Indagine sperimentale sul rumore intrinseco della strumentazione nelle misurazioni fonometriche e la misurazione a livelli sonori molto bassi

Andrea Cerniglia[a]* | Giovanni Brambilla[b]

[a] ACCON Italia Srl,
Via Trento, 11A, 27010 San Genesio ed Uniti
[b] CNR-STEM,
Via Canal Bianco, 28, 44124 Ferrara
* Autore di riferimento:
andrea.cerniglia@accon.it

Ricevuto: 23/7/2024
Accettato: 3/10/2024

DOI: 10.3280/ria2-2024oa18214
ISSNe: 2385-2615

Vengono descritti i risultati di una indagine sperimentale volta a determinare il rumore auto-generato dalla strumentazione utilizzata nelle misurazioni fonometriche che, nei rilevamenti a bassi livelli sonori, è spesso comparabile con quello da rilevare inficiando, così, il dato acquisito.
In particolare sono stati eseguiti tre set di misurazioni, il primo riguardante 10 diversi tipi di microfoni a condensatore e gli altri due svolti all'interno di una camera anecoica. Questi due set hanno riguardato sei fonometri di marche e modelli diversi e l'applicazione della tecnica metrologica "Coherent Output Power, COP" che consente di rilevare livelli sonori molto bassi, ben al di sotto di quelli normalmente rilevabili con i fonometri tradizionali.
Parole chiave: rumore elettrico, microfoni, fonometri, Coherent Output Power

Experimental survey on the instrumental noise in acoustic measurements and those at very low sound levels
The paper describes the results of an experimental survey aimed at determining the self-generated noise from the instrumentation used for acoustic measurements which, in case of measurements at low sound levels, is often comparable with the one to be detected and, therefore, invalidating the acquired data. Ten different condenser microphones and six sound level meters were tested, the latter in an anechoic chamber. In this chamber the "Coherent Output Power, COP" technique was also applied, as it allows to measure very low noise levels, well below those usually measured by sound level meters.
Keywords: electric noise, microphones, sound level meters, Coherent Output Power

1 | Introduzione

Le attuali prestazioni offerte dalla strumentazione impiegata nelle misurazioni acustiche inducono a ritenere che essa sia idonea in tutte le circostanze, previa qualche preliminare impostazione. Purtroppo la realtà è spesso più complessa e richiede cautela nell'eseguire misurazioni che siano effettivamente rappresentative del fenomeno in osservazione. Un esempio emblematico al riguardo è rappresentato da un livello sonoro da rilevare comparabile con il rumore auto-generato dalla strumentazione impiegata. In tale circostanza, il valore misurato è alterato dal rumore intrinseco della strumentazione e, pertanto, non è rappresentativo dell'effettivo fenomeno da misurare. La soluzione più immediata, ma non sempre risolutiva e a costo più elevato, è l'impiego di sistemi microfono/preamplificatore a basso rumore intrinseco.

Ne consegue la necessità di conoscere l'entità del rumore intrinseco della strumentazione impiegata, non solo come valore globale in dB e dB(A) ma anche, e soprattutto, in funzione delle bande di frequenza, al fine di valutare l'attendibilità della misurazione.

Il rumore auto-generato della strumentazione, detto anche noise floor (nf), è dovuto alle caratteristiche intrinseche dei vari componenti della catena di misura quali microfono, preamplificatore e altri elementi circuitali [1,2]. I dati sul rumore intrinseco della strumentazione sono, solitamente, forniti dai produttori e a questa documentazione tecnica è preferibile fare riferimento. Laddove non disponibile, o in presenza di sistemi strumentali con componenti tra loro compatibili ma di produttori differenti, si pone la necessità di determinare il noise floor del sistema che si intende utilizzare. In letteratura sono reperibili vari riferimenti su metodologie atte a tale scopo [3-5].

In linea generale, è opportuno che in ciascuna banda di frequenza f il livello sonoro misurato L_f sia di almeno 10 dB superiore a quello auto-generato dalla strumentazione L_{fn}, ossia:

$$L_f \geq L_{fn} + 10\ dB \quad [\text{dB}] \tag{1}$$

affinché il livello L_f possa ritenersi verosimilmente rappresentativo del fenomeno in esame, essendo non inficiato dal rumore auto-generato dalla strumentazione L_{fn}. Diversamente occorre apportare una correzione al livello L_f, calcolabile con la relazione:

$$L_{fc} = 10lg\left[10^{(L_f/10)} - 10^{(L_{fn}/10)}\right] \quad [\text{dB}] \tag{2}$$

che fornisce valori attendibili per differenze $L_f - L_{fn} \geq 3$ dB. Per differenze inferiori a 3 dB il valore di L_f non è attendibile.

