

ERRORI NELLA MISURA DEL RUMORE AMBIENTALE

G.Amadasi

Sommario

La presentazione prende in considerazione alcuni aspetti poco conosciuti delle misure che, assieme ad altri più noti, devono essere attentamente considerati per eseguire una buona misura di rumore o di vibrazione. Tra gli aspetti trattati vi sono gli errori dello strumento e quelli di utilizzo corretto dello stesso quali il problema della media RMS e del prodotto BT, vengono inoltre discusse le scelte dell'operatore in merito alla raccolta dei dati ed al trattamento degli stessi, per arrivare infine ad indicazioni di base per la stima degli errori.

Introduzione

E' noto come i vari parametri per la misura e la valutazione del rumore ambientale sono normalmente calcolati a partire da una misura di base della pressione sonora istantanea il cui valore in Pascal è convertito in un livello L_p (dB).

Anche il processo di misura della pressione è conosciuto dalla maggior parte degli utilizzatori di fonometri ed è oggi descrivibile, molto semplicemente, considerando il trasduttore (microfono) che converte le variazioni di pressione in un segnale elettrico, un preamplificatore microfónico che adatta l'impedenza ad uno stadio di amplificazione di tensione, un convertitore analogico/digitale (A/D) a 16 o 24 bits, un insieme di altri circuiti elettronici come filtri, memorie, interfacce, ecc. e da un processore di segnali DSP (Digital Signal Processor) sul quale è caricato un "firmware", cioè un software che provvede a fare i calcoli e fornire i "numeri" all'utente.

I parametri normalmente richiesti che il DSP provvede a calcolare sono i valori L_p con filtri di ponderazione A, C, Z, "mediati" con costanti di tempo S, F, I, Peak oppure come valori L_{eq} di media lineare su un intervallo di tempo "finito" da pochi ms a ore, giorni, anni. I valori sono ottenibili come valori globali o per bande in 1/n d'ottava, oppure come valori di analisi di Fourier FFT.

Il Fonometro o l'Analizzatore di spettro appaiono dunque all'utilizzatore come delle scatole "nere" (black box) e ciò che vede sono i valori sul display o i dati acquisiti sul proprio PC attraverso le interfacce dello strumento. Ed è forse "solo" quando l'utilizzatore vede i dati sul proprio PC che può cominciare a valutarli efficacemente e ad interpretarli secondo gli scopi del lavoro che deve svolgere: valutare la situazione di rumore ambientale ed esprimere un giudizio.

Tutto il discorso appena fatto è comunque applicabile anche alle misure delle vibrazioni meccaniche, basta di fatto sostituire il microfono con un trasduttore accelerometrico ed istruire il DSP (cambio del firmware) sulle caratteristiche dei parametri per le vibrazioni: ponderazioni W, VT, ecc

La domanda che il tecnico competente normalmente deve porsi è relativa alla precisione delle misure che sta conducendo e definire l'errore, o intervallo di incertezza, dei dati da riportare sulla relazione.

In modo estremamente semplificato si possono dividere gli errori in due classi: errori dello strumento o del cattivo uso che se ne potrebbe fare, ed errori dovuti alla modalità con cui si misura e analizza il fenomeno acustico.

Nel caso dell'errore strumentale, ad esempio, molti si limitano a considerare l'errore di misura pari alla precisione definita dalla classe di appartenenza dello strumento (Classe I tipicamente secondo gli standard EN), commettendo così un "errore" abbastanza grossolano in quanto trascurano la possibile influenza delle condizioni ambientali sul microfono e sul calibratore, se questi sono omologati come classe "L", cioè le loro caratteristiche certificate sono valide solo in condizioni di laboratorio.

Nel secondo caso invece (modalità di misura) si devono tener presente i possibili errori derivanti dalla posizione e dall'orientamento del microfono ma, in via prioritaria, gli aspetti legati alla ripetibilità del fenomeno che causa la situazione di rumore, il tempo di osservazione (tempo di misura o di riferimento), e altro ancora.

