquinamento acustico ambientale differiscono da Stato a Stato. I requisiti legali non sono gli stessi, sono diverse le tecniche ed i metodi di valutazione e varia anche l'attenzione data dalla politica. Tuttavia ci sono aspetti comuni che riguardano il lavoro di tutti gli organi ufficiali che si occupano della materia.

- la progettazione di nuove aree residenziali ed industriali, autostrade, aeroporti, ecc.
- la gestione dei reclami provenienti dai cittadini, sia durante la progettazione che lo sviluppo successivo
- il controllo sull'osservanza o non osservanza delle sorgenti rumore (quali impianti industriali, complessi commerciali, aeroporti, autostrade, reti ferroviarie, ecc) in accordo alla legislazione locale

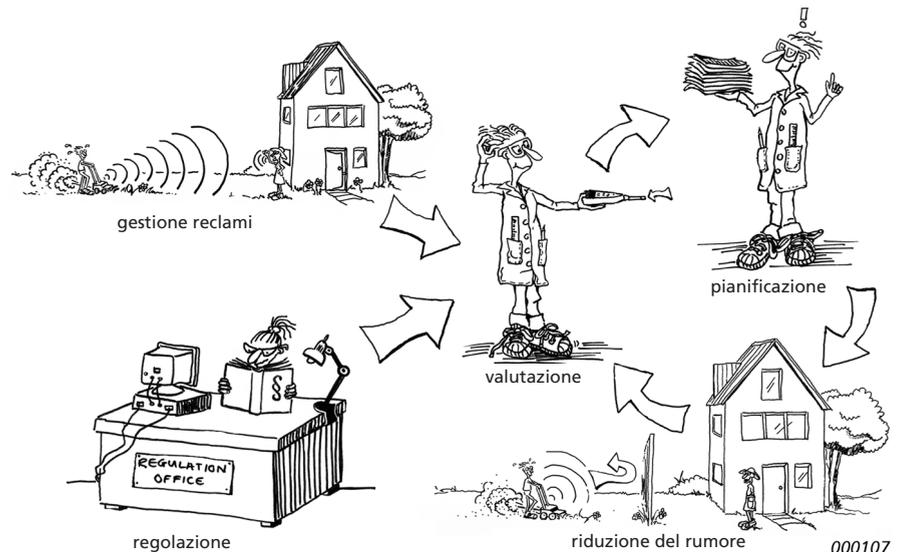


All'interno di queste più importanti aree di lavoro, l'ispettore ambientale viene chiamato ad effettuare quei compiti che comprendono:

- l'esecuzione di misure sul campo
- l'esame del rumore proveniente da sorgenti specifiche
- il calcolo dei livelli di rumore atteso
- la mappatura dei livelli di rumore
- la preparazione dei report per i cittadini o per gli organi competenti
- l'archivio ed il recupero dei dati
- la testimonianza esperta in materia

Questi compiti sono in continua domanda e visto l'aumento ed il significato dell'inquinamento acustico ambientale, viene richiesto sempre più spesso un alto livello conoscitivo del problema, non solo dai professionisti del campo, ma anche dagli uffici competenti ed dai cittadini. Questo opuscolo è stato concepito per tutti.

L'opuscolo presenta i problemi in cui si incorre lavorando con il rumore ambientale e le probabili soluzioni. Sfortunatamente, per motivi di spazio, non possiamo affrontare ciascun argomento in profondità, come per esempio non possiamo descrivere tutte le leggi nazionali e regionali in dettaglio. Tuttavia abbiamo cercato di coprire le tematiche più importanti in maniera chiara e comprensibile. Per ulteriori dettagli Vi invitiamo a contattare il Vostro rappresentante locale Brüel & Kjær.



Cos'è il suono?

Cos'è il suono?

Il suono può essere definito come una qualsiasi variazione della pressione che l'orecchio umano può percepire. Un movimento d'onda viene modificato quando un elemento fa muovere la particella di aria più vicina. Questo movimento gradualmente si propaga alle particelle di aria adiacenti, lontani dalla sorgente. A seconda del tipo del conduttore, il suono si propaga a diverse velocità. In aria, ha una velocità di circa 340 m/s, mentre nei liquidi e solidi, la velocità di propagazione è maggiore di 1500 m/s in acqua e 5000 m/s nell'acciaio.

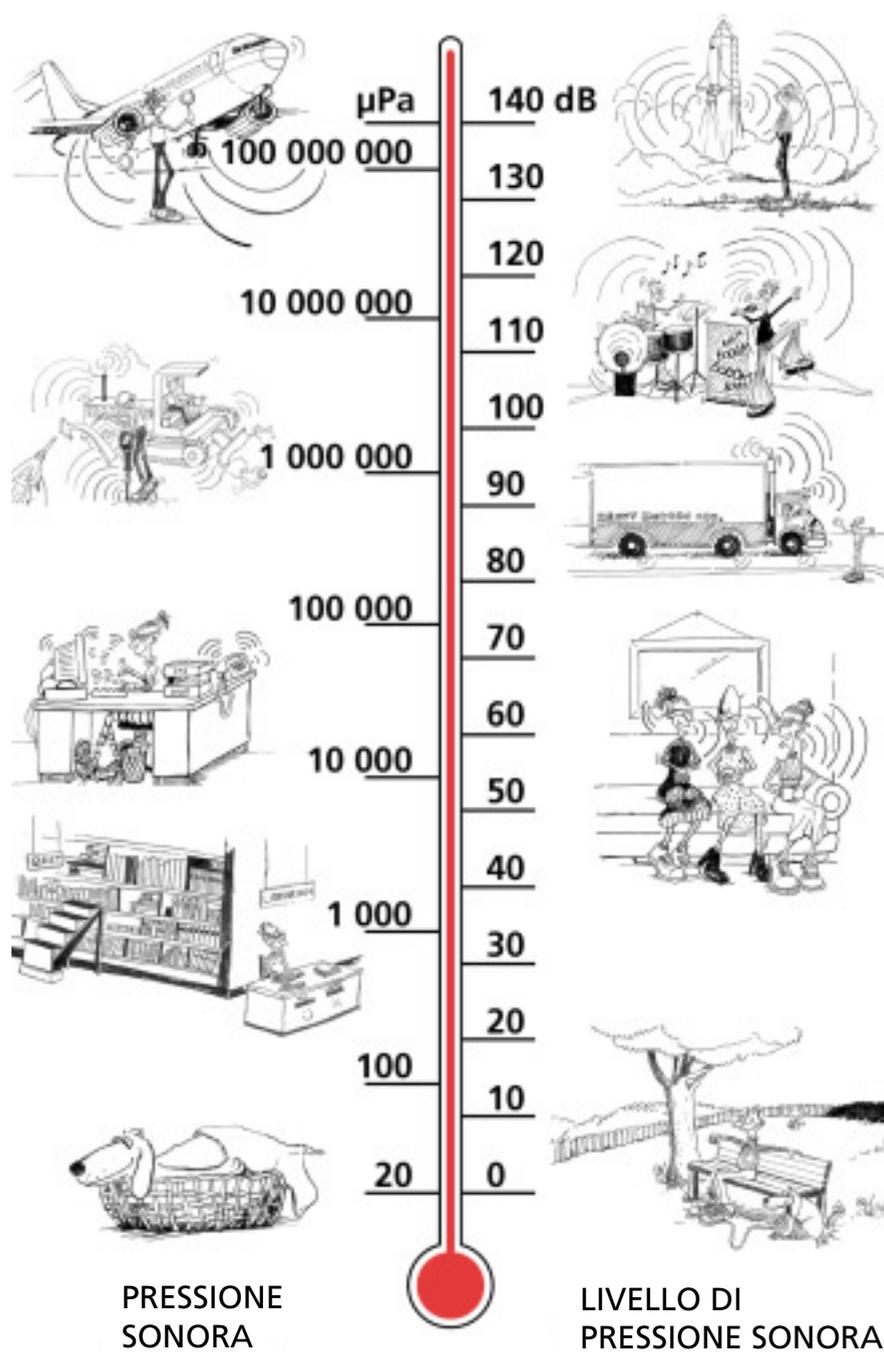
Livelli tipici di rumore

Confrontate con la pressione statica dell'aria (10^5 Pa), le variazioni di pressione sonora udibile sono molto piccole, comprese tra i circa $20 \mu\text{Pa}$ (20×10^{-6} Pa) e 100 Pa.

$20 \mu\text{Pa}$ corrispondono alla soglia di udito di una persona media ed è perciò chiamata la soglia di udibilità. Una pressione sonora di circa 100 Pa è così forte che causa dolore ed è perciò chiamata soglia del dolore. Il rapporto tra questi due estremi è maggiore di 1 milione.

Un'applicazione diretta delle scale lineari (in Pa) alla misura della pressione sonora porterebbe a numeri impossibili ed inoltre, poiché l'orecchio risponde allo stimolo in modo logaritmico piuttosto che in modo lineare, è sicuramente più pratico esprimere i parametri acustici come un rapporto logaritmico tra il valore misurato ed il valore di riferimento. Questo rapporto logaritmico è chiamato decibel o dB. Il vantaggio del dB può essere chiaramente compreso nell'illustrazione della pagina seguente. Qui la scala lineare con numeri elevati viene convertita in una scala più gestibile che parte da 0 dB ($20 \mu\text{Pa}$, soglia di udibilità, e finisce a 130 dB (-100 Pa), soglia del dolore.

Il nostro udito copre un'ampia gamma di pressioni sonore – un rapporto di un milione ad uno. La scala in dB rende questi numeri più gestibili

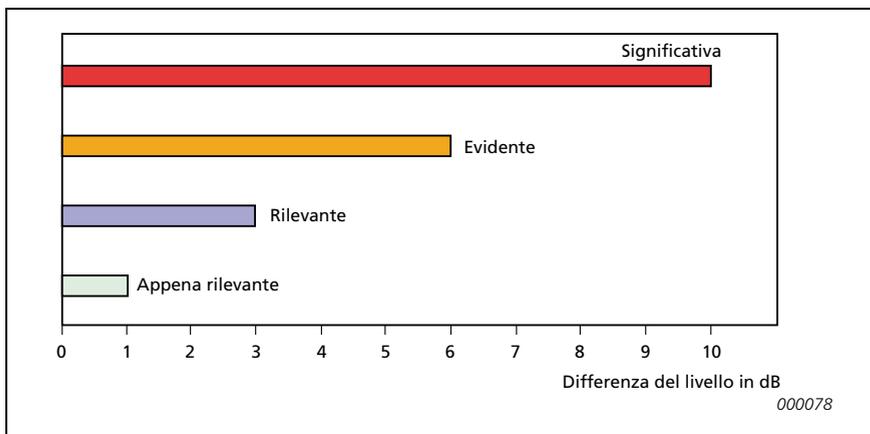


000177

La percezione del suono

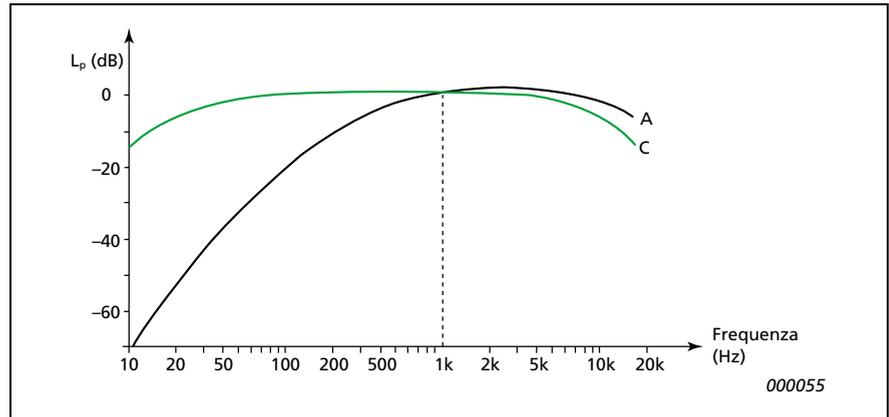
Abbiamo già definito il suono come una qualsiasi variazione di pressione che può essere percepita dall'orecchio umano. Il numero delle variazioni di pressione per secondo è chiamata frequenza del suono e viene misurata in hertz (Hz). L'udito normale di una persona giovane ed in buona salute rientra in una gamma da circa 20 Hz a 20000 Hz (20 kHz).

In termini di livello di pressione sonora, la gamma sonora udibile è compresa tra la soglia di udibilità a 0 dB e la soglia del dolore a 130 dB e oltre. Se un aumento di 6 dB significa un raddoppiamento della pressione sonora, si richiede almeno un incremento di 8 – 10 dB, prima che il suono sia percepito oggettivamente più forte. Similmente, la variazione percepibile più piccola è di circa 1 dB.



Curve di ponderazione in frequenza

Il nostro udito è meno sensibile alle frequenze più basse e più alte. Per tenerne conto, durante la misura del suono, vengono applicati dei filtri di ponderazione. La ponderazione di frequenza più comunemente usata è la “ponderazione A” che fornisce risultati indicati come dB(A), molto vicini alla risposta dell'orecchio umano. Una curva di “ponderazione C” viene talvolta usata in particolare modo nella valutazione di suoni molto forti o a frequenze molto basse.

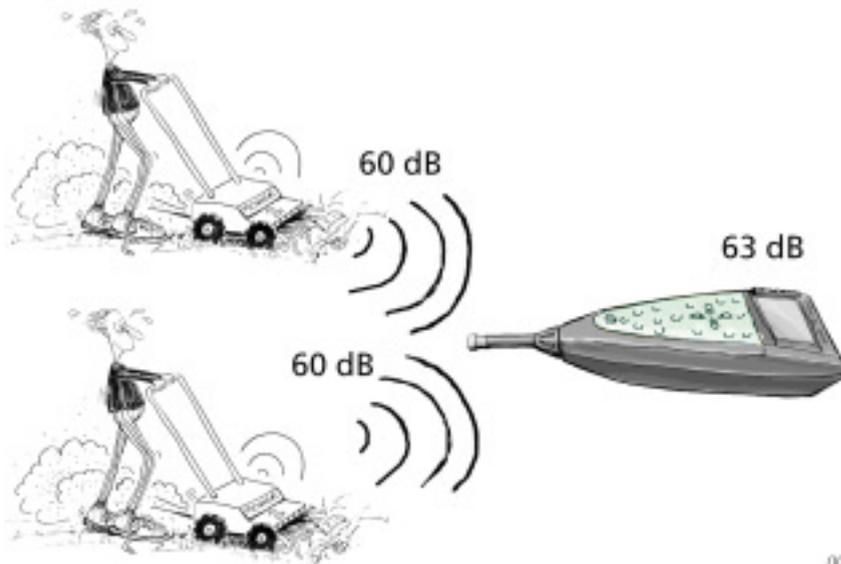


Addizione e sottrazione dei livelli sonori

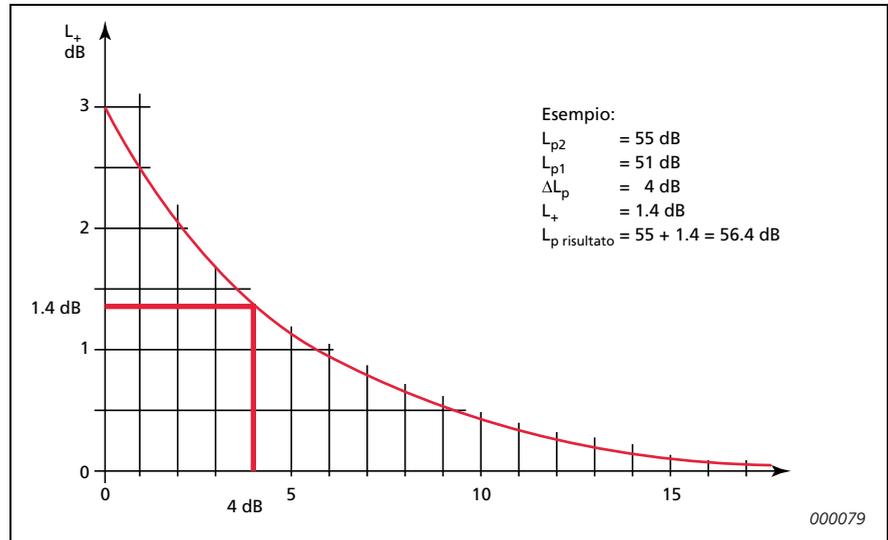
Addizione dei livelli sonori

Se i livelli provenienti da due o più sorgenti sonore sono stati misurati separatamente e si desidera conoscere il totale del livello di pressione sonora, questi devono essere addizionati insieme. Tenendo però conto che i dB sono valori logaritmici, non possono essere semplicemente sommati aritmeticamente. Un modo di sommare i dB è quello di convertire i singoli valori dB in valori lineari, sommarli e convertirli nuovamente, usando la seguente equazione:

$$L_{ptotale} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



Un metodo facile è quello di usare la curva della figura e seguire la procedura seguente:



1. misurare separatamente il livello di pressione sonora (SPL – Sound Pressure Level) di ciascuna sorgente di rumore (L_{p1} , L_{p2}).
2. trovare la differenza (ΔL) tra questi livelli ($L_{p2} - L_{p1}$).
3. trovare la differenza sull'asse orizzontale del grafico. Trovare l'intersezione sulla curva e quindi leggere il valore sull'asse verticale a sinistra del grafico.
4. aggiungere il valore indicato (L_+) sull'asse verticale al livello della sorgente sonora più rumorosa (L_{p2}). Questo dà la somma del SPL delle due sorgenti di rumore.
5. se sono presenti tre o più sorgenti di rumore, i passi da 1 a 4 devono essere ripetuti usando la somma ottenuta per le prime due sorgenti e l'SPL di ciascuna sorgente successiva

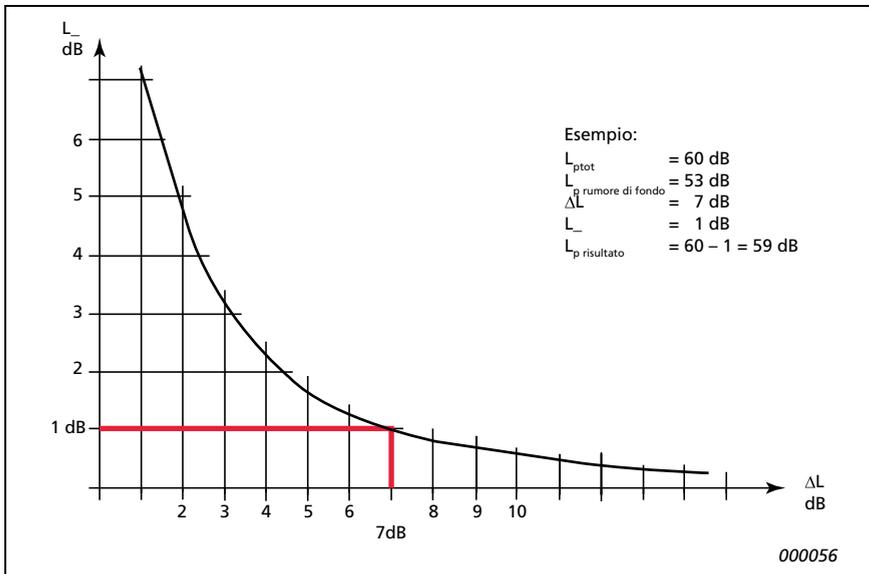
Tenere presente che una differenza di $\Delta L = 0$ corrisponde alla situazione mostrata nella figura precedente dove 3 dB sono stati sommati al livello espresso da una sola sorgente. Se la differenza supera i 10 dB il contributo della sorgente meno rumorosa può essere scartato.