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

Nell'ambito dell'argomento metrologico sopra esposto, che presenta rilevanti ripercussioni sulla qualità delle misure, si inserisce questo lavoro che descrive un'indagine sperimentale con il seguente duplice obiettivo:

1. determinare il rumore auto-generato da alcune strumentazioni utilizzate nelle misure acustiche;
2. applicare tecniche metrologiche alternative per la misura di livelli sonori molto bassi, inferiori al rumore strumentale.

A tale scopo l'indagine è stata articolata in tre fasi successive comprendenti:

a) dieci differenti sistemi microfono a condensatore/preamplificatore;
b) sei differenti fonometri;
c) applicazione della "Coherent Output Power COP".

Le due fasi b) e c) sono state condotte in una camera anecoica. I risultati ottenuti, pur se su una dimensione campionaria necessariamente ridotta, possono orientare nella verifica di conformità al requisito esplicitato nella Eq. (1) in assenza di riferimenti più specifici.

2 | Il rumore elettrico

Nel dizionario IEEE [6] il rumore (noise) è definito: "disturbo indesiderato sovrapposto a un segnale di interesse, che tende a oscurarne il contenuto informativo". Nella quasi totalità dei casi di interesse pratico il rumore si combina linearmente con il segnale di interesse (rumore additivo), e quindi vale il principio di sovrapposizione degli effetti.

Fra i segnali indesiderati che possono sovrapporsi ai segnali di interesse rientrano le fluttuazioni spontanee, fra cui il rumore termico, dovute a proprietà fondamentali della materia, i disturbi provenienti dall'ambiente esterno e anche i rumori di processo, come il rumore di quantizzazione o le distorsioni, che derivano dall'elaborazione dei segnali di interesse [7].

2.1 | Il rumore termico

Il rumore termico (thermal noise) è dovuto al fenomeno dell'agitazione termica e costituisce la sorgente di rumore più comune, in quanto si manifesta in qualsiasi sistema fisico che si trovi a temperatura diversa dallo zero assoluto. Tale rumore è di origine interna e, quindi, ineliminabile. Esso si manifesta come segnale casuale, il cui andamento nel tempo non è descrivibile analiticamente ma soltanto in termini statistici e il cui spettro non è costituito da righe ma di tipo continuo, cioè si estende su regioni di frequenza più o meno ampie. La distribuzione di ampiezza del rumore termico segue la legge di Gauss con valore medio nullo e deviazione standard coincidente con il valore efficace (root mean square, rms).

In particolare il rumore termico elettrico, chiamato anche rumore Johnson [8,9], rappresenta la manifestazione a livello macroscopico del moto casuale dei portatori di carica in un conduttore elettrico. In un resistore a circuito aperto, il quadrato del valore efficace V^2_{neff} della tensione di rumore $v_n(t)$, essendo nullo il valore medio, risulta pari a:

$$V^2_{neff} = 4kTRB_n \ [V] \tag{3}$$

dove $k = 1.38\times10^{-23}$ [J/K] è la costante di Boltzmann, T [K] la temperatura assoluta a cui si trova il resistore con resistenza R [Ω] e B_n la banda di frequenza di osservazione che riveste un ruolo assai importante in quanto le distribuzioni spettrali del segnale di interesse e del rumore sono generalmente assai diverse.

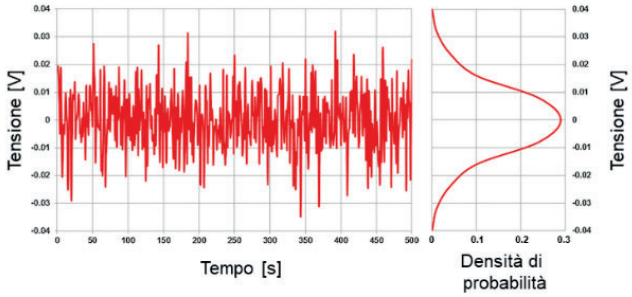


Fig. 1 – Esempio di andamento nel tempo e densità di probabilità di rumore gaussiano con valore medio nullo e varianza unitaria
Example of temporal pattern and probability density function of Gaussian noise with null average value and unitary variance

Nelle misure acustiche vengono utilizzati i filtri passa-banda ad ampiezza relativa percentuale costante, in particolare di 1/1 o 1/3 di ottava, con larghezza di banda assoluta proporzionale alla frequenza centrale f_c della banda stessa. Ne consegue che i filtri a frequenza più elevata hanno una larghezza di banda più ampia (≈ $0.70f_c$ e $0.23f_c$ per 1/1 e 1/3 di ottava rispettivamente) e, quindi, intercettano una maggiore quantità di rumore.