In altre parole, non basta utilizzare uno strumento omologato e certificato, secondo quanto prescritto dalle normative e con tutti gli accorgimenti della propria esperienza. Si deve sempre indicare il dato misurato accompagnato da una stima dall'incertezza della misura effettuata.

Per svolgere quindi questo compito di stima dell'errore è necessario conoscere con maggior dettaglio le caratteristiche del proprio strumento, degli accessori ad esso associati, dell'eventuale software di trattamento dei dati, nonché valutare la ripetibilità dell'osservazione del fenomeno e dunque dei valori misurati.

Di fatto è lo stesso fenomeno acustico che spesso non vuole farsi misurare correttamente!

Origine degli errori di misura

Sarebbe abbastanza lungo dettagliare tutte le possibili cause di errore di misura e ci limiteremo a quelle che dipendono dalla conoscenza del proprio strumento e dal corretto uso che se ne fa. Partiamo dunque dal presupposto di utilizzare uno strumento in classe di precisione I (EN 61672, EN 60651, EN 60804, EN 60942) dotato di un idoneo manuale di istruzione che contenga le caratteristiche tecniche dichiarate dal costruttore e le condizioni di utilizzo, di un certificato di omologazione rilasciato da enti come LNE o PTB, da un certificato di verifica periodica SIT in corso di validità, e di seguire le direttive del D.L.vo 16.3.98.

Dalle caratteristiche dichiarate dal costruttore e dal certificato originario di omologazione annotiamo le condizioni di utilizzo dello strumento e del calibratore, come dall'esempio riportato nella tabella. Si assume dunque che l'errore dello strumento deve essere considerato inferiore o uguale a ± 0.7 dB, consideriamo inoltre che l'errore causato dal calibratore di cui è dotato sia "compreso" nell'errore di ± 0.7 dB.

Dovremo a questo punto assicurarci che sia lo strumento sia il calibratore siano utilizzabili nelle condizioni ambientali presenti nel luogo in cui la misura deve essere

Precisione a seguito di Omologazione LNE o PTB classe I e certificato SIT	± 0.7 dB
Range di linearità (effettivo intervallo dinamico di precisione)	18 – 135 dB
Massimo livello misurabile	140 dB
Risposta in frequenza in bande da 1/3 d'ottava	12.5 Hz - 20 kHz
Ponderazioni in frequenza	A, B, C, Z
Costanti di tempo normalizzate	F, S, I, Peak e Leq
Intervallo di campionamento minimo	20 ms

fatta, in particolare ci si dovrà preoccupare dell'orientamento del microfono, della temperatura, dell'umidità e della presenza di vento.

Il microfono

Le caratteristiche e l'orientazione del microfono per le misure del rumore ambientale non sono trascurabili per la precisione (ripetibilità) delle misure stesse. Le differenze di risposta dei microfoni a campo libero e ad incidenza casuale si manifestano tipicamente alle alte frequenze (> 2 kHz) in funzione dell'orientamento del microfono. Un microfono a campo libero ha una risposta in frequenza definita per incidenza perpendicolare alla membrana, uno ad incidenza casuale è definito per un'incidenza radiale.

Quindi, utilizzando un microfono a campo libero "non orientato" verso la direzione di provenienza del fenomeno acustico che si vuole misurare, si commette un errore di ampiezza la cui entità è funzione del contenuto in frequenza della sorgente stessa. Fino ad una frequenza compresa tra 2 e 5 kHz (il valore esatto dipende da ogni diverso tipo di microfono) non ci sono praticamente differenze

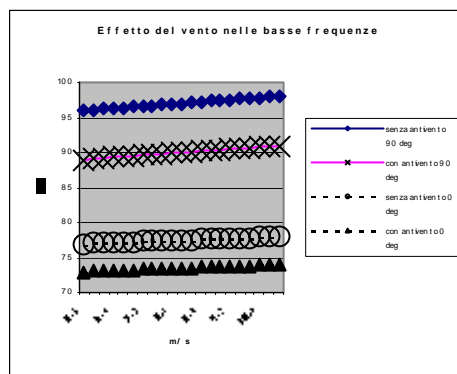
Presenza di vento

Un flusso d'aria genera turbolenza attorno al microfono e genera rumore che si somma a quella del fenomeno acustico in osservazione. L'errore si manifesta nelle basse frequenze, quindi il valore in dBA è meno influenzato, tuttavia l'entità di questo disturbo può essere particolarmente elevata.