Sottrazione dei livelli sonori

Spesso è necessario dover sottrarre il rumore di fondo dal livello SPL. La correzione del rumore di fondo può essere eseguita sottraendo il rumore di fondo (L_p rumore di fondo) dal livello del rumore totale (L_{ptot}) usando la seguente equazione o curva:

$$L_{p\text{risultato}} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{ptot}}{10}} - 10^{\frac{L_{prumoredifondo}}{10}} \right)$$

Se ΔL è inferiore a 3 dB, il rumore di fondo è troppo alto per eseguire una misura precisa ed il livello di rumore corretto non può essere rilevato fino a quando il rumore di fondo non è stato ridotto. Se, al contrario, la differenza è superiore a 10 dB, il rumore di fondo può essere ignorato.



Tipi di rumore

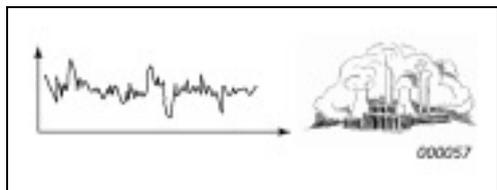
Rumore non è solo rumore

A casa come a lavoro, spesso siamo esposti a rumori dovuti all'impianto di ventilazione o a quello di riscaldamento che difficilmente percepiamo, perché non ha caratteristiche di rilievo. Questo tipo di rumore è continuo e non ha tono, ma se il ventilatore si arresta improvvisamente o inizia a sibillare, il cambiamento ci disturba ed infastidisce. Il nostro udito ha riconosciuto un'informazione nel suono che percepiamo, informazione di cui non si necessita e che non si desidera. Le caratteristiche del rumore che attirano il nostro ascolto e la nostra attenzione sono i toni ed i cambiamenti nel livello sonoro: quello più preminente è il tono e quello più inaspettato è il cambio di livello sonoro, il più rilevante è il rumore.

Quando si misura il rumore, dobbiamo riconoscerne il tipo, in modo da scegliere i parametri da misurare, la strumentazione da impiegare e la durata della misura. Spesso dovremo usare le nostre orecchie per individuare con precisione le caratteristiche di fastidio del rumore, prima di eseguire le misure, esaminarle e documentarle.

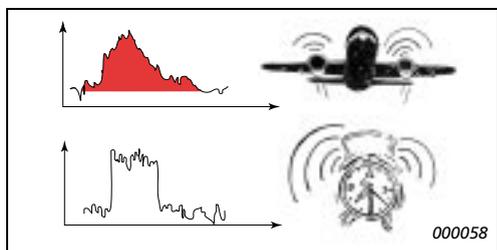
Rumore continuo

Il rumore continuo è prodotto da macchinari che funzionano nello stesso modo senza interruzioni, per esempio compressori, pompe ed impianti per la lavorazione. La durata della misura del livello di rumore può essere di pochi minuti ed effettuata con strumenti portatili. Se i toni o le basse frequenze sono udibili, è necessario misurare lo spettro della frequenza, per la documentazione e le successive analisi.



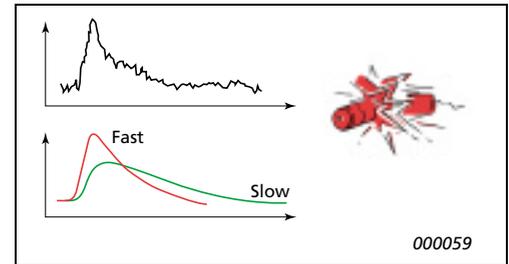
Rumore intermittente

Quando un macchinario funziona in cicli, oppure quando un singolo veicolo o un aeroplano passa nelle vicinanze, il livello di rumore aumenta e diminuisce rapidamente. Per ciascun ciclo di una sorgente come un macchinario, il livello può essere misurato come un rumore continuo, anche se la durata del ciclo deve essere comunque annotata. Un passaggio di un veicolo o di un aeroplano viene invece chiamato evento. Per misurare il rumore di un evento, viene misurato il livello di esposizione sonora (SEL), combinando il livello con la durata in un singolo elemento di identificazione. Si può utilizzare anche il livello di pressione sonora massima: un certo numero di eventi simili può essere usato per stabilire una media attendibile.



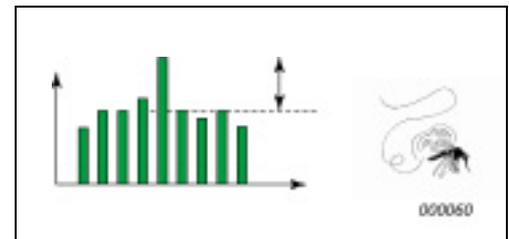
Rumore impulsivo

Il rumore da impatto o di un'esplosione, per esempio come quello prodotto da battipali, presse meccaniche o colpi di pistola è chiamato rumore impulsivo. La caratteristica è di essere breve e brusco ed il suo effetto di sorpresa causa più fastidio di quello aspettato da una semplice misura di un livello di pressione sonora. Per quantificare l'impulsività del rumore, viene usata la differenza tra i parametri di una risposta veloce e di una risposta lenta (come visto nel grafico in basso). La velocità di ripetizione (il numero di impulsi per secondo, minuto, ora o giorno) deve essere documentata.



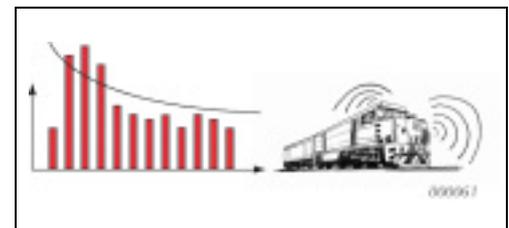
Toni del rumore

I toni che provocano fastidio sono creati in due modi: da macchinari con parti rotanti come motori, trasmissioni, ventilatori e pompe spesso creano toni. Impatti non bilanciati o ripetuti causano vibrazioni che, trasmesse nell'aria attraverso superfici, possono essere percepiti come toni. Anche il flusso pulsante di liquidi o gas può creare toni, causati dai processi di combustione o restrizioni nel flusso. I toni sono identificabili soggettivamente dall'ascolto o oggettivamente usando l'analisi di frequenza. L'udibilità viene poi calcolata confrontando il livello del tono con il livello delle componenti spettrali circostanti. La durata del tono deve essere documentata.



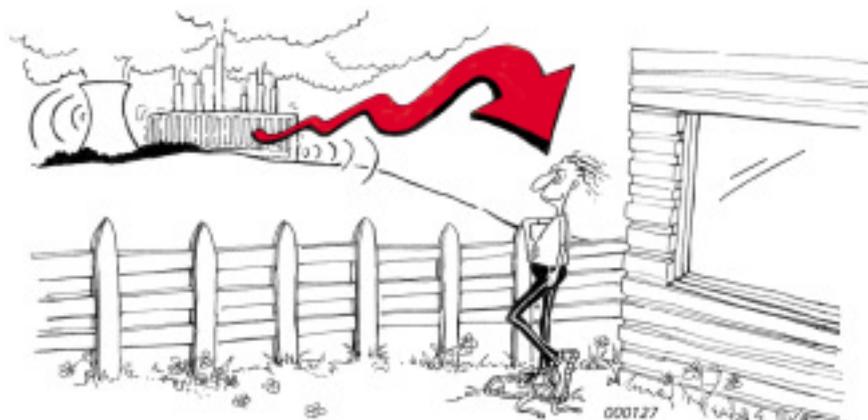
Rumore a bassa frequenza

Il rumore a bassa frequenza ha un'energia acustica significativa nella gamma da 8 a 100 Hz. Il rumore di questa natura è tipico per grossi motori diesel, di treni, di navi e di centrali elettriche e poiché il rumore è difficile da attenuare e si propaga facilmente in tutte le direzioni, può essere udito per chilometri. Il rumore a bassa frequenza provoca più fastidio di quello rilevato come livello di pressione sonora ponderato A. La differenza tra il livello ponderato A e il livello ponderato C indica se esiste un problema alle basse frequenze. Per calcolare l'udibilità dei componenti a bassa frequenza nel rumore, lo spettro viene misurato e confrontato con la soglia di udibilità. L'infrasuono ha uno spettro con componenti significative a 20 Hz: si percepisce non come un suono ma piuttosto come una pressione. La valutazione di infrasuoni è ancora a livello sperimentale e al presente non è contemplata dalle normative internazionali.



Propagazione del rumore nell'ambiente

Quanto rumoroso è un autocarro da 10 tonnellate? Dipende molto dalla lontananza della nostra postazione e se si è di fronte ad una barriera o dietro ad essa. Il livello di rumore viene influenzato anche da molti altri fattori ed i risultati di misura possono anche variare di 10 decibel per la stessa sorgente di rumore. Per spiegare come questa variazione avviene, bisogna considerare come il rumore viene emesso dalla sorgente, come viaggia attraverso l'aria e come arriva al ricevente.



I fattori più importanti che influenzano la propagazione del rumore sono:

- Tipo di sorgente (puntiforme o lineare)
- Distanza dalla sorgente
- Assorbimento acustico atmosferico
- Vento
- Temperatura e gradiente termico
- Ostacoli come barriere o fabbricati
- Assorbimento del suolo
- Riflessioni
- Umidità
- Precipitazioni

Per arrivare ad un risultato affidabile della misura o del calcolo, questi fattori devono essere presi in considerazione. I regolamenti spesso precisano le condizioni di ciascun fattore.

Tipi di sorgente

Sorgente puntiforme

Se le dimensioni di una sorgente sono piccole, in confronto alla distanza dell'ascoltatore, questa è chiamata sorgente puntiforme, come per esempio ventilatori o canne fumarie. L'energia acustica si propaga in modo sferico, cosicché il livello di pressione sonora è lo stesso per tutti i punti posti alla stessa distanza dalla sorgente e diminuisce di 6 dB ad ogni raddoppio di questa distanza.

La regola si mantiene fintanto che le attenuazioni del suolo e dell'aria influenzano il livello in modo rilevante. Per una sorgente puntiforme con livello di potenza acustica, L_W (vedere la sezione riguardante i Parametri dell'inquinamento acustico e terminologia), posizionata vicino al suolo, il livello di pressione sonora (L_p) a qualsiasi distanza (r , in m) da quella sorgente può essere calcolato con l'equazione:

$$L_p = L_W - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB}$$

Sorgente lineare

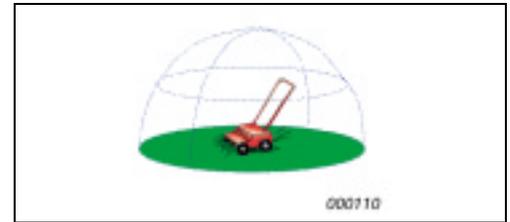
Se una sorgente di rumore viene ristretta in una direzione ed allungata in un'altra in confronto alla distanza dell'ascoltatore, questa viene chiamata sorgente lineare. Può essere una sorgente unica come una tubazione che trasporta del fluido turbolento, oppure può essere composta da molte sorgenti puntiformi che funzionano simultaneamente, come un flusso di veicoli su una strada ad alto scorrimento.

Il livello sonoro si propaga in modo cilindrico così il livello di pressione sonora è lo stesso in tutti i punti posti alla stessa distanza dalla linea e diminuisce di 3 dB al raddoppio della distanza. Ciò si mantiene fintanto che le attenuazioni dell'aria e del suolo non influenzano il livello in modo rilevante. Per una sorgente in linea con il livello di potenza acustica per metro (L_W/m) posizionato vicino al suolo, il livello di pressione sonora (L_p) a qualsiasi distanza (r , in m) da quella sorgente può essere calcolato con l'equazione:

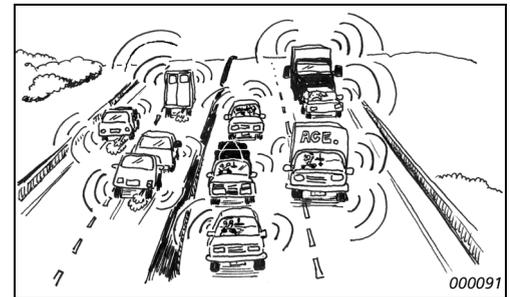
$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB}$$



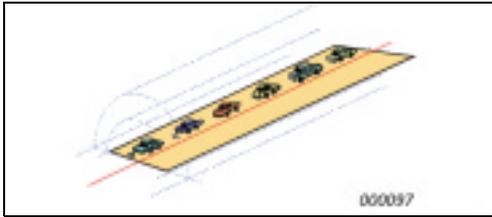
000103



000710



000091

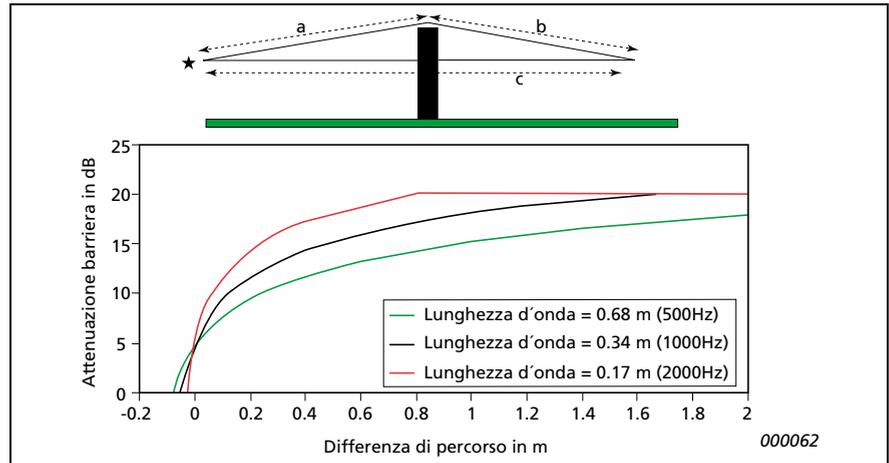


Barriere

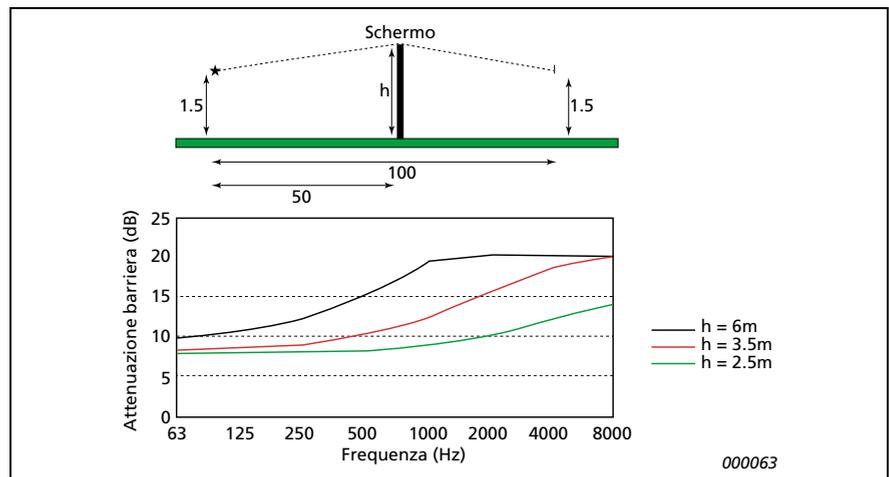
La riduzione del rumore causato da una barriera dipende da due fattori:

1. la differenza di percorso dell'onda sonora sopra la barriera paragonato alla trasmissione diretta al ricevente ($a + b - c$, nel diagramma).
2. le frequenze del rumore.

L'influenza combinata di questi due fattori, indicata nel diagramma dimostra che le basse frequenze sono difficili da attenuare usando le barriere acustiche.



L'attenuazione della barriera per uno schermo tipico è mostrato nel diagramma successivo come una funzione dell'altezza della barriera. Una barriera è più efficace quando posizionata vicino alla sorgente di rumore o del ricevente.

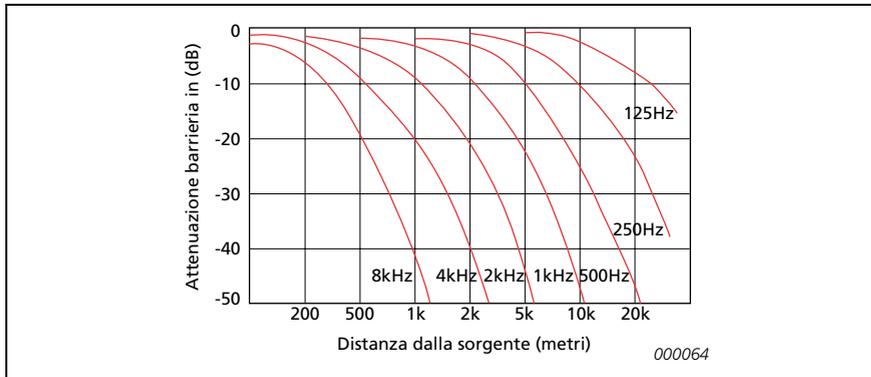


Attenuazione atmosferica

Questo è un argomento complesso che qui può solo essere riassunto. La riduzione del rumore, poiché passa attraverso l'aria, è soggetta a molti fattori che comprendono:

- la distanza dalla sorgente
- le frequenze del rumore
- la temperatura ambientali
- l'umidità relativa
- la pressione atmosferica

I primi due fattori menzionati sono quelli che influiscono di più e sono mostrati nel diagramma qui sotto. In sintesi, le basse frequenze non sono assorbite bene dall'atmosfera.