2.2 | Altri tipi di rumore

Tra i vari tipi di rumore il cosiddetto rumore 1/f si osserva in una ampia pluralità di ambiti senza che, tuttavia, ne sia stata formulata una interpretazione fisica comune [10]. Questo rumore, chiamato anche rumore flicker (tremolio) oppure rumore di eccesso (excess noise), deve il suo nome al fatto che si manifesta con uno spettro di potenza che segue, su un'estesa gamma di frequenze, una legge del tipo:

$$S_n(f) \propto \frac{1}{f^\alpha} \tag{4}$$

ove α è un parametro generalmente compreso fra 0.8 e 1.2, e quindi si tratta di un rumore rosa.

Il rumore 1/f, praticamente onnipresente, costituisce un limite invalicabile alla sensibilità delle misure alle frequenze più basse. Il suo contributo prevale fino a una specifica frequenza, frequenza d'incrocio, oltre la quale domina invece il rumore termico. Questo andamento è chiaramente osservabile nella Fig. 2 che mostra l'andamento dei contributi dei due tipi di rumore nello spettro a 1/3 di ottava per un fonometro.

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

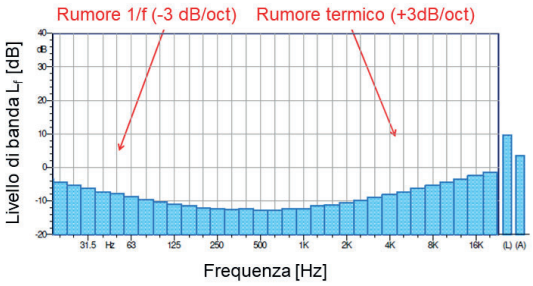


Fig. 2 – Esempio di contributi del rumore 1/f e di quello termico nello spettro a 1/3 di ottava per un fonometro

Example of contributions of 1/f and thermal noises in 1/3 octave band spectrum for a sound level meter

Un maggiore dettaglio è riportato nella Fig. 3 [11] che illustra nello spettro a 1/3 di ottava i contributi del rumore dovuto al microfono, di quello introdotto dal preamplificatore e della loro combinazione. Il rumore elettrico del preamplificatore è predominante alle basse frequenze, mentre quello del microfono è più significativo al crescere della frequenza.

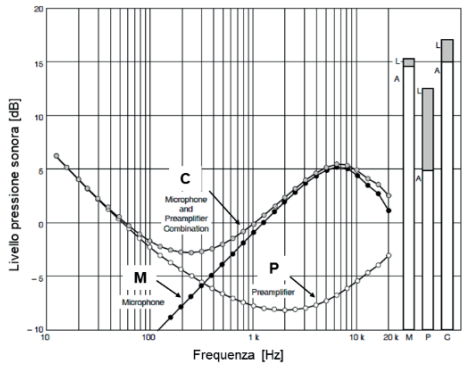


Fig. 3 – Esempio di contributi del rumore del microfono (M), del preamplificatore (P) e loro combinazione (C) nello spettro a 1/3 di ottava (modificato da [11])

Example of contributions of noises from microphone (M), preamplifier (P) and their combination (C) in 1/3 octave band spectrum (adapted from [11])

Nelle misure acustiche solitamente il microfono è del tipo a condensatore che, trattandosi in teoria di un elemento circuitale reattivo, non dovrebbe introdurre rumore. Nella pratica sono comunque presenti dissipazioni, modellabili con una resistenza in parallelo, che producono un rumore termico denominato kTC pari a:

$$\overline{v_n^2} = kT/C \quad [\text{V}] \tag{5}$$

ove C [F] è la capacità del condensatore, a sua volta direttamente proporzionale alla superficie delle sue armature. Ne deriva che, a parità di altre condizioni, microfoni da 1" hanno una maggiore capacità C rispetto a quelli da ½" e, pertanto, presentano un minore rumore termico.

Il rumore shot [12] si manifesta quando una corrente elettrica, cioè un flusso di portatori di carica, attraversa una barriera di potenziale, come avviene nei tubi a vuoto o nelle giunzioni p-n. Esso deriva dalla natura discreta della carica elettrica e dall'indipendenza statistica dei singoli eventi di attraversamento da parte di ciascuna carica elementare e per questo è chiamato anche rumore granulare.