Gli schermi controvento riducono questo problema fino ad una velocità massima di circa 10 m/s oltre la quale ogni tipo di misura è assolutamente da evitare.

L'entità dell'errore in dB che si può commettere senza l'utilizzo di un opportuno schermo antivento, varia in funzione della frequenza e della velocità del flusso d'aria, ed è anche dipendente dall'orientazione del microfono rispetto al flusso d'aria: a 90° o a 0° rispetto al piano della membrana.

Le differenze per una situazione tipica sono riportate nel grafico.



Le condizioni climatiche

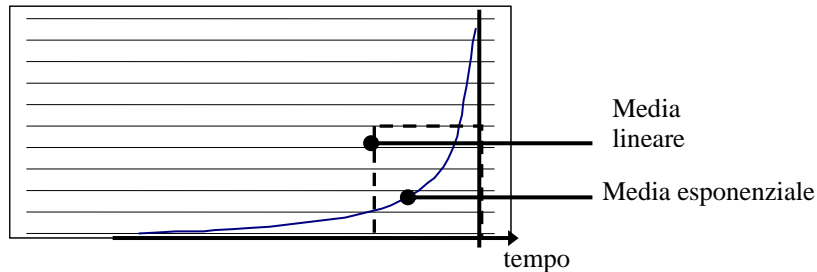
L'influenza delle condizioni climatiche riguarda essenzialmente la pressione e la temperatura, escludendo di principio la presenza di precipitazioni atmosferiche, che di fatto rendono impossibile qualsiasi misurazione corretta (cioè ripetibile). Le variazioni di pressione atmosferica influiscono sui valori di riferimento dei calibratori acustici, le variazioni di temperatura influenzano sia i calibratori sia gli strumenti di misura, in particolare il microfono.

Le normative internazionali di omologazione degli strumenti per le misure acustiche, prevedono di effettuare tutte le prove di verifica di precisione anche in funzione delle condizioni ambientali: temperatura, pressione, umidità, vibrazioni, campi elettromagnetici, ecc.

Esiste la possibilità per fonometri e calibratori di essere verificati per l'appartenenza alla classe di precisione specifica (classe 1) in condizioni (L) di laboratorio "esclusivamente" (20 gradi C) ed in questo caso essi potranno essere utilizzati "esclusivamente" in tali condizioni.

Misure RMS (F, S, I)

Il valore rms può essere ottenuto sia con una media esponenziale, con una specifica base tempi standardizzata F, S, I, oppure con una più intuitiva media lineare meglio nota come Leq. La differenza tra i 2 metodi è concettualmente spiegata dalla figura di seguito riportata.



L'espressione (algoritmo) per una media esponenziale è la seguente:

$$A_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

con:

$$T_a = 2RC$$

T è il tempo di integrazione dello strumento. La misura RMS sarà corrispondente al vero valore RMS solo se il tempo di misura T è infinito, quindi nella pratica avremo sempre un certo errore di "stima" del valore RMS che potrà essere ridotto impostando un tempo molto lungo.

Per fare una media esponenziale si rende necessario tenere in conto le oscillazioni del segnale e "attendere" che il circuito (il suo tempo di risposta) le smussi ad un valore costante, il tempo è definibile in funzione della costante di tempo del circuito di integrazione (RC).

La misura RMS non è applicabile a fenomeni transitori (impulsi).