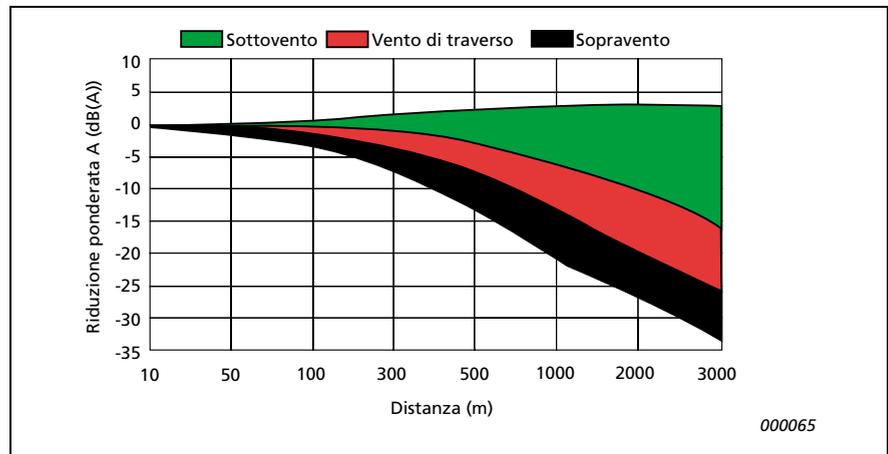
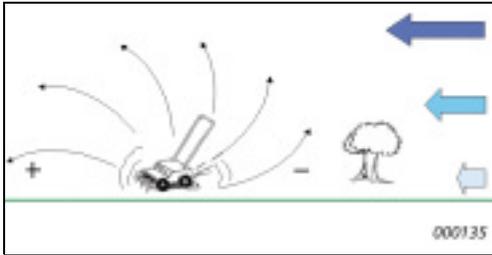
Vento e temperatura

La velocità del vento aumenta con l'altitudine, la quale dirige il percorso del suono per "focalizzarlo" sulla parte sottovento e creare un'"ombra" sulla parte sopravvento della sorgente.

Perché misurare sottovento?

A distanze brevi, fino a 50 m, il vento ha poca influenza sul livello sonoro misurato. Per distanze più grandi, l'effetto del vento diventa sensibilmente maggiore.

Sottovento, il livello può aumentare di pochi dB, a seconda della velocità del vento, ma misurando sopravvento o con il vento di traverso, il livello può diminuire anche di 20 dB, a seconda della velocità e della distanza. Questa è la ragione per cui la misura sottovento è preferibile – la deviazione è minima ed il risultato è più affidabile.



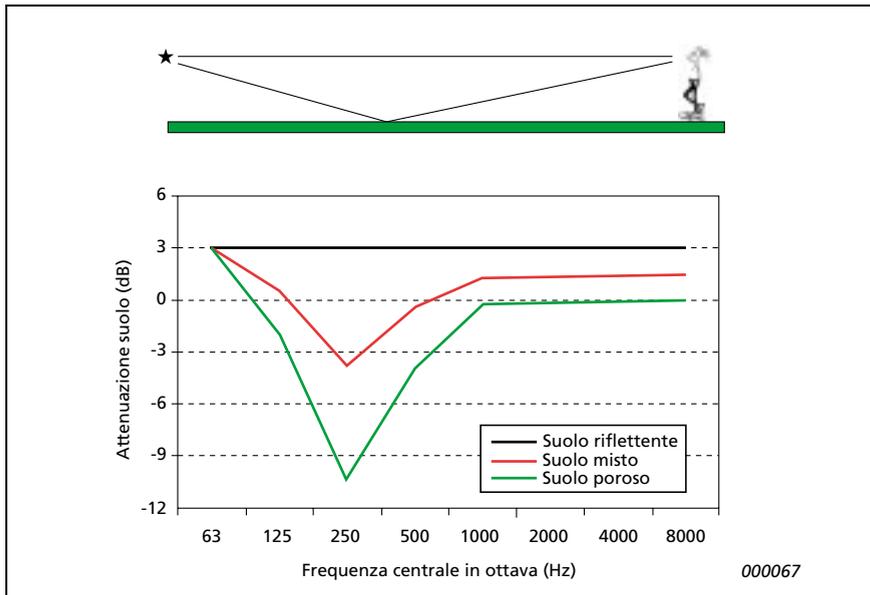
Temperatura

I gradienti termici creano effetti simili a quelli dei gradienti del vento, eccetto che sono uniformi in tutte le direzioni che partono dalla sorgente. In una giornata assolata senza vento, la temperatura diminuisce con l'altitudine, creando un effetto "ombra" per il suono. In una notte serena, la temperatura può aumentare con l'altitudine, "focalizzando" il suono sulla superficie del suolo.

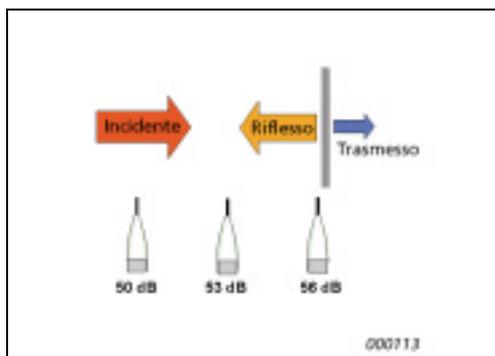
Effetti del suolo

Il suono riflesso dal suolo interferisce con quello propagato direttamente.

L'effetto del suolo è diverso se si tratta di superfici acusticamente dure (cemento o acqua), morbide (gas, legno o vegetazione) o miste. L'attenuazione è spesso calcolata in bande di frequenza per prendere in considerazione il contenuto delle frequenze della sorgente di rumore ed il tipo di suolo tra la sorgente e il ricevente. Le precipitazioni possono condizionare l'attenuazione del suolo. La neve, per esempio, può fornire un'attenuazione considerevole e può anche causare gradienti termici positivi elevati. I regolamenti spesso sconsigliano di effettuare misure in queste condizioni.



Influenza della superficie del suolo, con 100 m di distanza tra sorgente e ricevente. L'altezza della sorgente e del ricevente è di 2 m



Rumore percepito dal ricevente

La riflessione

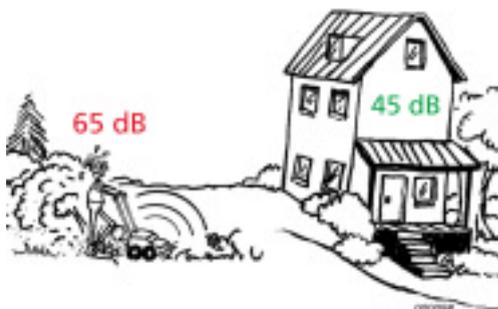
Quando le onde sonore investono una superficie, parte della loro energia acustica viene respinta, parte viene trasmessa attraverso la superficie stessa e parte assorbita. Se l'assorbimento e la trasmissione sono bassi, com'è generalmente con i fabbricati, la maggior parte dell'energia acustica viene riflessa e la superficie viene chiamata acusticamente dura. Il livello di pressione sonora presente vicino alla superficie è dovuto alla diretta radiazione proveniente dalla superficie ed dal suono che arriva da uno o più riflessioni.

Di norma, il livello a 0.5 m da una parete liscia è 3 dB(A) superiore a quello che sarebbe senza muro. I regolamenti spesso richiedono l'esclusione dell'effetto della riflessione dai risultati documentati (condizioni in campo libero).

Finestre aperte e chiuse

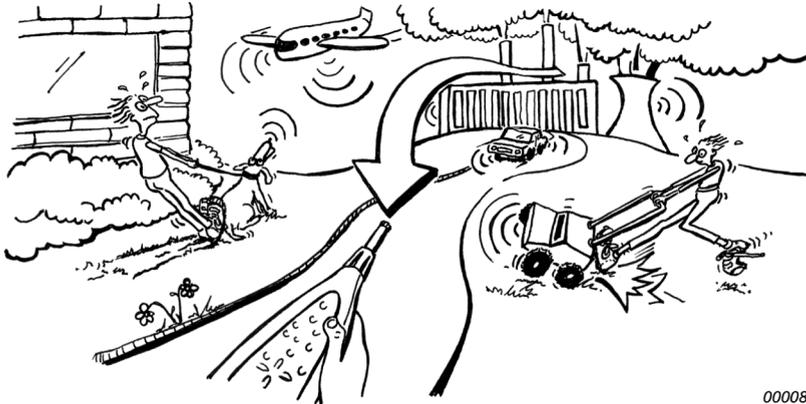
Ad alcune persone, nella propria abitazione, piace tenere le finestre chiuse a causa del clima o per tradizione. Il disturbo dovuto al rumore viene quindi attenuato dal fabbricato, di norma dai 20 ai 30 dB di abbattimento (isolamento acustico della facciata). Le finestre sono spesso il punto acusticamente debole, ma possono essere migliorate con speciali accorgimenti architettonici.

In altri paesi e clima, le persone sono abituate a tenere le finestre della propria casa aperte e sono esposte pienamente all'effetto dell'inquinamento acustico. I regolamenti locali devono perciò tenere conto dei materiali costruttivi e delle abitudini della popolazione.



Identificazione delle sorgenti di rumore

La stima del rumore è in genere la valutazione dell'impatto di una specifica sorgente di rumore, per esempio, il rumore proveniente da un insediamento industriale. Questa non è un'operazione semplice. In pratica in ogni ambiente, un considerevole numero di sorgenti contribuiscono all'inquinamento acustico in un punto particolare.



Il **rumore ambientale** è il rumore proveniente da tutte le sorgenti combinate insieme – rumore industriale, rumore da traffico, canto di uccelli, acqua corrente ecc.

Il **rumore specifico** è il rumore proveniente dalla sorgente sotto esame. Il rumore specifico è un componente del rumore ambientale e può essere identificato ed associato con una sorgente specifica.

Il **rumore residuo** è il rumore ambientale senza il rumore specifico. Il rumore residuo è il rumore restante in quel punto dove il rumore specifico è stato soppresso.

Questa terminologia deriva dalla ISO 1996 e viene comunemente usata. Il termine di **rumore di fondo** (non usato nella ISO 1996) è molto comune ma non deve essere confuso con il rumore residuo. Viene usato talvolta per mediare il livello misurato quando la sorgente specifica non è udibile e talvolta è il valore di un parametro come L_{A90} (il livello superato per il 90% del tempo di misura).

Nel contesto di una progettazione costruttiva, il termine **rumore iniziale** viene usato per indicare il rumore presente su un certa area prima dei cambiamenti, per esempio prima dell'estensione di un complesso industriale o la costruzione di barriere.

Per stimare il rumore si utilizzano vari metodi, molti dei quali sono descritti in questo opuscolo. Alcuni sono drastici, come l'interruzione totale di un complesso produttivo per isolare il rumore residuo, altri più sofisticati che comprendono misure simultanee in correlazione a diverse postazioni, vicine o lontane dalla sorgente di rumore. Il rumore misurato è spesso registrato su un registratore digitale a nastro (DAT) o direttamente trasferito in un PC, per identificare e documentare la sorgente.

Misura del rumore

La misura del rumore

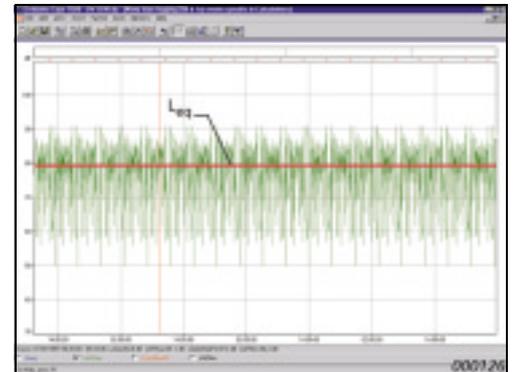
Le misure oggettive di livelli sonori sono una parte indispensabile del programma di protezione da inquinamento acustico. I livelli di rumore ambientale variano molto – il rumore è spesso impulsivo o contiene toni puri, oltre che provenire da sorgenti di rumore estranee – abbaiare di cani, sovrappassi o giochi di bambini – e deve essere gestito in qualche modo.

Le normative e regolamenti specificano quali parametri devono essere misurati e nella maggior parte dei casi descrivono anche come impostare la strumentazione per la misura e trattare i vari fattori come le condizioni meteorologiche. In aggiunta a questo, esiste una certa “consuetudine”. Il risultato della stima di un rumore non è mai una cifra tonda come 77 dB, ma è il valore di parametri particolari o indicatori ottenuti in condizioni conosciute e documentate.

La media dei livelli

Valutare il livello di rumore fluttuante significa trovare un valore che è semplicemente il livello medio. Una media ad occhio, utilizzando uno strumento a bobina mobile è una tecnica del passato. L_{A50} , vale a dire il livello superato per il 50%, raramente viene oggi considerato come il valore medio.

Il “livello sonoro continuo equivalente”, L_{eq} , è invece conosciuto in tutto il mondo come il parametro medio fondamentale. L_{eq} è il livello che più rappresenta, come livello stabile durante il periodo di misura, la quantità di energia presente nel livello di pressione sonora fluttuante misurato. Il valore di L_{eq} viene misurato direttamente da un fonometro integratore e consiste nell’energia mediata espressa da un livello sonoro variabile. Non è una misura diretta del disturbo anche se vaste ricerche hanno dimostrato che si avvicina molto ad esso. È tuttavia ovvio che un livello di rumore accettabile un mercoledì pomeriggio sia estremamente fastidioso la domenica mattina e perciò si rende necessaria l’applicazione di correzioni che tengano conto dell’ora e del giorno.

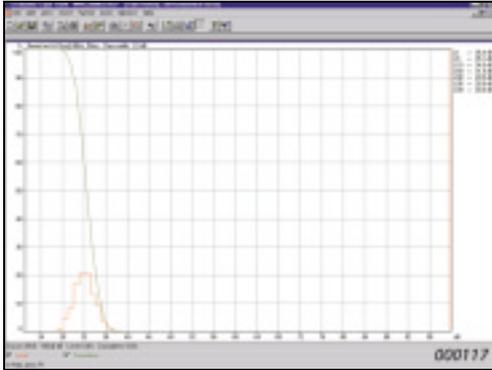


Impiego dell'analisi statistica

Un'analisi delle distribuzioni statistiche dei livelli sonori è uno strumento utile per la valutazione del rumore. L'analisi non solo fornisce informazioni rilevanti come la variabilità dei livelli, ma è anche importante per molte normative che la considerano la base per la valutazione del rumore di fondo. Per esempio, il valore L_{90} , il livello superato per il 90% del tempo di misura, viene utilizzato come indicatore dei livelli del rumore di fondo, mentre L_{10} o L_5 vengono usati talvolta per indicare il livello di eventi di rumore.

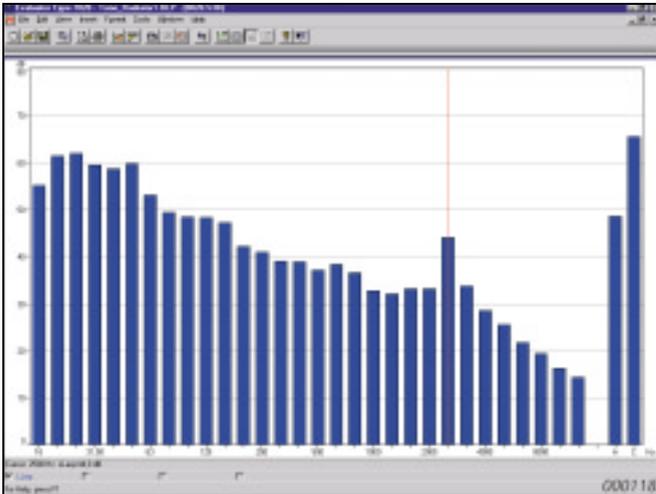
La durata delle misure: 7 giorni o due ore?

L'ideale sarebbe misurare il rumore per l'intero intervallo di riferimento che può variare da due ore a una settimana. Talvolta, dovuto a ragioni particolari, vengono usati periodi più lunghi come misure di mesi o anni; in alcuni casi i valori vengono acquisiti ogni secondo o minuto o quarto d'ora ed impiegati per ottenere una cronologia temporale dei livelli di rumore. Tuttavia le misure a lungo termine possono essere molto costose e difficili da gestire. Le valutazioni sono spesso basate sull'acquisizione di misure di campioni rappresentativi e sull'integrazione dei risultati in una panoramica totale. Elaborare una stima completa attraverso campioni rappresentativi è di fatto un compito azzardato, ma i software di tecnologia più avanzata consentono di ottenere risultati precisi ed affidabili in modo efficiente e conveniente. Tuttavia se i regolamenti impongono limiti assoluti sui livelli massimi è necessario un monitoraggio continuo dei livelli sonori.



Analisi a banda larga o di frequenza?

L_{eq} o, meglio L_{Aeq} (il livello sonoro continuo equivalente ponderato A) è il parametro più importante. Nella valutazione del rumore, le misure a banda larga, vale a dire le misure che coprono l'intera gamma di frequenza udibile, vengono effettuate usando la ponderazione in frequenza "A". È consuetudine sempre specificare la ponderazione in frequenza applicata. Rumori con toni distinti, come ventilatori, compressori o seghe sono generalmente meno disturbanti di altri tipi. Questo fattore di disturbo non viene preso in considerazione in una misura a banda larga. Un'analisi spettrale può quindi rendersi necessaria. I toni puri possono essere valutati soggettivamente, poiché l'orecchio umano è un ottimo strumento di rilevamento dei toni, ma i regolamenti spesso richiedono anche una misura oggettiva del contenuto dei toni. In pratica questa è data da un'analisi in frequenza in 1/3 d'ottava o un'analisi a banda stretta (FFT – Fast Fourier Transform).