Analisi in frequenza

Dovendo determinare la presenza di componenti tonali attraverso l'utilizzo di filtri in bande da 1/n d'ottava avremo una seconda sorgente di errore dovuta alla larghezza di banda dei filtri.

Questo errore, in sintesi, deriva dal fatto che quando un segnale viene applicato ad un circuito "filtro", si deve attendere un certo tempo prima che questi risponda (ritardo del sistema) e il tempo T necessario per avere un corretto valore di ampiezza dipende dall'inverso della larghezza di banda B ($T=1/B$).

L'errore può essere stimato tramite la seguente relazione che è valida in prima approssimazione per i filtri normalmente utilizzati nella misura di segnali acustici:

$$\varepsilon = \frac{1}{2\sqrt{BT}}$$

essa può essere espressa in dB come:

$$\varepsilon = \frac{4.34}{\sqrt{BT}} \text{ dB}$$

Questo errore è definibile attraverso la relazione che lega larghezza di banda B e il tempo di integrazione T, fornendo la deviazione standard della misura RMS, esprimibile anche in dB.

Per minimizzare questo errore è necessario allungare il tempo di integrazione (tempo di media) man mano che i filtri restringono la banda, dunque man mano che si misura verso le basse frequenze.

Questo principio si applica indifferentemente a filtri di tipo analogico e sequenziali, sia ai moderni analizzatori di spettro in tempo reale, si tratta in effetti di un problema legato all'analisi dei segnali in senso generale.

Impostazione dello strumento: cosa misurare

Le misure principali

- La prassi di *buona-tecnica* vuole che il livello mediato linearmente (Leq) sia "buono" quando diventa stabile: *sicuramente facile, ma il dato quanto è ripetibile?*
- La presenza di caratteristiche impulsive deve essere fatta come differenza tra Lp,I ed Lp,S: *alle volte complesso da valutare in quanto si deve tener conto della durata del fenomeno che presenta una differenza > 6dB*
- La presenza di componenti tonali deve essere fatta sui 1/3 d'ottava: *relativamente facile ma non sempre, si deve alle volte ricorrere all'analisi in frequenza con maggiore risoluzione.*

La storia temporale del livello sonoro: Leq, F, S, I

Fermo restando il fatto di dover misurare un Leq complessivo, è estremamente importante il processo di memorizzazione e rappresentazione dell'evoluzione temporale del livello di rumore sull'insieme del periodo d'analisi.

Lo scopo è quello di osservare la storia del rumore ed evitare errori di interpretazione, ma questo solleva due questioni fondamentali: la natura della registrazione e il tipo di tracciato.

Nonostante la necessità di verificare la presenza di caratteristiche impulsive tramite la valutazione di Lp,I ed Lp,S, una storia temporale di tipo RMS (F, S, I) è in ogni

caso dipendente dall'intervallo temporale (base tempi) e i dati NON possono essere ricomposti a piacimento per ottenere degli Leq parziali su qualsiasi base tempi.

Una registrazione Short Leq rappresenta invece il miglior compromesso possibile tra una storia temporale tipo audio (tanti dati, tanta memoria, ecc.) che seppure contenga la "totalità" dell'informazione mal si presta a letture di dati, e un Leq complessivo che non ha nessuna informazione.

Per storia temporale Leq si può intendere un tracciato che rappresenti tanti Leq (da 1ms a minuti, ore, ...) la cui unità elementare tempo sia piccola a piacere rispetto al periodo totale su cui è misurato il Leq complessivo.

Il concetto del Leq e dello short Leq (01dB-L.N.E. 1986) è necessariamente legato all'utilizzo di un software di trattamento dei dati al fine di analizzare ogni tipo di situazione acustica quale che sia la scala temporale e la natura delle sorgenti, e fornire una descrizione precisa della situazione, basato su dati di Leq elementari.

L'errore di variabilità del fenomeno

L'errore insito nella misura del Leq è legata alla variabilità del fenomeno e può essere espresso a partire dalla deviazione standard sui singoli campioni che costituiscono la storia temporale.