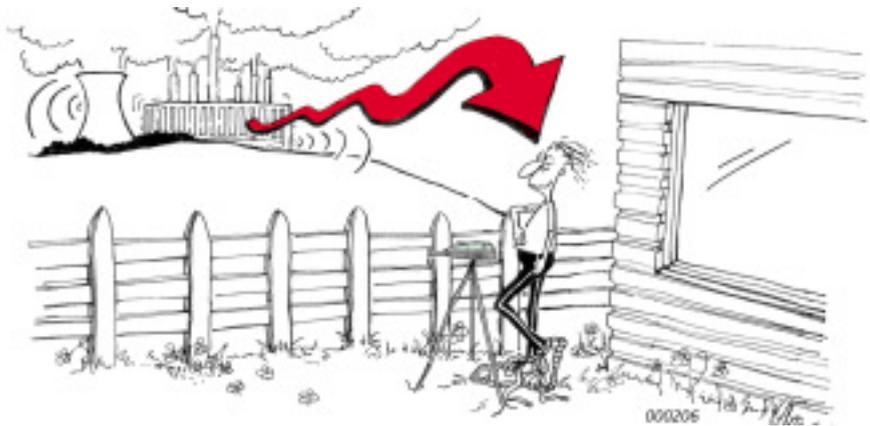
Posizionamento del microfono

La legislazione spesso stabilisce dove le misure devono essere effettuate, per esempio ai confini della proprietà o nella proprietà del reclamante. Durante la misura, si deve prendere in considerazione anche altri fattori, a causa della variazione dei livelli sonori a seconda della distanza dal suolo, ma anche della distanza tra la postazione di misura e facciate e ostacoli.

Come quindi effettuare una misura:

- lontano da facciate
- lontano da ostacoli
- sottovento
- in condizioni di tempo asciutto con una velocità di vento inferiore a 5 m/s
- con il microfono a 1.2 – 1.5 m sopra il livello del suolo

Tuttavia le misure possono essere effettuate alla facciata o ad altre altezze specificate (l'Unione europea sta considerando di attuare una normativa che specifica i 4 m).



Calibrazione

La calibrazione è necessaria?

Prima e dopo ogni serie di misure, è consuetudine comune calibrare i fonometri usando un calibratore acustico.

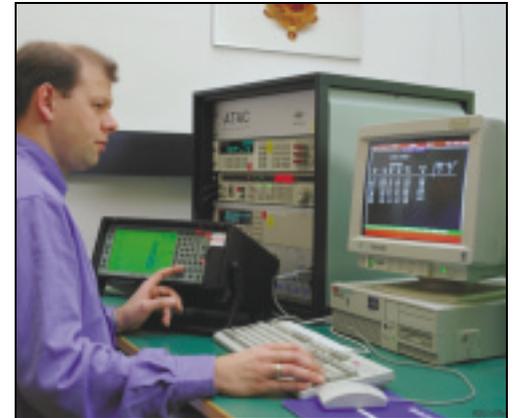
Quello che si effettua durante la calibrazione è in pratica il controllo della sensibilità dello strumento ad una frequenza e un livello sonoro specifici (di norma 1 kHz e 94 dB). Alcuni pensano che questo non sia più necessario visto l'utilizzo di strumentazione all'avanguardia e microfoni che non vengono più influenzati molto dalla temperatura, dalla pressione statica dell'aria o dall'umidità. Ciò è verissimo per strumenti di elevata qualità, ma i dati di calibrazione dovrebbero fare sempre parte della documentazione, per almeno tre ragioni:

1. la calibrazione assicura che il lavoro del giorno non vada perso. Qualsiasi difetto del trasduttore e della strumentazione viene rilevato immediatamente
2. i dati di calibrazione sono richiesti dalla legislazione e dalle normative
3. condizioni ambientali estreme possono influenzare i risultati

Per il professionista, il fonometro ed il calibratore vanno insieme, ma per assicurare una precisione continua e per la validità di controversie in tribunale, sono richieste calibrazioni e controlli più dettagliati.

Certificati di calibrazione di conformità

Tutti i fornitori di primaria importanza di apparecchi per la misura del suono rilasciano con ogni strumento un Certificato di conformità (COC o MCOC). Questo stabilisce che lo strumento è conforme ai dati tecnici pubblicati ed alle normative applicabili. Questo certificato non è un certificato di calibrazione, poiché la calibrazione di un fonometro (o un calibratore di livello sonoro) consiste nell'esame completo della conformità dello strumento ai relativi standard. Il certificato di calibrazione contiene tutti i risultati dei test, le informazioni riguardanti l'incertezza della calibrazione, la postazione e le condizioni della stessa ed una dichiarazione di rintracciabilità. In accordo alle normative nazionali ed internazionali è importante che tutte le misure siano rintracciabili e che il laboratorio di calibrazione sia accreditato. Per assicurarsi di ciò, è necessario contattare un laboratorio che lavori sotto lo schema di accredito riconosciuto a livello internazionale, per esempio l'European Accreditation. I fonometri ed i calibratori usati per eseguire misure legali di inquinamento acustico devono essere calibrati annualmente o ogni due anni presso un laboratorio di calibrazione accreditato.



Classificazione – disturbo e fattori di penalizzazione

Il disturbo dato da una sorgente sonora viene percepito in modo diverso da persona a persona e dipende anche da molti fattori non-acustici come la preminenza della sorgente, la sua importanza rispetto all'interesse economico della persona esposta o la sua opinione personale. Per molti anni gli esperti in acustica hanno tentato di quantificare il problema per valutare oggettivamente il fastidio al rumore e porre dei limiti accettabili. Quando un numero consistente di persone sono coinvolte, le reazioni tendono ad essere distribuite intorno ad una media ed il parametro del livello di valutazione L_r (Rating Level) è stato un tentativo per dare un valore numerico al rumore, per quantificare il suo disturbo in relazione alla popolazione in genere



Sorgente: Agenzia nazionale del consumo

Il Rating Level è un parametro definito nella normativa ISO 1996-2 (vedere la sezione sulle Normative internazionali). In pratica è la misura dell'esposizione al rumore corretta con fattori di penalizzazione determinati per aumentarne il disturbo. Viene usato per confrontare i livelli misurati con i limiti che di solito variano a seconda dell'uso della proprietà sotto esame (vedere la sezione sulla Valutazione). Il parametro base è il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A o L_{Aeq} .

La formula per il Rating Level è (in termini generali):

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

dove:

K_I è il fattore di penalizzazione per gli impulsi

K_T è il fattore di penalizzazione per il tono ed il contenuto dell'informazione

K_R è il fattore di penalizzazione per l'ora ed il giorno

K_S è il fattore di penalizzazione (positivo o negativo) per certe sorgenti e situazioni

La ISO 1996-2 stabilisce che il Rating Level deve essere determinato su intervalli di riferimento relativi alle caratteristiche della/e sorgente/i e del/dei ricevente/i. Questi intervalli di riferimento sono spesso definiti nei regolamenti e normative locali ed internazionali. Il modo di misurare e valutare i fattori di penalizzazione è diverso da paese a paese, ma i principi di base sono gli stessi e sono descritti nella sezione successiva.

Clima acustico – Qualità dell'acustica ambientale

Le ricerche correnti nella relazione tra la sorgente di rumore e le reazioni che provoca si concentrano su molti aspetti, uno dei quali è il concetto di progetto del clima acustico, dove il piacere soggettivo del clima acustico urbano è confrontato con i parametri fisici, allo stesso modo che in un progetto industriale.

Il progetto di clima acustico unisce il talento di scienziati, architetti ed esperti di urbanistica e tenta di definire i principi e sviluppare le tecniche con cui si può migliorare la qualità dell'acustica ambientale o del clima acustico. Questo può includere l'eliminazione di certi suoni (abbattimento del rumore), la conservazione di certi altri e la combinazione ed il bilanciamento di suoni per creare ambienti acustici allettanti e stimolanti.



Valutazione (Limiti)

Riferimento con questa sezione:
regolamenti per Community Noise, Dieter Gottlob,
Noise/News International, Dicembre 1995

Rating Level L_r – Quanto diventa troppo?

Le normative internazionali descrivono come determinare il Rating Level L_r , ma non stabiliscono limiti legali. Questi vengono regolati individualmente dallo Stato o dalle autorità locali. A causa delle differenze negli stili di vita, del clima (attività all'aperto, finestre aperte o chiuse) e dell'architettura dei fabbricati è impossibile stabilire dei limiti di rumore che siano gli stessi in tutta Europa o nel mondo.



| Esempio dell'uso delle zone di rumore | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| Zona | Pianificazione | | Alterazioni | | Allarme | |
| | Limite giorno | Limite notte | Limite giorno | Limite notte | Limite giorno | Limite notte |
| Recupero | 50 | 40 | 55 | 45 | 65 | 60 |
| Residenziale | 55 | 45 | 60 | 50 | 70 | 65 |
| Mista | 60 | 50 | 65 | 55 | 70 | 65 |
| Industriale | 65 | 55 | 70 | 60 | 75 | 70 |

Tre applicazioni dei limiti

Come esempio di regolamento nazionale, la Svizzera usa tre tipi di limite:

1. pianificazione dei valori per nuove aree industriali, di trasporto o complessi residenziali
2. limiti alle abitazioni per modifiche o nuove installazioni
3. valori di allarme per identificare le aree con maggiore necessità di abbattimento acustico

Zone di rumore simili a queste mostrate nella figura sopra vengono usate in modo universale, specificando i diversi limiti a seconda del tipo e dell'uso dell'area sotto esame.

Due tipi di limite

Nella maggior parte dei paesi vengono indicati dei limiti assoluti. Questi confrontano il Rating Level L_r con un limite stabilito come 50 dB(A).

In Gran Bretagna, per esempio, vengono usati dei limiti relativi. Questi confrontano il Rating Level L_r con il rumore di fondo, misurato come L_{AF90} .

Rumore industriale

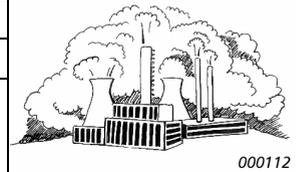
Per la valutazione del rumore industriale la maggior parte degli Stati usa il Rating Level L_r in accordo alla ISO 1996. In Giappone viene usato il parametro L_{50} , mentre in Belgio viene usato il parametro L_{95} . Di norma il limite è compreso in una gamma 50 – 55dB(A).

Il **Rating Level L_r** è calcolato dal parametro L_{Aeq} , il livello di pressione sonora continuo equivalente ponderato A, con l'aggiunta di fattori di correzione (penalizzazione) K_T per le componenti tonali e K_I per il rumore impulsivo.

I **periodi di riferimento** variano da Stato a Stato. Alcuni usano solo un giorno ed una notte, altri combinano il giorno e la notte ed altri ancora aggiungono dei periodi di riposo. Per ciascun periodo di riferimento vengono impiegate procedure di valutazione differenti.

Un **periodo di tempo più rumoroso** è usato in alcuni paesi per penalizzare il rumore intermittente. La durata di questi periodi varia da 5 minuti ad un'ora, a seconda dello Stato.

| Periodi di riferimento | | | |
|------------------------|------------------------|--|------------------------|
| Nazione | Diurno | Riposo | Notturno |
| | (periodo più rumoroso) | (periodo più rumoroso) | (periodo più rumoroso) |
| Austria | 6-22 (8 h) | | 22-6 (0,5 h) |
| Belgio | 1 h | 1 h | 1 h |
| Canada | 7-23 (1 h) | | 23-7 (1 h) |
| Danimarca | 7-18 (8 h) | 18-22 (1 h) | 22-7 (0.5 h) |
| Francia | 7-20 | 6-7 20-22 | 22-6 |
| Germania | 6-22 (16 h) | giorni lavorativi: 6-7, 20-22 weekend: 6-9 13-15, 20-22 | 22-6 (1 h) |
| Hong Kong | 7-23 (0,5 h) | | 23-7 (0,5 h) |
| Italia | 6-22 | | 22-6 |
| Corea | 6-18 (8 h) | 18-24 (4 h) | 24-6 (2 h) |
| Olanda | 7-19 | 19-23 | 23-7 |
| Svezia | 7-18 | 18-22 | 22-7 |
| Svizzera | 7-19 | | 19-7 |
| Regno Unito | 7-23 (1 h) | | 23-7 (5 min) |



La **penalizzazione per i toni** è compresa tra gli 0 dB (nessuna penalizzazione) e 6 dB. Alcuni paesi usano un singolo valore di penalizzazione di 5 dB, mentre altri ne usano due più bassi. Nella maggior parte dei casi la presenza di toni viene determinata soggettivamente, ma i metodi oggettivi di misura vengono sempre più impiegati. Questi sono basati su analisi in 1/3 d'ottava o FFT (Fast Fourier Transform).

La **penalizzazione massima per l'impulsività** può variare tra i paesi fino a 7 dB ed entrambi i metodi soggettivi ed oggettivi sono molto usati. I metodi oggettivi di misura si basano sulla differenza tra il parametro di misura a reazione veloce ed lo stesso a reazione lenta (per esempio, tra l'Impulso e livelli Fast ponderati A), oppure si basa sul tipo di sorgente, usando cioè sorgenti sonore come il martellare continuo, esplosivi ecc.

| Penalizzazioni per i toni e per i rumori impulsivi | | |
|--|----------|---|
| Nazione | K_T dB | K_I dB |
| Australia | 2 o 5 | 2 o 5 |
| Austria | 3 o 6 | 3 se $L_{AIMax} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 se $L_{AIMax} - L_{AFMax} \geq 2$ dB |
| Belgio | – | $L_{AIMax} - L_{AFMax}$ se ≥ 4 dB |
| Danimarca | 5 | 5 |
| Francia | 5 | 3, 5 o 10 a seconda della durata e del $L_{AFMax} - L_{Aeq}$ |
| Germania | 3 o 6 | $L_{AFreq} - L_{Aeq}$ |
| Hong Kong | 3 o 6 | 3 |
| Corea | – | 5 |
| Olanda | 5 | 5 |
| Svizzera | 2, 4 o 6 | 2, 4 o 6 |
| Regno Unito | 5 | 5 |

Rumore da traffico stradale

Il traffico stradale è la sorgente sonora più diffusa in tutti i paesi ed è anche considerata la causa prevalente di disturbo. Perciò le misure per ridurre il rumore da traffico hanno la priorità maggiore.

| Limiti per il rumore da traffico stradale | | | | |
|---|------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Nazione | Indice | Limite diurno | Limite riposo | Limite notte |
| Australia | $L_{10}, 18\text{ h}$ | 60 | | 55 |
| Austria | L_{Aeq} | 50 – 55 | | 40 – 45 |
| Canada | L_{Aeq} | 5 | | 50 |
| Danimarca | $L_{Aeq}, 24\text{ h}$ | 55 | | |
| Francia | L_{Aeq} | 60 – 65 | | 55 – 57 |
| Germania | L_r | 50 – 55 | | 40 – 45 |
| Netherlands | L_{Aeq} | 50 | 45 | 40 |
| Spagna | L_{Aeq} | 60 | | 50 |
| Svezia | $L_{Aeq}, 24\text{ h}$ | 55 | | |
| Svizzera | L_r | 55 | | 45 |
| Regno Unito | L_{Aeq} | 55 | | 42 |



L_{Aeq} è l'indice di rumore preferito, ma vengono usati anche il Rating Level L_r ed i livelli percentili L_{10} e L_{50} .

Per il traffico ad alta densità, si può assumere che L_{10} è circa 3 dB sopra il valore di L_{Aeq} e L_{50} è circa 1 – 2 dB inferiore. La valutazione viene effettuata usando vari intervalli di riferimento a seconda del paese. Questi intervalli sono compresi in una gamma tra un periodo di 24 ore e tre intervalli separati per giorno, riposo e notte. In genere i limiti notturni sono i più difficili da soddisfare. La tabella mostra i limiti di pianificazione per una nuova rete stradale in diversi paesi. I limiti sono spesso sopra il livello 50 – 55 dB(A) raccomandato dalla WHO (World Health Organisation - Organizzazione mondiale della Salute), così l'espansione delle aree "grigie" è inevitabile un po' dovunque.

Rumore da traffico ferroviario

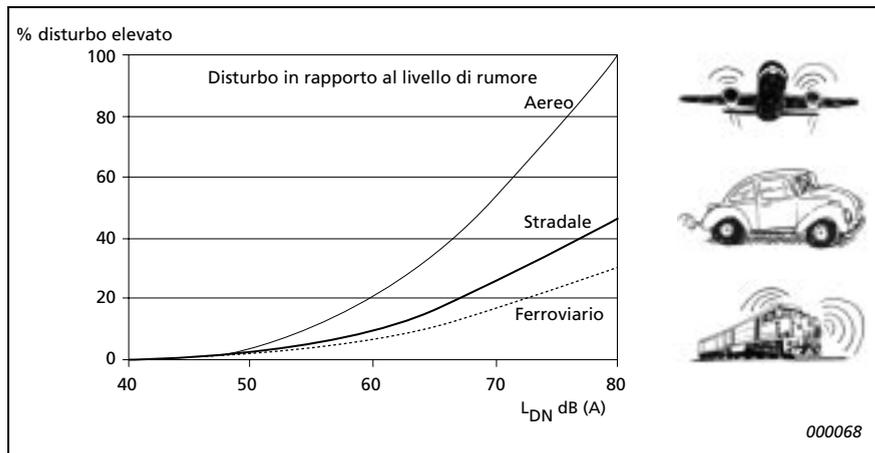
Come per il traffico stradale, per quello ferroviario si preferisce usare l'indice L_{Aeq} . In alcuni paesi i Rating Level sono calcolati dal valore di L_{Aeq} sottraendo (di norma) 5 dB, chiamati il "bonus" ferroviario.