Riprendiamo il concetto della somma degli short Leq per ottenere il Leq complessivo.

"I campioni potrebbero anche NON essere contigui", tutto dipende da quali sono le osservazioni che si vogliono fare".

Se Leq, T misura è dato come:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,t_i}}{10}} \right]$$

E si è in presenza di una distribuzione "quasi" normale, allora la deviazione standard può essere stimata (in dB) come:

$$S_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (L_{Aeq,t_i} - \bar{L}_{Aeq,T})^2}$$

Il Livello Leq,A e la deviazione standard della “sua” storia temporale caratterizzano la situazione acustica. S fornisce l’indicazione della fluttuazione dei livelli nell’intervallo di osservazione (misura)

Il trattamento dei dati

Possono essere individuate tre fasi distinte dell'operazione di trattamento dei dati.

Fase cieca: senza alcun intervento da parte dell'operatore

Permette di ottenere degli elementi direttamente inseribili in un rapporto ufficiale quali:

- Tracciato dell’evoluzione temporale di qualsiasi Leq con un tempo uguale e superiore a quello di misura
- Tracciato di qualsiasi distribuzione statistica
- Stampa dei dati numerici in tabella

Si può considerare che la quantità di dati sistematicamente forniti è sovrabbondante, ma si deve comunque tener conto che il metodo è di fatto un "linguaggio comune" per tutte le analisi ambientali, qualsiasi sia l'emissione delle sorgenti, utilizzabile e comparabile da parte di diversi laboratori.

Un classico esempio, descritto più avanti è relativo al fatto di dover considerare il rumore del traffico come parte del rumore di fondo, in rispetto alla sorgente di rumore incriminata: come valuto la situazione?

Forse può esistere più di una interpretazione, qualsiasi essa sia devo però documentare la misura e l’interpretazione che ne viene data.

Se anche possono esistere “diverse” interpretazioni – deve esistere una sola misura!

Fase intelligente: intervento dell'operatore

Un’opportuna analisi dei dati sulla storia temporale, in funzione di ogni situazione, potrà fornire una descrizione più precisa e completa della situazione di rumore:

- scelta dei sottoperiodi di analisi più significativi,
- adattamento della durata del Leq alla situazione considerata e quindi maggiore confidenza della misura corrispondente,
- possibilità di ottenere un'immagine numerica e grafica che contiene informazioni sufficienti per procedere alla descrizione oggettiva di qualsiasi sorgente in un ambiente qualsiasi,
- valutazione precisa dell'impatto oggettivo di una sorgente in rispetto all'ambiente.

Fase specifica: classificazione delle sorgenti

Il trattamento "informatico" dei dati permette di sviluppare dei metodi di riconoscimento automatico delle sorgenti con quantizzazione energetica delle stesse, per mettere in relazione l'impatto acustico di una sorgente in un ambiente con il concetto di scala temporale di analisi.

Caso A: una sorgente che produce un livello elevato per soli 10 min, una volta al giorno, necessiterà di una descrizione molto dettagliata su un periodo di tempo relativamente breve (per esempio 2 ore), ma in funzione delle possibili conseguenze dei risultati (normalmente di natura economica) le misure dovranno essere ripetute parecchie volte,

Caso B: altre sorgenti, quali un insediamento industriale, che emettono rumori variabili nel corso della giornata necessitano di un periodo di misura molto più lungo e meno dettagliato (per esempio 24 ore su scala di 24 ore o di una settimana).

Ciascun caso deve essere trattato individualmente se il contributo di una sorgente sulla rumorosità dell'ambiente è definito dall'incremento del Leq su di un periodo di osservazione durante il quale la sorgente è chiaramente identificabile. In senso più generale si può affermare che tale contributo è rappresentato dall'incremento generalizzato del Leq su di un certo periodo T di osservazione determinabile in funzione delle caratteristiche della sorgente.

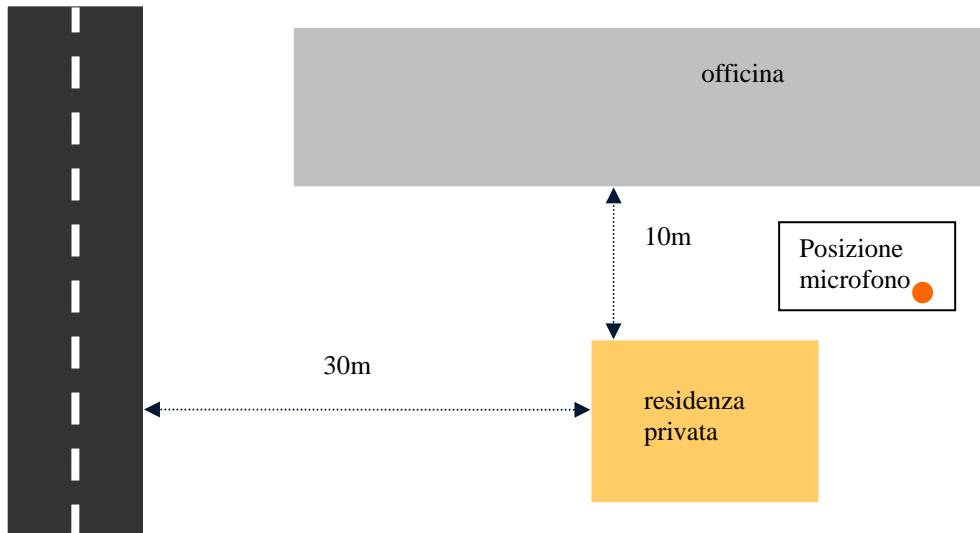
Negli insediamenti industriali si trovano spesso rumori non stabili e definibili sulle 24 ore, pertanto la valutazione del contributo di una sorgente dipende quasi sempre dalla scelta del periodo di osservazione (di riferimento) T.

In nessun caso una descrizione deve essere considerata migliore di un'altra, ma l'adattamento della scala temporale è funzione della descrizione che si vuole ottenere del problema, al fine di comparare tra loro diverse situazioni differenti, si potrebbero adottare 4 scale temporali:

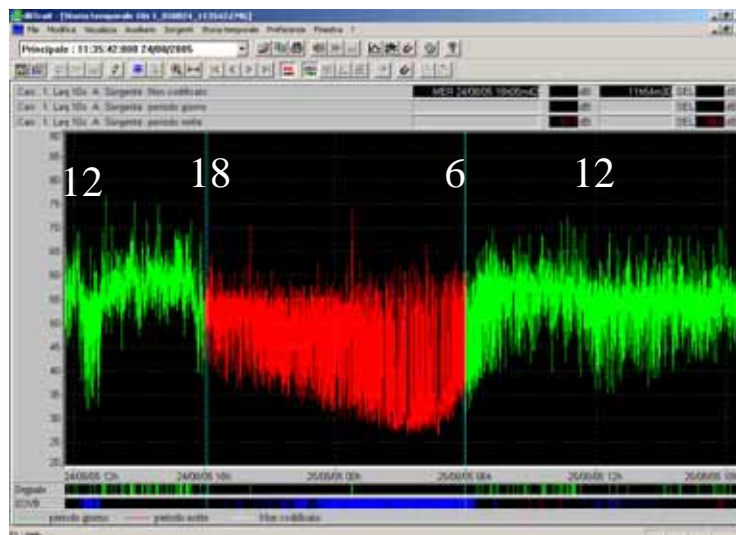
scala temporale	Tempo di riferim.	Tempo di misura	durata Short-Leq
piccolo periodo	da 1 a 2 ore	da 5 a 10 min	da <1 a 10 sec
medio periodo	da 8 a 24 ore	da 1 a 2 ore	da 10 sec a 1 min
lungo periodo	da 2 a 7 giorni	da 8 a 24 ore	da 1 a 10 min
molto lungo	da 1 a 12 mesi	da 2 a 7 giorni	da 10 min a 2 ore