In Giappone, per le reti ad alta velocità, si usa il valore L_{ASmax} . In genere usando i livelli massimi come il solo limite ha lo svantaggio di trascurare il numero dei treni.

La valutazione viene effettuata usando diversi intervalli di riferimento a seconda del paese. Questi vanno da periodo di 24 ore a tre intervalli separati per giorno, riposo e notte.

I limite di rumore per nuove reti in aree residenziali variano tra i 60 e 70 dB. In alcuni Stati, il Bonus ferroviario è compreso nei valori limite.

Il bonus ferroviario si basa su indagini sociali svolte in diversi paesi, confrontando il disturbo dovuto dal traffico stradale e ferroviario. Il risultato è più marcato a livelli più elevati.



Il grafico sopra mostra le relazioni dose-effetto riguardanti il traffico aereo, stradale e ferroviario. La percentuale di persone maggiormente disturbate è in relazione ai livelli L_{DN} (L_{Aeq} con una penalizzazione di 10 dB per l'esposizione notturna tra le 22:00 e le 07:00). La figura indica che, per lo stesso valore di L_{DN} del traffico stradale, il disturbo meno sentito è causato dal traffico ferroviario e quello maggiormente sentito, dal traffico aereo.

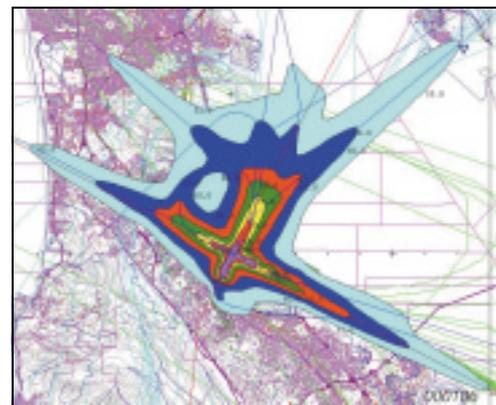
Rumore da traffico aereo

Il più importante strumento per il controllo del rumore negli aeroporti è la divisione in zone del rumore per l'uso a terra, la pianificazione ed i programmi di isolamento acustico. Il rumore di aerei commerciali è solo un problema intorno agli aeroporti dove gli aerei convergono a bassa quota con i motori al massimo, ma l'aumento del traffico aereo e l'espansione delle città ha inasprito ulteriormente il problema del rumore, mentre la riduzione del rumore degli aerei, le restrizioni del traffico e delle traiettorie di volo aiuterebbero ad alleviarlo. Come ultima risorsa, i complessi abitativi esistenti potrebbero essere protetti migliorando il sistema di isolamento acustico delle finestre e dei tetti.

| Limiti nelle zone per il rumore aeroportuale | | | |
|--|---|----------------------|--|
| Nazione | Nessuna restrizione | Misure di isolamento | Nessun nuovo insediamento residenziale |
| Australia | < 53 | 53 – 58 | > 58 |
| Canada | ≤ 57 | 60 – 62 | > 68 |
| Cina | ≤ 54 | | |
| Danimarca | ≤ 51 | > 61 | > 51 |
| Francia | < 62 | 62 – 71 | |
| Germania | < 62 | 67 – 75 | > 75 |
| Giappone | < 54 | > 69 | |
| Olanda | ≤ 50 | 53 – 60 | > 50 |
| Nuova Zelanda | ≤ 52 | 52 – 62 | > 62 |
| Norvegia | ≤ 55 | 55 – 65 | > 55 |
| Svezia | < 51 | | |
| Svizzera | | 62 – 72 | > 62 |
| Regno Unito | ≤ 55 | 55 – 64 | > 70 |
| USA | ≤ 62 | | > 72 |
| Note: | Tutti i limiti sono indicati come valori $L_{Aeq, 24h}$ | | |

I **profili di rumore** sono usati per mostrare l'estensione e la posizione delle aree con problemi di rumore. Il numero mostrato con ciascun profilo indica il livello di rumore superato dentro quel profilo. Sovrapposti sulla mappa e confrontati con limiti richiesti si evidenziano le aree che necessitano di misure per la riduzione del rumore.

Le **orme del rumore** mostrano i profili di rumore di un singolo aereo o classe di aerei. Possono essere calcolate dai dati di ogni aereo, considerando poi la traiettoria del volo, il funzionamento dell'aereo e le caratteristiche del paesaggio. Servono infine per valutare l'impatto presente e futuro del rumore e contribuiscono ad un piano di misure per la sua riduzione.



Profili di rumore intorno ad un'aeroporto calcolati usando l'INM (Integrated Noise Modelling) basato su misure precedenti.

55 – 60 dB = Azzurro

60 – 70 dB = Blu

70 – 75 dB = Rosso

75 – 80 dB = Verde

80 – 85 dB = Giallo

> 85 dB = Rosa

Il report di misura

Uno dei più sottovalutati aspetti nel valutare il rumore è il report dei risultati acquisiti. Molto spesso vengono riportati solo dati marginali come un numero limitato di valori distinti in dB e di conseguenza, le informazioni importanti spesso mancano, rendendo difficile l'interpretazione del report. Il livello dei dettagli in un report deve essere consistente ed adeguato al lettore. Per creare un report completo e coerente è necessario considerare la situazione reale in cui si effettuano le misure.

Le normative ed i regolamenti sono di grande aiuto in questo, indicando quelle informazioni obbligatorie da registrare e quelle di cui è consigliata la registrazione.

La ISO 1996 stabilisce che devono essere registrate le seguenti informazioni:

- i risultati
- le tecniche di misura
- il tipo di strumentazione usato
- la procedura di misura usata
- i calcoli impiegati
- le condizioni prevalenti
- le condizioni atmosferiche (direzione e velocità del vento, precipitazioni, temperatura, pressione atmosferica, umidità)
- la natura e lo stato del suolo tra la sorgente ed il ricevente
- la variabilità della sorgente
- i dati di calibrazione
- la data della misura, il tempo di avvio ed arresto
- il numero delle misure effettuate
- la descrizione delle sorgenti sonore sotto esame

Si consiglia di aggiungere alcune informazioni come:

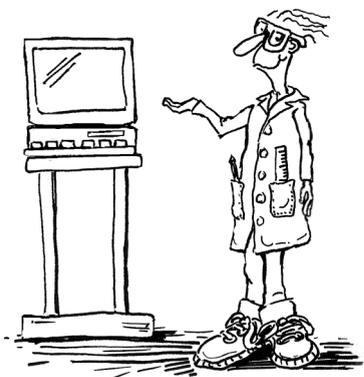
- lo scopo della misura
- la normativa usata
- lo strumento usato con il numero di serie
- la mappa che indica la posizione delle sorgenti sonore, i punti importanti e quelli di osservazione

La stesura del report deve essere semplice da comprendere ed a seconda del tipo di audience talvolta i grafici, i disegni e le figure aiutano nel compito.



000175

Calcolo dei livelli di rumore (determinazione dei dati futuri)



000088

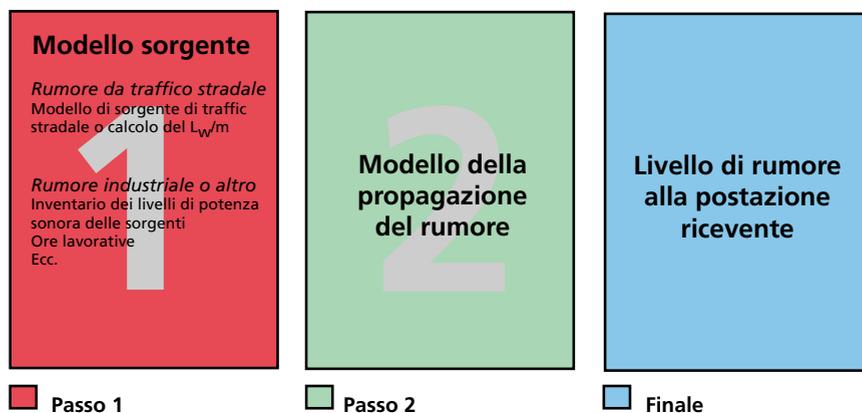
Il calcolo dei livelli alla postazione ricevente o da una postazione all'altra spesso richiede un computer per gestire la vasta quantità di dati generati nelle situazioni di vita reale

Nella postazione ricevente i livelli possono essere calcolati invece che misurati direttamente, si può anche calcolare la propagazione del rumore da una postazione di misura all'altra.

Nei casi seguenti, il calcolo è preferibile e/o può essere il solo metodo praticabile

- Dove i livelli da misurare sono contaminati da un rumore di fondo molto elevato, per esempio, nel determinare il rumore proveniente da un impianto industriale nelle vicinanze di una strada ad alta densità di traffico
- Dove è necessario determinare i livelli futuri
- Dove uno sviluppo alternativo ed uno scenario di riduzione del rumore devono essere confrontati
- Dove è necessario produrre una serie di mappe dei profili di rumore
- Dove l'accesso alla postazione di misura è limitato

Il calcolo viene effettuato normalmente in accordo all'algoritmo della normativa riconosciuta che è di norma determinato a livello nazionale o dal settore industriale e spesso dipende dal tipo di sorgente. Gli algoritmi sono spesso legati al tipo di sorgente, limitandone l'uso esclusivo con quella sorgente. Un'eccezione a questa regola riguarda la normativa internazionale ISO 9613 che determina i livelli alle postazioni riceventi, basandosi sui livelli di potenza di una sorgente identificata. Definendo in livelli di potenza sonora (SPL) si rende la normativa indipendente dal tipo di sorgente (anche se esistono limitazioni riguardanti sorgenti di rumore impulsivo e quelle ad alta velocità). Gli algoritmi sono verificati da un numero consistente di misure e basati su scenari di casi-test che consentono una precisione (incertezza) di 3 dB, simile a quella che si otterrebbe con le misure dirette.



000128

Gli algoritmi sono tutti basati su un modello a due parti dove la sorgente è una parte e la propagazione (da una postazione di riferimento alla postazione di interesse) è l'altra per ottenere dei livelli di rumore nella postazione di interesse

Anche se esistono metodi più avanzati, la maggior parte degli algoritmi più diffusi usano il metodo empirico e si basano su regole semplici di fisica. Infatti molti di questi possono essere realizzati con carta e penna. Tuttavia è necessario utilizzare un computer per poter gestire la quantità di dati acquisiti dalle postazioni di calcolo e dalle sorgenti, ed effettuare le successive elaborazioni ed analisi e creare i report per le presentazioni.

I calcoli vengono effettuati usando un modello computerizzato dell'ambiente che abbia delle sorgenti sonore definite, una topografia e le caratteristiche che influenzano la propagazione del rumore che arriva alla postazione di interesse (ricevente). Uno o più punti di calcolo vengono inseriti nel modello ed al computer viene chiesto di valutarne i livelli di rumore. Di norma, i livelli L_{Aeq} a lungo termine sono calcolati anche se si hanno disponibili livelli in bande d'ottava.

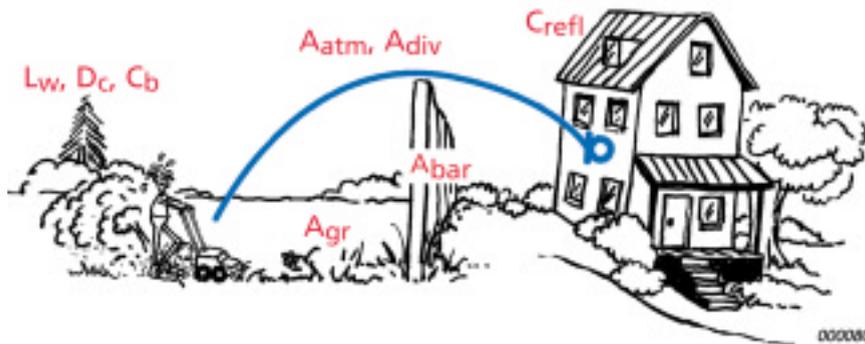
Gli algoritmi

Gli algoritmi sono semplici da capire. Il livello di pressione sonora in un punto causato da una sorgente sonora di una particolare forza può essere determinato dall'equazione seguente:

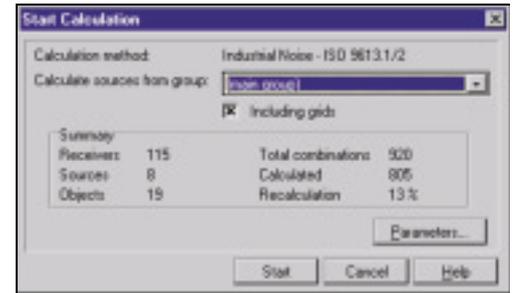
$$L_p = L_W + D_c + C_b - A_{propagazione}$$

dove:

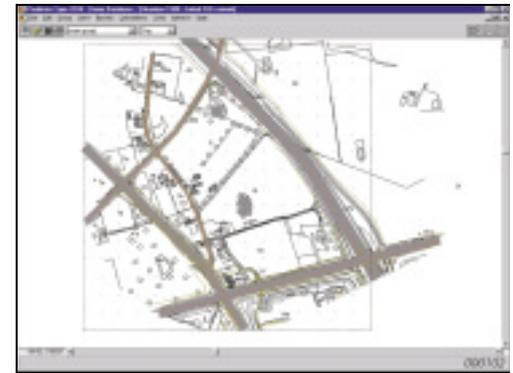
- L_p Livello di rumore equivalente al punto ricevente in dB
- L_W Livello di potenza sonora della sorgente in dB (ref = 1 pW)
- D_c Correzione di direttività in dB se la sorgente non emette suoni uguali in tutte le direzioni
- C_b Correzione in dB se la sorgente non è sempre attiva. Per esempio il livello a lungo termine è ridotto di 3 dB se la sorgente è attiva solo per 12 ore al giorno
- $A_{propagazione}$ Attenuazione di propagazione in dB



I termini individuali di algoritmo mostrati dove occorrono



Il calcolo del livello di rumore in 115 punti di ricezione da 8 sorgenti richiede 920 sotto-calcoli a ciascuna frequenza per ogni termine di attenuazione



La figura mostra un modello di un'autostrada rurale con raccordo dove si indicano le sorgenti stradali, la tipologia del suolo acusticamente duro, il profilo topografico ed alcuni punti di ricezione alle facciate dei fabbricati

Il termine di attenuazione può essere suddiviso in diversi effetti puramente fisici come mostrato di seguito:

$$A_{\text{propagazione}} = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{misc}} + C_{\text{refl}}$$

dove:

| | |
|-------------------|--|
| A_{div} | L'attenuazione come risultato di una propagazione geometrica |
| A_{atm} | L'attenuazione come risultato di assorbimento dell'aria |
| A_{gr} | L'attenuazione dovuta all'assorbimento/riflessione del suolo |
| A_{bar} | L'attenuazione di diffrazione a campo libero di una barriera |
| A_{misc} | L'attenuazione dovuta ad effetti eterogenei (la variabilità del tempo, la dispersione attraverso le strutture acusticamente complesse come le tubazioni) |
| C_{refl} | La correzione dovuta al contributo delle riflessioni |

Tutto questo può essere fatto con un calcolo a banda larga (dB(A)) oppure in ot-tave e di seguito sommato per ottenere un livello a banda larga. In genere, i calcoli in bande d'ottava sono più precisi e anche più utili in analisi successive o richieste di riduzione del rumore.

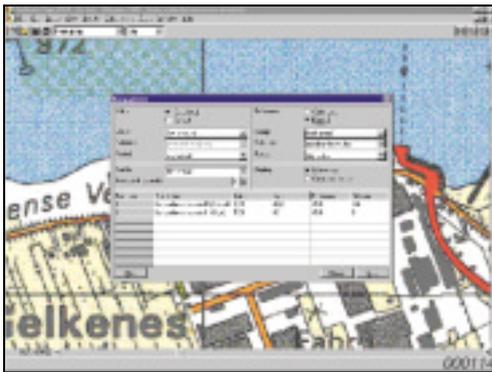
La convalida assicura una precisione ottimale

Come con le misure, i calcoli dovrebbero essere calibrati. Questo di norma coinvolge alcune forme di misure ritenute valide, effettuate nei punti selezionati, dove i livelli misurati possono essere confrontati con quelli calcolati.

Tuttavia, diversamente dalle misure, la calibrazione di un calcolo viene effettuata dopo il primo calcolo ed usata per portare i risultati ad un livello di precisione ottimale.

È necessario assicurarsi che l'attività della sorgente durante la misura sia la stessa di quella calcolata. Il calcolo comprende una correzione dovuta agli agenti atmosferici su lunghi periodi, per ottenere un livello L_{Aeq} medio a lungo termine, anche se confrontando le misure ed i calcoli, le prime dovrebbero essere eseguite in condizioni di tempo stabile con il vento proveniente dalla sorgente verso il ricevente (sottovento). Usando i risultati di un singolo giorno di misure si può incorrere in errori sistematici causati da condizioni meteorologiche eccezionali. Questo errore può incrementare il livello fino a 10 dB. Inoltre i dati misurati non appartengono alla specifica sorgente e comprendono contributi provenienti da altre sorgenti invece che da quelle sotto esame. Si raccomanda quindi sempre un monitoraggio a lungo termine e di effettuare un'elaborazione successiva per eliminare i contributi indesiderati.

In alcuni casi, per esempio nell'indagine di possibili scenari futuri, la convalida con le misure non è possibile e solo il confronto con situazioni simili o l'attenta analisi dei risultati può garantire una precisione ottimale.



I risultati di misura migliorano il modello per dare una differenza media inferiore a 2 dB ed una differenza massima di 2.6 dB

La precisione

La precisione di un calcolo particolare dipende da diversi fattori. I più importanti sono le situazioni, i livelli, la gamma, i dati immessi e la capacità e l'esperienza dell'esperto in acustica.

Gli algoritmi sono resi ottimali per l'utilizzo in un certo ambito di scenari. In particolare le normative per il calcolo del rumore stradale e ferroviario si basano su dati di emissioni di rumore da traffico raccolti a livello nazionale e che non possono essere impiegati in altri paesi dove l'età e la varietà dei veicoli e le condizioni di guida sono diverse. Perciò, la precisione può variare con il livello di rumore calcolato, con la precisione ottimale ottenuta su una più piccola o più ampia gamma di livelli di rumore. Tuttavia la maggior parte degli algoritmi provvedono a ciò per garantire la precisione su un'ampia gamma di livelli di rumore.