Esempio

Una situazione che prevedeva la valutazione del rumore emesso da un insediamento industriale (officina meccanica) confinante con un'abitazione e con una strada regionale con notevole intensità di traffico veicolare



Le misurazioni del livello sonoro sono state scelte in funzione del periodo di lavoro (giorno) e della presenza di caratteristiche impulsive. Nella figura qui sotto è rappresentata la storia temporale di 30 ore del Leq dalle 12 alle 18 del giorno successivo, la fascia centrale (18-6) è quella in cui l'attività era sospesa; si nota anche la sospensione per il pranzo dalle 12 alle 13 di ogni giorno.



Scelta delle misurazioni:

<i>scala temporale</i>	<i>Tempo di riferim.</i>	<i>Tempo di misura</i>	<i>durata Short-Leq</i>
<i>medio periodo</i>	30 ore	4 ore (lavoro)	20ms (impulsività)
<i>Pom.13-18</i>	<i>Notte 18-06</i>	<i>T rif. = 30 ore</i>	
<i>Leq,A=60.3 dB</i>	<i>Leq,A=51.7</i>	<i>T osserv. (Sorgente) = 13-18 e 6-12</i>	
<i>Mat..06-12</i>	<i>Pom 13-18</i>	<i>T osserv. (No Sorgente = 18-20; 2 ore; Leq,A=53.3</i>	
<i>Leq,A=57.9 dB</i>	<i>Leq,A=56.3</i>	<i>T osserv. (No sorgente) = 20-22; 2 ore; Leq,A=52.9</i>	

Analisi del Leq sui periodi considerati

3 periodi di osservazione della sorgente e 2 periodi senza sorgente (ore)

Leq,A sorgente =58.3 media; dev.std=2dB

Leq,A riferimento =53.1 media; dev.std=0.3dB

Analisi sui periodi con dati ogni minuto 13-18 / 18-20

Leq,A sorgente Leq,A=58.9 (media); dev.std=3.7dB

Leq,A riferimento Leq,A=52.8 (media); dev.std=2.1dB

Si potrà osservare che il valore di sorgente del Leq,A - medio - potrebbe essere trovato come 58.3 dB nel caso in cui si considerassero 3 letture su 3 periodi di circa 5 ore ciascuno, I cui singoli valori risultano di 60.3dB, 56.3dB, 57.9dB e con una deviazione standard S=2dB.

Considerando le storie temporali e gli Leq,A su base di 60" si troverebbe invece un Leq medio di 58.9dB e una deviazione standard S=3.7 dB

Per il tempo di riferimento si troverebbero invece rispettivamente per i due casi sopra citati: 53.1dB medi con S=0.3dB e 52.8dB con S=2.1dB

Si potrà a questo punto discutere su quale debba essere il valore di Leq,A da considerare, ma nel contesto presente si vuole passare invece alla determinazione dell'errore insito nella misura.

L'errore della misura

Come precedentemente detto si devono considerare l'errore dello strumento e del suo modo di utilizzo e quello legato alla variabilità del fenomeno.

Se si considera un Fonometro con risoluzione display = 0.1 dB in classe 1 IEC (+/- 0.7dB di errore) con il quale rileviamo un valore di 80 dB e viene garantito il suo utilizzo con tutte le condizioni di buona tecnica, dovremo comunque considerare

l'errore dello strumento, e dunque dovremmo annotare una lettura come X dB (+/- 0.7 dB).