Un problema maggiore consiste nell'accertarsi della qualità dei dati immessi dato che la precisione dei risultati dipende in gran parte da questo. I dati topografici, i livelli di potenza sonora dei macchinari ed i dati del flusso stradale sono campi in cui si deve prestare molta attenzione.

Il rischio di acquisire dati errati può essere ridotto usando file aggiornati GIS o AutoCAD per generare dati topografici, misurando i livelli di potenza sonora direttamente sul posto ed effettuando i conteggi del flusso stradale in punti di controllo selezionati. Infine, la capacità degli operatori e l'esperienza sia in campo di valutazione dell'inquinamento acustico che in campo di algoritmi di calcolo, giocano un ruolo fondamentale per l'ottimizzazione dei risultati.

Usati correttamente nell'ambito degli scenari in cui sono stati creati, gli algoritmi garantiscono precisioni globali entro i 3 dB.



Il calcolo confrontato con la misura

| Vantaggi | Svantaggi |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Informazioni dettagliate riguardo: sorgenti critiche molte posizioni• Indipendenza dalle condizioni meteorologiche• La considerazione di situazioni ipotetiche• Facile da aggiornare• Meno sensibile al rumore di fondo | <ul style="list-style-type: none">• Vasta raccolta di dati (rumore e geometria)• Precisione dei risultati dipendente dalle capacità dell'esperto in acustica e dall'esperienza nel ricreare dei modelli ambientali |

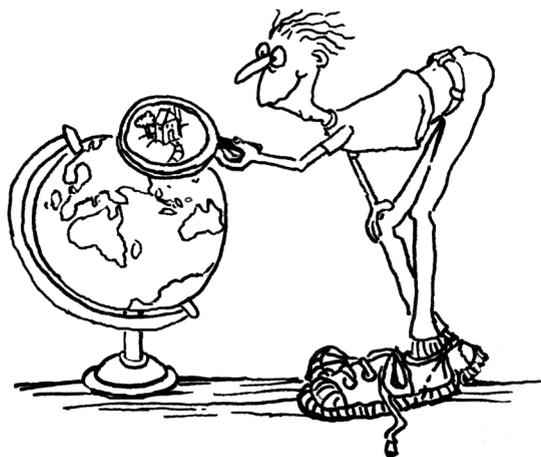


Come per la misura, il calcolo può essere usato nella valutazione del rumore ambientale. In aggiunta si può utilizzare per identificare sorgenti preminenti per la riduzione del rumore, per gestire il rumore attraverso indagini sull'effetto di futuri cambiamenti nel clima acustico e per la mappatura del rumore (vedere la sezione successiva sulla pianificazione).

Pianificazione

La pianificazione è una parte importante nel compito di gestione del rumore urbano e può essere osservata a due modi diversi:

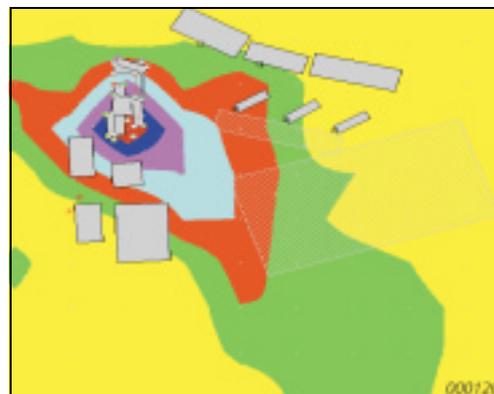
- Globale – dove l'ambiente rumoroso di un'area viene continuamente controllato per prevenire aumenti di rumore e ottimizzare l'uso delle risorse.
- Locale – dove le situazioni individuali sono valutate prima della realizzazione, riferendosi spesso come ad una "valutazione di impatto ambientale" ed è frequentemente usato per fornire le basi per la concessione del permesso di pianificazione di nuovi insediamenti e per la mappatura strategica del rumore, utile nella gestione ottimale del rumore urbano.



000099

Locale

In molti paesi, la "valutazione dell'impatto ambientale" deve essere fatta prima, ad esempio, che il permesso di pianificazione di un nuovo stabilimento industriale o dell'estensione di un'autostrada sia approvato. Una richiesta di valutare l'impatto del rumore spesso significa impedire di superare un limite fisso oppure ponderare l'impatto del rumore e gli altri fattori ambientali con i benefici socio-economici che la valutazione comporta. Ciò può condurre allo sviluppo di idee alternative per migliorare l'impatto ambientale prima dell'approvazione del nuovo progetto.



Mapa del profilo di rumore di un complesso industriale

Gli strumenti usati per valutare l'impatto del rumore comprendono:

- Mappe dei profili di rumore
- Calcolo di un indice di rumore ponderato
- Valutazione del rendimento economico e della conseguenza delle attività di riduzione del rumore
- Presentazione tabulare del numero di persone esposte a certi livelli di rumore

Indici di rumore ponderato

Un indice di rumore ponderato quantifica il fattore di disturbo del rumore prodotto dalla sorgente sotto esame, a cui le residenze locali sono soggette. Si suppone che un indice di rumore ponderato uguale a 0 indica che i livelli sono accettabili, poiché non superano i limiti raccomandati. Un esempio di "indice di rumore ponderato" si trova nei regolamenti danesi per la valutazione dell'impatto di nuove strade.

Un indice di rumore ponderato viene calcolato moltiplicando il numero di persone esposte con il fattore di esposizione. L'esempio ipotetico mostra un indice di 170

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| L _{DEN} | Fattore di esposizione | Nr. della popolazione (1000) | Esposizione della popolazione (2×3) |
| < 45 | 0.0 | 20 | 0 |
| 46 – 50 | 0.1 | 30 | 3 |
| 51 – 55 | 0.2 | 40 | 8 |
| 56 – 60 | 0.4 | 65 | 26 |
| 61 – 65 | 0.8 | 60 | 48 |
| 66 – 70 | 1.5 | 20 | 30 |
| 71 – 75 | 3.0 | 10 | 30 |
| > 76 | 5.0 | 5 | 25 |
| TOTALE | | 250 | 170 |

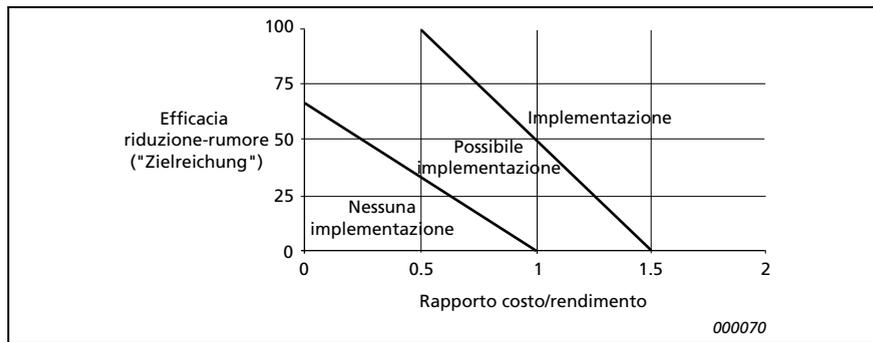
Per calcolare un indice di rumore ponderato tipico, è necessario raggruppare le proprietà dell'area sotto esame secondo la destinazione (residenziale, commerciale o industriale), quindi classificare il numero di proprietà con livelli di rumore in categorie di 5 dB. Moltiplicare il numero delle proprietà di ciascuna categoria con un fattore di disturbo determinato dal livello di rumore: più alto è il livello, maggiore è il fattore di disturbo.

Sommando gli indici di cui sopra per le diverse classi di proprietà, il risultato è un indice di rumore ponderato che può essere usato nella valutazione dell'impatto del rumore ambientale del nuovo progetto e nel confronto con altre alternative. Più piccolo è l'indice, inferiore è l'impatto del rumore che si dovrebbe apportare.

Alcuni indici usano il numero di abitanti invece del numero di residenze, dando un "indice di esposizione al rumore della popolazione". Un esempio di questo è l'"indice d'impatto al rumore" proposto dalla US National Academy of Sciences.

Costo-rendimento e conseguenza delle attività di riduzione del rumore ambientale

In Svizzera, nel valutare le attività di riduzione del rumore ambientale, l'efficacia delle soluzioni per ridurre il rumore ai livelli richiesti viene confrontata con il suo costo-rendimento. Se la soluzione riduce il rumore al di sotto dei limiti legali in tutte le aree ed ha un elevato costo-rendimento, questa verrà attuata, se invece il rumore non viene ridotto e/o non esiste un congruo rapporto costo-rendimento, accadrà il contrario. Si ha comunque un'area grigia dove le decisioni vengono influenzate anche da altri fattori (vedere la figura di seguito).



Che un'attività di riduzione del rumore sia attuata oppure no, dipende dal suo rapporto costo-rendimento e dalla sua efficacia di ridurre il rumore al di sotto dei limiti statutori

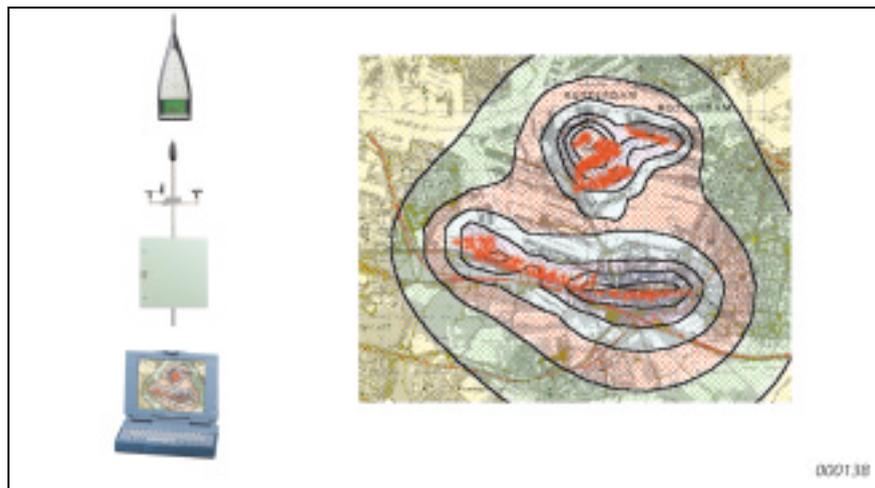
Globale

Globale, o strategica, la pianificazione del rumore cerca di impedire che il problema del rumore non aumenti ed a rendere ottimale l'impiego delle risorse esistenti con l'aiuto della mappatura e la gestione del rumore ambientale di un'area vasta come lo può essere una città.

La mappatura del rumore è già ampiamente diffusa nel campo del rumore aeroportuale. In questo caso le "orme" di 65 dB e 55 dB sono usate per l'approvazione di un piano di sviluppo di nuove piste e per determinare la compensazione dei residenti vicino.

Le mappe di rumore possono essere create con:

- un monitoraggio del rumore a lungo e breve termine
- un rilevamento delle misure proveniente da stazioni di monitoraggio permanente
- il calcolo



L'Unione Europea, al momento, è sul punto di varare una nuova “politica del rumore” basata sulla Carta Verde del 1996. Questa dovrà dare le indicazioni sull'uso delle mappe di rumore, come si creano e cosa significano. Le mappe di rumore sono proposte come indicazione dei parametri L_{DEN} e L_{night} (L_{Aeq} notturno) di ogni tipo di sorgente (strada, ferrovia, industria ecc.) ad un'altezza di 4m da suolo. Il totale dei livelli proveniente dalle diverse sorgenti può essere ottenuto con un metodo stabilito. L'Unione Europea sta lavorando verso le città con più di 250000 abitanti, creando mappe di rumore da trasporto o industriale usando i modelli correnti. In seguito, queste città verranno usate per creare mappe di rumore usando tecniche comuni.

Quando si aspira a ridurre gli effetti dell'inquinamento acustico sulle persone, si deve considerare i seguenti aspetti:

- le sorgenti di rumore
- le vie di trasmissione
- i tipi di case in cui le persone vivono

La più comune delle sorgenti di inquinamento acustico è il traffico stradale che conta in Europa, per più del 90%, livelli superiori a quelli limite (giorno $L_{Aeq} > 65$ dB(A)). Altre forme di rumore da trasporto sono più un problema locale come il rumore ferroviario o aereo, ma può sempre essere estremamente disturbante per molte persone.

I livelli di rumore esternamente, di norma, diminuiscono con l'aumentare della distanza dalla sorgente, a causa della propagazione geometrica dell'energia sonora sopra un'ampia superficie e l'assorbimento del rumore da parte dell'atmosfera e del suolo. Le barriere aggiungono un'ulteriore riduzione dei livelli di rumore.

L'isolamento acustico dei fabbricati è dunque la barriera finale contro una potenziale intrusione degli effetti dell'inquinamento acustico.

La sorgente

La maggior parte dei paesi incoraggiano le aziende a produrre auto e camion più silenziosi, imponendo dei limiti di rumore sui singoli veicoli. Questi limiti di rumore "pass-by" sono stati ridotti negli ultimi 20 – 30 anni di circa 8 dB(A) per le automobili e di 15 dB(A) per il trasporto pesante.

Alcuni governi, come la Norvegia e l'Italia hanno varato una legge per includere dei test sull'emissione di rumore dei veicoli durante la normale manutenzione. Questi test vengono effettuati dalle officine autorizzate durante le revisioni generali sulle condizioni del veicolo ed altri effettuano controlli saltuari. Anche così, tuttavia, il numero crescente di automezzi ha portato ad un aumento globale dei livelli di rumore.

La superficie stradale può essere migliorata per ottenere un'uscita acustica inferiore. L'asfalto poroso ed il recente "asfalto con superficie a rumore ridotto" hanno mostrato riduzioni tra 2 – 6 dB(A). Il rumore ferroviario può essere ridotto usando un binario saldato posato su un letto di cemento con un cuscino antivibrante.

Riduzione del rumore



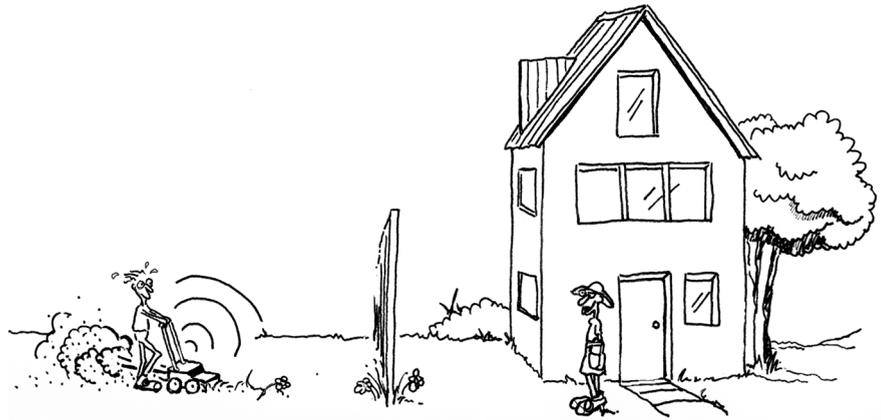
000137



Vie di trasmissione

Il metodo più ovvio per ridurre il rumore è spostare le persone più lontano possibile dalle sorgenti, tuttavia questo è spesso impraticabile e, per attenuare l'esposizione, si deve ricorrere a barriere antirumore.

L'altezza di queste barriere, la posizione della sorgente e dei riceventi rispetto ad essa sono cruciali per quantificare la riduzione che può essere raggiunta. Esempi di questo tipo si possono trovare nelle ferrovie giapponesi dove sono state create delle barriere con altezze di 1.5 m, oppure negli aeroporti statunitensi con barriere di 10 m. Le altezze tipiche per la riduzione del rumore da traffico stradale sono di norma tra i 3 e 7 m. Inoltre, lo spettro di frequenza della sorgente influenzerà la riduzione raggiungibile. Le basse frequenze, confrontate con le alte, vengono attenuate in minima parte dalle barriere. In altri casi, la capacità delle barriere può essere migliorata applicando su di esse del materiale assorbente, evitando superfici riflettenti parallele e sagomando o angolando le strutture per evitare riflessioni multiple.



000104

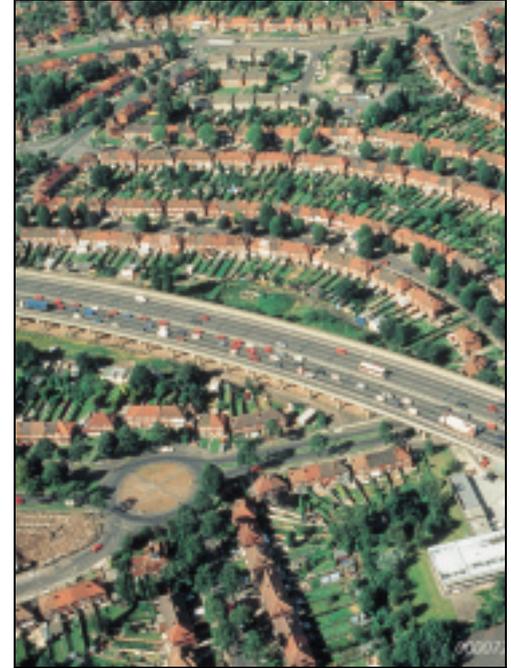
Isolamento acustico dei fabbricati

Lo stadio finale per garantire alle persone un isolamento dall'inquinamento acustico nelle loro case è il provvedere ad un isolamento acustico dai livelli di rumore esterni. Questo è chiamato "isolamento acustico della facciata" e si misura in termini di "differenza del livello normalizzato" ($D_{nT,tr}$) o di "indice di riduzione sonora" (R'_{tr}).

Diversi paesi approcciano la questione in diversi modi, come negli esempi che seguono:

- in alcuni paesi, viene richiesto un livello minimo di isolamento della facciata
- in altri, come la Gran Bretagna, l'isolamento aggiuntivo viene richiesto quando le sorgenti di rumore esterne sono particolarmente elevate (aeroporti, e rumore da traffico)
- le nuove abitazioni non sono consentite se i livelli ambientali del rumore sono molto elevati (in Gran Bretagna, Planning and Policy Guidance 24)
- il livello di rumore interno risultante viene classificato (sopra i 35 dB(A) è classificato come mediocre, sotto i 20 dB(A) è classificato come molto buono)

(Proposta Paesi nordici: Classificazione acustica dei fabbricati residenziali, Disegno INSTA 122:1997)



Misure sotto sorveglianza o in automatico

La presenza in sito?