Nel caso delle 3 misure (3 periodi di osservazione) dell'esempio, si avevano le letture di: 60.3dB, 56.3dB, 57.9dB, che davano una media di 58.3 dB e una dev.std S= +/- 2dB

Dividiamo la dev.std per la radice quadrata del numero di campioni e otteniamo la dev.std della media = 1.2 dB

L'errore si trova dalla media geometrica di +/- 0.7 dB e +/- 1.2 dB = 1.39 dB, quindi la nostra misura dovrà essere riportata come Leq,A = 58.3dB; +/- 1.4dB.

$$\varepsilon = \sqrt{(0.7)^2 + (1.2)^2} = 1.39dB$$

L'accettabilità o meno del dato e del suo errore dipendono dalla situazione in cui ci si viene a trovare; nel caso in questione si aveva un limite di immissione a 55dBA che era comunque superato, ma in altre circostanze ci si potrebbe invece trovare in una situazione per cui l'entità dell'errore determina il superamento o meno dei limiti.

In questi casi diventa necessario effettuare un numero maggiore di misure in modo da ridurre la deviazione standard.

Cenni di teoria degli errori

Dalla teoria degli errori si ritrovano le due categorie di errori: sistematici e casuali.

Gli errori sistematici possono derivare da:

Errori di calibrazione dello strumento, un errore di calibrazione provocherà uno scostamento fisso di tutte le letture. Uno strumento di misura con scala 0-100 che ha però un intervallo effettivo di misura 0-99, provocherà un errore sistematico di lettura pari a + 100/99.

Errori sperimentali. Quando le condizioni di misura non sono quelle definite dalla teoria della misura stessa o le condizioni di impiego della strumentazione non sono quelle definite dal costruttore.

Gli errori casuali derivano invece dai limiti di precisione degli strumenti o da metodi di misura imperfetti, oppure dalle caratteristiche di casualità insite nel fenomeno che si sta osservando. Errori casuali dovuti a fluttuazioni di misura obbediscono spesso ad una distribuzione di tipo Gaussiano, ed è in questo caso che prendono il nome di errori statistici e possono essere ridotti ripetendo più volte le misurazioni.

L'analisi dei dati prevede la determinazione del valore medio misurato e della deviazione standard.

Il valore medio è definito come:

$$\bar{x} \equiv \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \equiv (\bar{x})$$

la sua varianza risulta:

$$\text{var}(x) \equiv \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

la deviazione standard di un campione misurato è definita come:

$$\sigma = \sqrt{\text{var}(x)} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

La deviazione standard rappresenta la distribuzione dei valori rilevati in un gruppo di misurazioni, dunque una buona stima dell'errore statistico insito nella misura stessa. Il vero significato della deviazione standard è la probabilità $p(t)$ di trovare un singolo campione in un intervallo tra $\pm t$ volte la deviazione standard con la probabilità del 68%, 95% o 98% per $t = 1, 2$ o 3 rispettivamente.

Quindi per la stima del valore misurato x , dati il numero dei campioni N (tipicamente > 20) ed il valore medio di x , con una stima del 95%, si scrive:

$$\mu = \bar{x} \pm \frac{2\sigma}{\sqrt{N}}$$

Conclusioni

Nel contesto di questa memoria si è cercato di presentare in modo semplificato i vari errori che devono normalmente essere considerati durante una misurazione di rumore e che sono comunque presenti anche per una misura di vibrazioni, e alcuni suggerimenti per la loro stima e considerazione nell'ambito dell'incarico che si sta svolgendo.

Dal contesto emerge la necessità di riportare insieme ai valori misurati anche l'errore ad essi associato, un errore che deve essere calcolato applicando una semplice teoria degli errori e considerando sia la parte strumentale e l'utilizzo corretto degli strumenti, sia l'incertezza legata alla variabilità dei fenomeni che si devono osservare.

Una considerazione di base che potrebbe essere fatta è relativa alla conoscenza del proprio strumento e delle modalità d'uso che il tecnico competente deve avere. E' però altrettanto importante sottolineare che la grande diffusione dei software di trattamento dati impone l'estensione di questa "conoscenza" del tecnico anche alle funzioni da questi svolte.

In conclusione si vuole ricordare che non è lo strumento (o il software) che fa la misura ma è sempre il tecnico.