La strumentazione automatica di oggi può essere lasciata sul campo di misura per registrare i dati di rumore ambientale ed inviare i report direttamente sulla scrivania dell'ufficio dell'operatore. Questo è sia comodo sia economicamente conveniente per valutare le condizioni di rumore ed è necessario se le misure richieste sono a lungo termine o simultanee.

Tuttavia in alcuni casi è importante che l'operatore sia presente sul campo:

- per modificare o migliorare le impostazioni di misura
- per accertarsi che le misure siano rappresentative
- per identificare e marcare sorgenti di rumore specifico
- per identificare e marcare il rumore residuo
- per prevenire interferenze con la strumentazione o con la misura
- per informare quei lavoratori che usano macchinari rumorosi
- per mediare i conflitti sul problema del rumore:

Le misure **sotto sorveglianza** sono spesso effettuate in condizioni non facili – il tempo è spesso scarso, l'accesso alla postazione è difficile, l'alimentazione non è disponibile o intermittente, si presentano eventi inaspettati o interruzioni e spesso non si ha nemmeno la possibilità di effettuare la misura una seconda volta. Perciò si ha la necessità di una strumentazione che abbia le seguenti caratteristiche:

- sia facile da trasportare, da impostare e funzionare
- abbia la possibilità di poter marcare gli eventi e le sorgenti rumore
- misuri tutti i parametri simultaneamente
- evidenzi la data/ora di tutti i dati registrati



000081



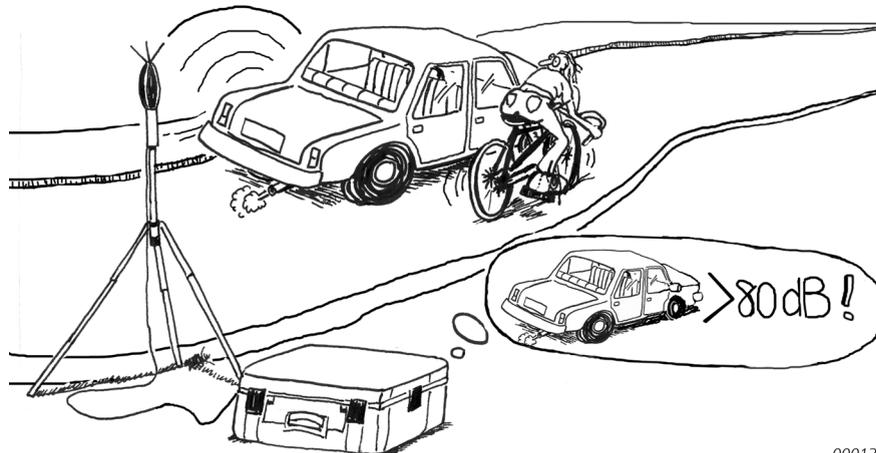
La registrazione automatica di tutti i parametri simultaneamente assicura che i dati siano compatibili e risparmia una seconda visita alla postazione (che può anche non essere possibile)

Per le misure in automatico, senza sorveglianza, la preparazione della strumentazione e l'impostazione devono essere effettuate con grande attenzione e previdenza, in quanto gli strumenti devono funzionare da soli per tutta la durata della misura, ciò richiede:

- ampia gamma dinamica
- registrazione dati (ogni secondo, o minuto)



L'unità GPS (Global Positioning System) trasferisce le coordinate della postazione di misura al fonometro per l'integrazione con i dati di livello sonoro



000132



Per misure senza sorveglianza, il microfono deve essere protetto dal vento, dalla pioggia e dai volatili. Deve anche essere accessibile facilmente per qualsiasi ispezione e per la calibrazione

- trigger di eventi per individuare l'evento di rumore
- misura simultanea di tutti i parametri
- registrazione sonora per l'identificazione della sorgente di rumore
- registrazione dei dati meteorologici
- stampa data/ora di tutti i dati registrati Automatic calibration check
- grande capacità di memoria dei dati
- controllo automatico della calibrazione
- accesso a distanza ai dati ed all'impostazione (preferibilmente)
- alimentazione ausiliaria
- microfono e strumenti protetti contro gli agenti atmosferici
- protezione contro manomissioni e animali

Combinazione efficace

Spesso, una combinazione di misure sotto sorveglianza e in automatico è la soluzione più efficace, sul campo per quanto riguarda studi di prova e controlli saltuari e in ufficio per misure a lungo termine o monitoraggi permanenti.



Un fonometro può essere usato per misure senza sorveglianza, inserendolo dentro una valigetta di protezione – qui mostrata con un'alimentazione ausiliaria, un registratore DAT per l'identificazione delle sorgenti di rumore e un modem GSM per lo scarico dei dati di misura ad un PC in ufficio

Monitoraggio permanente

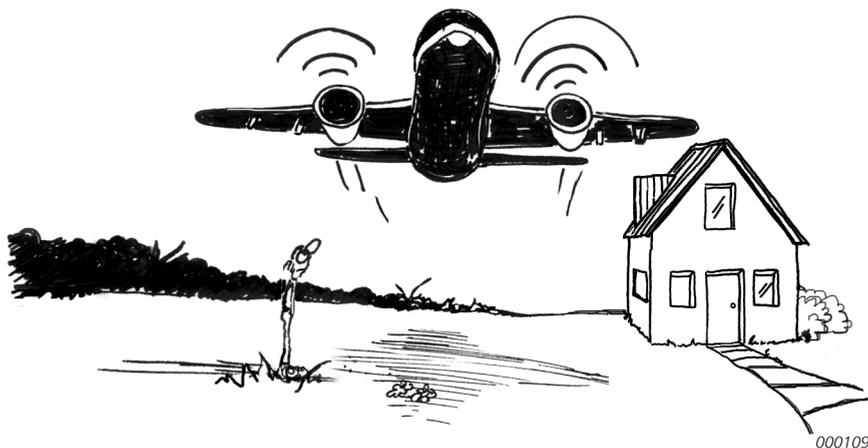
Un'opera conciliativa

Il monitoraggio permanente del rumore, 24 al giorno, per 365 giorni l'anno controlla il rispetto dei limiti di rumore e consente di acquisire un'ampia gamma di dati per ulteriori analisi. Il monitoraggio permanente del rumore viene usato da una sempre più crescente varietà di organizzazioni.

Aeroporti

Per i maggiori aeroporti, il monitoraggio permanente del livello di rumore è il punto chiave nel funzionamento giornaliero dell'aeroporto, poiché l'inquinamento acustico che ne deriva è spesso la prima delle proteste provenienti dalle aree residenziali limitrofe. Le autorità aeroportuali hanno stabilito dei regolamenti allo scopo di diminuire il più possibile l'impatto causato dall'insediamento. In questo modo sperano che queste norme non solo daranno la garanzia di un'adesione delle compagnie aeree (areoplani e piloti), ma impediranno le proteste.

Spesso è necessario ottenere sia i dati di rumore che le informazioni riguardanti le traiettorie seguite dall'avvicinamento o decollo degli areoplani. Di norma, il radar aeroportuale fornisce le informazioni richieste e una volta correlate con i dati di rumore possono facilmente essere usate per determinare i livelli eccessivi di rumore per un areoplano specifico.



Città

Il monitoraggio permanente del rumore nelle città copre:

- l'industria
- i cantieri edilizi
- le strade più importanti
- le reti ferroviarie più importanti
- le aree per concerti, esposizioni e manifestazioni sportive

Di solito viene usato quando le autorità hanno imposto dei limiti di rumore severi o per proteggere azioni che vanno contro la legge, proteste e richieste di risarcimento. Il monitoraggio permanente può indicare le tendenze del rumore ed aiutare a creare le mappe di rumore.



Sistemi di monitoraggio permanente del rumore

Questi sistemi assicurano un'acquisizione dei dati in modo automatico, ventiquattr'ore su ventiquattro, la raccolta di informazioni ed altri importanti parametri ambientali.

Tutti i risultati di misura sono raccolti e memorizzati in un terminale di monitoraggio e trasferiti periodicamente ad un computer centrale dove i dati vengono elaborati e memorizzati. Il numero necessario di terminali dipende dall'area da coprire e dalle necessità specifiche del monitoraggio. Molti sistemi hanno tra i 10 e 30 terminali, anche se esistono sistemi composti da oltre 100.

Un terminale di monitoraggio del rumore consiste di base in: un microfono con protezione dalle intemperie, un dispositivo per l'analisi e la memoria dei dati ed un sistema di comunicazione come una linea telefonica.



Stazione di monitoraggio permanente a Madrid

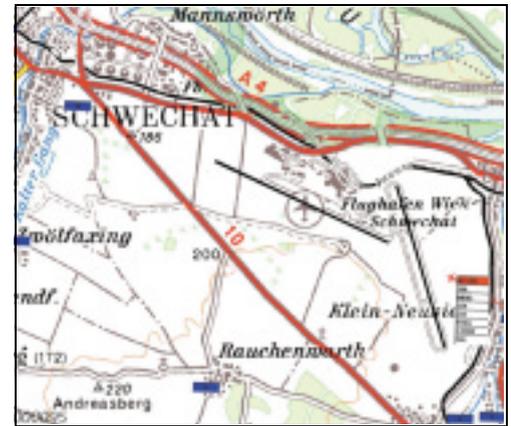
Gli analizzatori comunemente usati misurano una gamma di parametri di rumore che comprendono i livelli correnti di L_{Aeq} e L_N , come anche il rilevamento di eventi particolari. Alcuni forniscono analisi di frequenza in bande di 1/3 d'ottava in tempo reale consentendo l'immediato calcolo di indici, come i livelli di rumore percepiti L_{pN} di ciascun areoplano in sorvolo.

I terminali di monitoraggio permanente sono spesso collegati ad una centrale di controllo per la visualizzazione e l'analisi dei dati provenienti dalle diverse postazioni. I livelli di rumore medi a breve e/o lungo termine possono essere mostrati in un display pubblico per informare la popolazione e rendere positive le relazioni pubbliche con le autorità competenti.

In alternativa possono essere usate delle cabine mobili. Queste unità fornite di un'identificazione automatica della posizione, spesso sono dotate di dispositivi per il trasferimento dei dati via telefono ad un computer. In tutti i casi la strumentazione di raccolta dati deve essere di Classe 1 (vedere la sezione Normative internazionali, CEI 60651).

Usati per lunghi periodi di tempo, questi strumenti sono soggetti ad un deterioramento dovuto all'influenza dell'umidità, delle variazioni di temperatura, del vento ed anche all'aggressione degli animali. Il microfono è la parte più vulnerabile, in quanto è quella più esposta di tutto il sistema. Per prevenire il più possibile i danni si raccomanda di usare un dispositivo impermeabile, in materiale resistente ed anticorrosivo, dotato di una protezione contro l'umidità. Inoltre è senza dubbio un vantaggio se il sistema di monitoraggio può automaticamente eseguire verifiche acustiche come controlli automatici del sistema, ad esempio una calibrazione ad iniezione di carica (CIC) per controllarne il completo funzionamento.

I sistemi di monitoraggio permanente hanno di norma un database di discrete dimensioni che consente le analisi, la ricerca dell'impatto ambientale e la valutazione dello stato, fornendo periodicamente i risultati. Gli eventi di rumore ed i reclami possono essere messe in correlazione e combinati con la cartografia digitale del GIS (Geographic Information System – Sistema di informazione geografica) per indicare l'esposizione della popolazione e consentire una presentazione di elevata qualità.



Stazioni di monitoraggio permanente intorno all'aeroporto di Vienna

Normative internazionali

Le normative internazionali sono essenziali per la valutazione dell'inquinamento acustico e del rumore ambientale, in quanto vengono usate direttamente oppure utilizzate come riferimento o ispirazione per le normative nazionali e locali. Questa sezione vuole evidenziare alcuni degli standard più importanti.

Esistono due testi internazionali principali che sono la base di tutte le normative. La ISO (International Organization for Standardization) tratta principalmente con la metodologia, per garantire che le procedure siano definite in modo da rendere possibile un confronto tra i risultati. La CEI (Commissione elettrotecnica internazionale) tratta invece il tipo di strumentazione, per garantire che gli strumenti siano compatibili e possano essere intercambiati senza che ciò influisca sulla precisione o sui dati.

ISO 1996 – Valutazione del rumore ambientale

La ISO 1996 “Acustica – Descrizione e misura del rumore ambientale” è la normativa centrale per la valutazione del rumore ambientale, agendo come lavoro di riferimento ed è divisa in 3 parti:

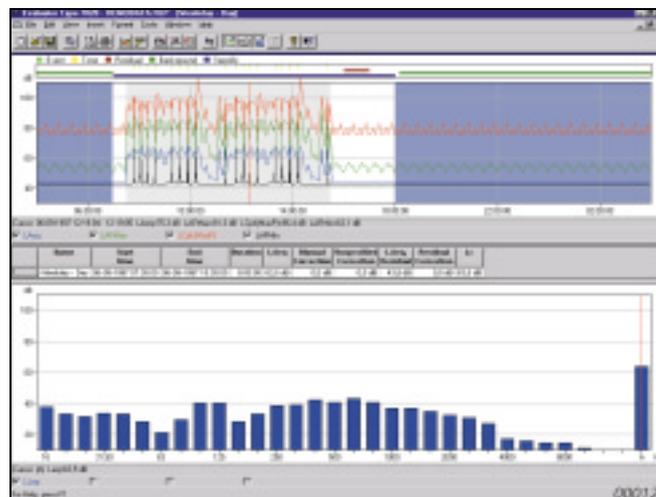
imento ed è divisa in 3 parti:

- ISO 1996 Parte 1 1982: Quantità e procedure di base
- ISO 1996 Parte 2 1987: Acquisizione dei dati pertinenti all'uso territoriale (ratificata 1998)
- ISO 1996 Parte 3 1987: Applicazione dei limiti di rumore

Definisce la terminologia di base compreso il parametro di Rating Level e descrive i sistemi migliori per la valutazione del rumore ambientale.

La ISO 1996 è ancora in revisione specie riguardo l'adeguamento delle tecniche di misura con la strumentazione di ultima generazione, migliorandone le procedure, come quelle per l'identificazione dei toni e migliorando l'informazione sulla ricerca dell'effetto dei livelli di rumore provenienti da diverse sorgenti.

Nel calcolo di un Rating Level di una sorgente specifica per si debbono computare i fattori di correzione (fattori K vedi DM 16 marzo 98)



ISO 3891 – Monitoraggio del rumore dei velivoli

La ISO 3891: “1978 Acustica – Procedure per la descrizione del rumore dei velivoli udito al suolo” tratta sul come monitorare il rumore aereo (misura del rumore e registrazione, elaborazione dei dati e report). Questa normativa si trova attualmente in revisione e includerà la descrizione e la misura del rumore degli aerei udito al suolo, non accompagnata da monitoraggio a breve o lungo termine del rumore aereo, la gestione del rumore areoportuale e l'utilizzo territoriale.



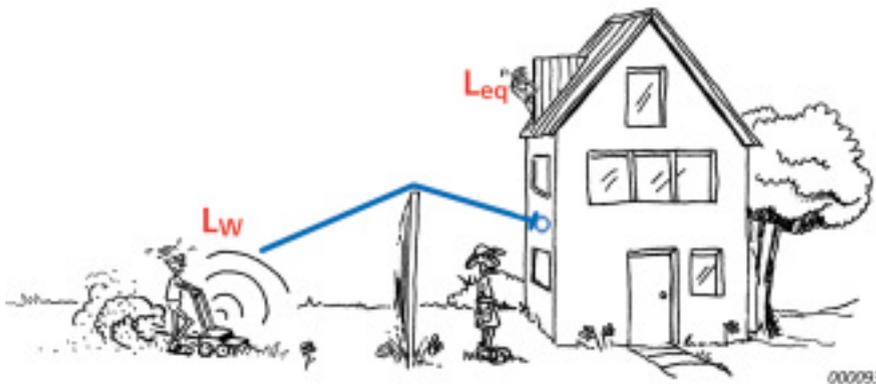
000207

ISO 9613 – Calcolo

La ISO 9613 “Acustica – Attenuazione del suono durante la propagazione all’aperto” è divisa in 2 parti:

- ISO 9613 Parte 1 1993: Calcolo dell’assorbimento acustico dell’atmosfera
- ISO 9613 Parte 2 1996: Metodo generale del calcolo

Definisce un calcolo in ottava basato su sorgenti puntiformi con un livello di potenza sonora definita. Sorgenti lineari possono essere create con sorgenti puntiformi.



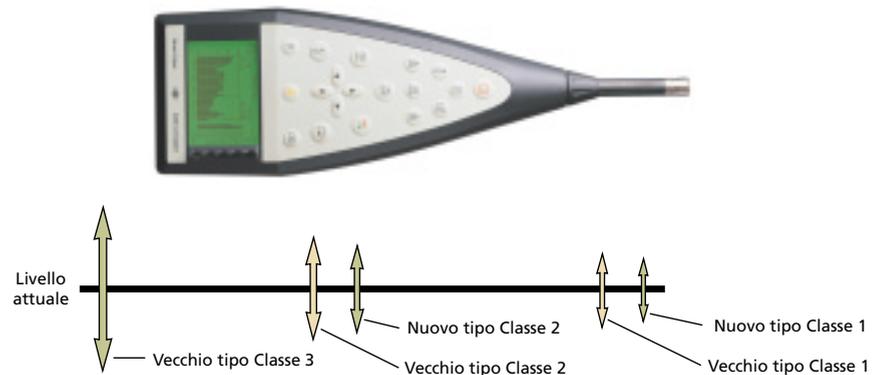
000093

CEI 60651, CEI60804 e CEI 61672 – Fonometri

Queste normative sono raggruppate insieme perché tutte trattano dei fonometri. Gli standard internazionali riguardanti i fonometri sono accettati da tutti i paesi del mondo e sono importanti perché tutte le norme di misura si riferiscono alle norme sui fonometri, per definire il tipo di strumentazione richiesta.

Nella maggior parte dei paesi, per misurare il rumore ambientale si richiede una strumentazione di Classe 1.

- CEI 60651 – Fonometri (1979, 1993): definisce i fonometri e quattro categorie di precisione (Classi 0, 1, 2 e 3). Specifica le caratteristiche tecniche, incluso la direzionalità, la ponderazione in frequenza e temporale e la sensibilità ai vari ambienti. Stabilisce le prove per verificare la conformità con le caratteristiche specificate.
- CEI 60804 – Fonometri mediatori-integratori (1985, 1989, 1993): Normativa aggiuntiva alla CEI 651 che descrive questo tipo di strumento (cioè, quelli che misurano L_{eq}).
- CEI 61672 – Fonometri: proposta di normativa CEI per fonometri che sostituirà la CEI 60651 e la CEI 60804. I cambiamenti maggiori: specifiche più severe, la classe 3 scompare. Dovrebbe significare anche un miglioramento delle prove ed un controllo di qualità dello strumento e incrementarne la precisione.



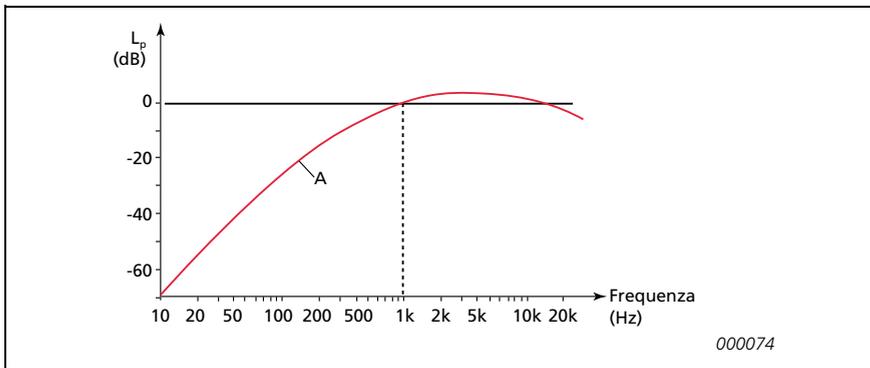
000073

Rappresentazione schematica dell'incremento della precisione con la nuova normativa riguardante i fonometri. Le frecce rappresentano l'errore relativo della misura

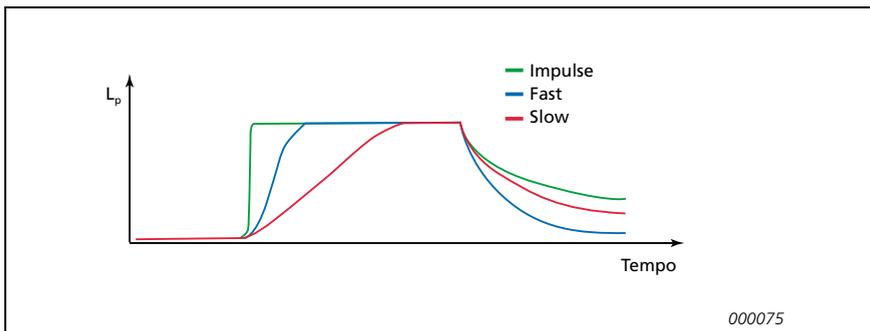
Parametri di rumore ambientale e terminologia

Per valutare la reazione della comunità al rumore ambientale viene usato un vasto numero di parametri. La risposta estremamente variabile degli individui al rumore ambientale e le molte caratteristiche (livello, frequenze, impulsività, intermittenza, ecc.) dei diversi tipi di sorgente hanno portato a molti tentativi per dare un valore all'effetto di quel dato rumore. L'elenco seguente riassume la maggior parte dei parametri di uso comune.

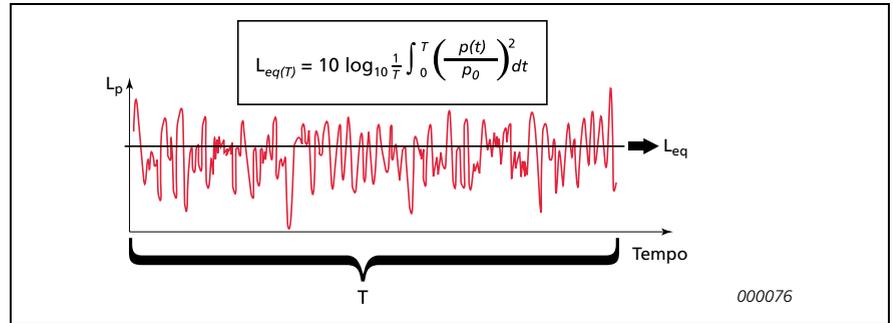
Ponderazione in frequenza "A": il metodo della ponderazione in frequenza del segnale elettrico all'interno di uno strumento di misura del rumore consente di simulare il modo in cui l'orecchio umano risponde ad una gamma di frequenze acustiche. Si basa sulla curva di rumorosità pari a 40 dB. I simboli dei parametri acustici spesso comprendono la lettera "A" (L_{Aeq}) ad indicare che la ponderazione in frequenza è stata inclusa nella misura.



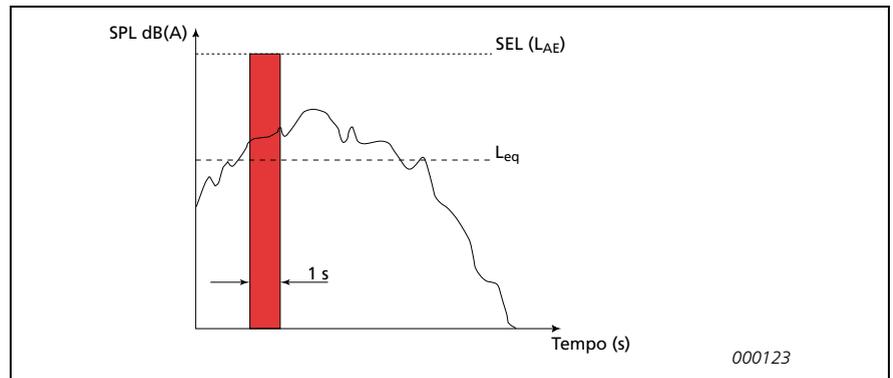
Ponderazioni temporali Fast, Slow ed Impulse: i tempi di risposta normalizzata sono stati originariamente inseriti all'interno dello strumento di misura, per dare un'indicazione visuale dei livelli di oscillazione del rumore. Le normative di valutazione ambientale specificano il tipo di ponderazione temporale che deve essere usata (F, S o I).



$L_{Aeq,T}$: parametro acustico ampiamente usato che calcola un livello sonoro costante con lo stesso contenuto di energia di un segnale sonoro variabile misurato. La lettera “A” indica che è stata inclusa una ponderazione in frequenza A e “eq” indica che è stato calcolato un livello equivalente. Da ciò, L_{Aeq} è il livello sonoro continuo equivalente ponderato A.

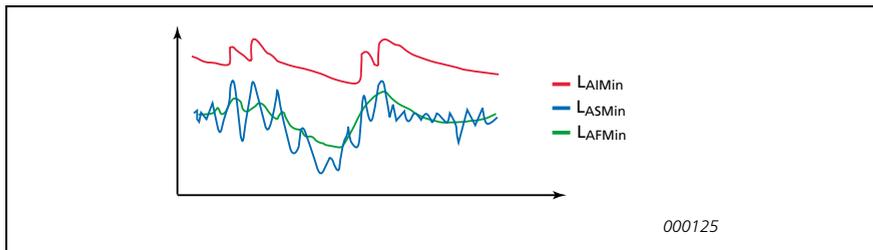
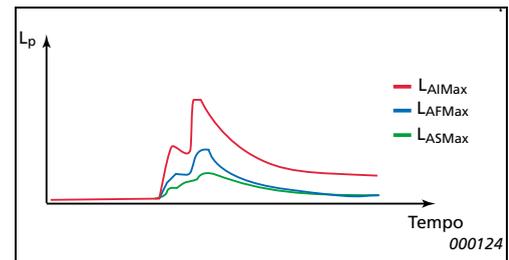


L_{AE} : Livello di esposizione sonora (SEL): parametro collegato al L_{Aeq} per la valutazione degli eventi (areoplani, treni ecc.) che hanno caratteristiche simili ma di durata diversa. Il valore L_{AE} contiene la stessa quantità di energia acustica espressa su un periodo di un secondo “normalizzato” dell’evento di rumore reale preso in considerazione.

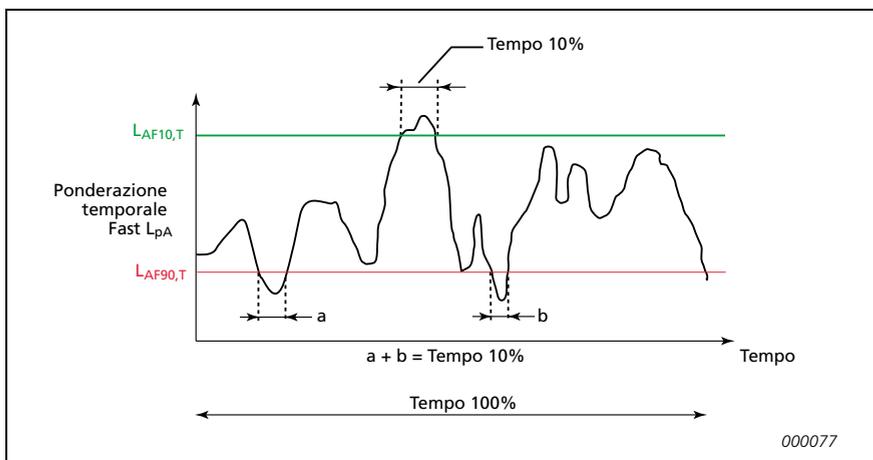


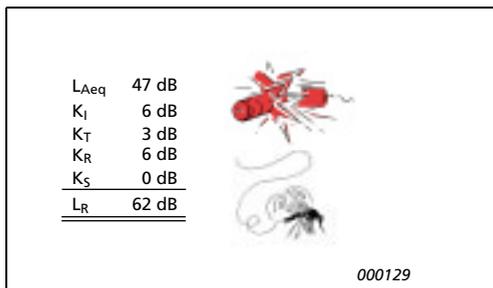
L_{AFMax} , L_{ASMax} o L_{AIMax} : livello sonoro massimo ponderato A misurato con ponderazione temporale Fast (F), Slow (S) o Impulse (I). Sono i livelli sonori più alti che vengono rilevati durante il periodo di misura. Spesso sono usati insieme con altri parametri (come L_{Aeq}) per assicurare che un singolo evento non superi un limite. La ponderazione temporale (F, S o I) deve essere specificata.

L_{AFMin} , L_{ASMin} o L_{AIMin} : livello sonoro minimo ponderato A misurato con ponderazione temporale Fast (F), Slow (S) o Impulse (I). Sono i livelli sonori più bassi rilevati durante il periodo di misura.



Livello percentile $L_{AFN,T}$: livello sonoro ponderato A superato per N% del periodo di misura. In alcuni paesi il parametro $L_{AF90,T}$ (livello sonoro superato per il 90% del tempo di misura) o il livello $L_{AF95,T}$ sono usati come misura del rumore di fondo. Notare che la ponderazione temporale (di norma Fast) deve essere specificata.





Rating Level $L_{Ar,Tr}$: livello sonoro continuo equivalente ponderato A ($L_{Aeq,T}$) durante un periodo di tempo specificato con correzioni specificate per il rumore tonale, impulsivo o intermittente. In genere il Rating Level è dato da:

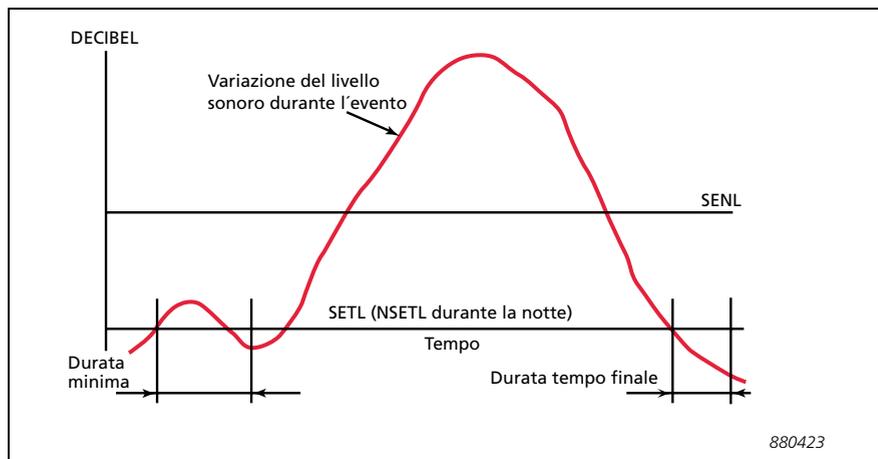
$$L_{Ar,Tr} = L_{Aeq,T} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

In alcuni paesi, viene fatta una valutazione soggettiva delle caratteristiche del rumore in questione, in altri occorre una prova oggettiva occorre per vedere se il rumore è tonale o impulsivo.

Per esempio (1) una banda di frequenza in 1/3 d'ottava di un rumore che supera i livelli nelle bande adiacenti di 5 dB o più per il rilevamento di rumore tonale e, (2) una misura della differenza tra un parametro " L_{eq} " ponderato A e Impulse ($L_{A_{Im,T}}$) e $L_{Aeq,T}$ rivelerà la presenza di impulsi.

Parametri acustici di velivoli: se il rumore di velivoli è valutato come una normale sorgente di rumore (come è normalmente il caso), i parametri acustici ambientali richiesti sono L_{ASMax} e L_{AE} (equivalente a L_{AX} in alcune normative meno recenti) per singoli eventi e $L_{Aeq,T}$ per eventi di rumore in successione.

In alcuni casi (come per la certificazione dei velivoli) vengono effettuate più analisi dettagliate del contenuto spettrale in 1/3 d'ottava ad intervalli di 0.5 secondi. Il livello sonoro percepito (L_{PN}) viene quindi calcolato convertendo i livelli di pressione sonora in valori di rumorosità percepita in accordo alle normative ICAO Annex 16s.



Se lo spettro sonoro dell'aereo contiene dei toni, viene aggiunta un'ulteriore correzione fino a 6.7 dB al livello sonoro percepito (L_{PN}) per dare un livello sonoro percepito corretto dal tono chiamato L_{TPN} . L'effetto soggettivo totale di un

volò aereo deve tenere conto della cronologia del volo, integrando il livello sonoro percepito, corretto dal tono, per produrre il livello sonoro percepito effettivo, L_{EPN} . I dettagli completi possono essere trovati nella normativa ISO 3891.

L_{DN} : livello sonoro medio giorno-notte. Un L_{Aeq} con una penalizzazione di 10 dB(A) per il rumore ambientale rilevato tra le 22:00 e le 07:00, per considerare l'incremento del disturbo durante la notte.

Spettro di frequenza: nelle indagini di inquinamento acustico, spesso si riscontra che gli indici singoli, come L_{Aeq} , non rappresentano pienamente le caratteristiche del rumore. Se la sorgente genera rumore con frequenze distinte (rumore tonale), è necessario quindi misurare il contenuto della frequenza in ottava, in 1/3 d'ottava o in bande più strette (Fast Fourier Transform).

Per calcolare i livelli sonori (determinazione dei dati futuri), gli spettri in ottava sono spesso utilizzati per considerare le caratteristiche di frequenza della sorgente e la propagazione.

Potenza sonora: è la potenza acustica (W) irradiata da una sorgente sonora. Questa potenza è indipendente dalle condizioni ambientali, al contrario della pressione sonora che dipende dalle superfici riflettenti e dalla distanza del ricevente.

Se la potenza sonora è conosciuta, la pressione sonora in un punto può essere calcolata, mentre il contrario è vero solo in casi speciali (per esempio in camera anecoica o riverberante). La potenza sonora è molto utile per determinare le caratteristiche delle sorgenti e per calcolare la pressione sonora.

Come la pressione sonora, la potenza sonora viene misurata in unità logaritmiche, il livello di potenza sonora di 0 dB corrisponde a 1 pW (picowatt = 10^{-12} W). Il simbolo usato per il livello di potenza sonora è L_W e viene spesso specificato in dB(A), 1/1 d'ottava o 1/3 d'ottava.



000/16

Informazioni riguardo Brüel & Kjær

Brüel & Kjær fu fondata da due ingegneri danesi, Per V. Brüel e Viggo Kjær, nel 1942. Per più di 50 anni le tecniche di misura del suono e delle vibrazioni sono state l'anima della nostra attività. Brüel & Kjær rappresenta il fornitore leader nel mondo di microfoni, accelerometri, sistemi analizzatori, fonometri e sistemi di calibrazione. I fonometri portatili sono divenuti commercialmente disponibili fin dal 1961 e da allora, Brüel & Kjær è stata leader del mercato nella ricerca delle soluzioni più all'avanguardia, aiutando così gli esperti di acustica nel campo del rumore ambientale e del rumore occupazionale.



000105

Per saperne di più...

Brüel & Kjær offre corsi e addestramenti riguardanti le misure di rumore ambientale nella maggior parte dei paesi del mondo. Le classi vengono tenute da specialisti locali o inviati dalla casa madre.

Calibrazione ed assistenza

I centri di assistenza Brüel & Kjær si trovano in tutte le regioni e sono pronti ad offrire assistenza per la calibrazione e la riparazione ed effettuano anche estensioni del contratto di garanzia fino a 6 anni.

Come contattarci...

Brüel & Kjær è rappresentata in più di 90 nazioni in tutto il mondo. Per ulteriori informazioni, Vi preghiamo di contattare il Vostro rappresentante locale.

Se nutrite qualche dubbio, Vi preghiamo di contattare la sede centrale Brüel & Kjær in Danimarca (l'indirizzo sulla copertina posteriore). Un elenco dei rappresentanti locali è disponibile nella nostra pagina web: **www.bksv.com**