Diversamente dai precedenti, il rumore di quantizzazione [13] rientra nella categoria dei disturbi di processo, introdotti nel normale funzionamento dei sistemi elettronici di elaborazione dei segnali. Questo rumore, di natura statistica, rappresenta l'incertezza introdotta dalla quantizzazione in ampiezza di un segnale, per esempio quando viene convertito dalla sua forma analogica a quella digitale che in tale rappresentazione utilizza, necessariamente, un numero finito di bit.

3 | L'indagine sperimentale

Come indicato nell'introduzione, l'indagine sperimentale è stata articolata in tre fasi, la prima condotta in un ambiente normale, con precauzioni per limitarne l'influenza sulle misurazioni, e le altre due svolte in una camera anecoica.

3.1 | Primo set di misure (sistema microfono/preamplificatore)

Sono stati presi in esame dieci microfoni a condensatore di differente diametro e sensibilità, elencati nella Tab. 1. Tutti i microfoni richiedevano una tensione di polarizzazione di 200 V. È stato usato lo stesso preamplificatore per tutti i microfoni, ciascuno dei quali calibrato prima della misura (Fig. 4). Si è proceduto a una duplice misurazione, ciascuna della durata di 30 s, in presenza di tensione di polarizzazione (rumore ambientale + rumore strumentale) e in sua assenza (rumore strumentale), al termine della quale veniva determinato lo spettro a bande di 1/3 di ottava dei livelli minimi da 20 a 20.000 Hz.

Tab. 1 – Microfoni a condensatore considerati

Examined condenser microphones

Microfono	*Diametro [m (inch)]*	*Sensibilità [mV/Pa]*	*Capacità [pF]*
M1	0,0254 (1")	53,0	69,2
M2	0,0254 (1")	43,1	64,5
M3	0,0254 (1")	38,0	62,2
M4	0,0127 (1/2")	11,3	17,5
M5	0,0127 (1/2")	13,7	17,8
M6	0,0127 (1/2")	38,3	12,4
M7	0,0127 (1/2")	37,0	12,7
M8	0,0127 (1/2")	27,0	12,5
M9	0,0127 (1/2")	11,3	16,8
M10	0,00635 (1/4")	1,3	6,1

Per minimizzare l'influenza di rumori e vibrazioni presenti nell'ambiente e interferenti con la misurazione, il sistema microfono/preamplificatore è stato collocato all'interno di un

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

contenitore isolante (Fig. 5) dal quale fuoriusciva il cavo di connessione con un sistema di analisi SINUS Apollo multicanale.



Fig. 4 – Sistema per la calibrazione dei microfoni
System used for microphone calibration



Fig. 5 – Configurazione sperimentale del primo set di misure
Experimental configuration of the first set of measurements

3.2 | Secondo set di misure (sei fonometri)

I rimanenti due set di misure sono stati svolti nella camera anecoica della MARCO SpA (Fig. 6) avente un volume utile di circa 68 m^3 e frequenza di taglio inferiore teorica nella banda di 1/3 di ottava a 200 Hz.

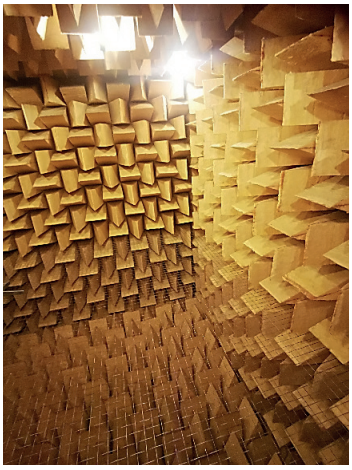


Fig. 6 – Camera anecoica della MARCO SpA (Castenedolo, BS) impiegata per le misurazioni
Anechoic room of MARCO SpA used for the measurements

Il secondo set di misure ha riguardato sei fonometri in classe I di differenti marche e modelli, tutti dotati di microfoni a condensatore da ½" di cui cinque a elettrete e uno con tensione di polarizzazione di 200 V (Tab. 2).

Tab. 2 – Fonometri con microfoni a condensatore da ½" esaminati nella camera anecoica
Sound level meters with ½" condenser microphones examined in the anechoic room

Fonometro	*F1*	*F2*	*F3*	*F4*	*F5*	*F6**
Sensibilità [mV/Pa]	42,8	24,9	46,2	41,7	47,2	43,8

* Microfono con tensione di polarizzazione di 200 V

Ciascun fonometro è stato collocato al centro nella camera anecoica e collegato all'esterno di questa a un analizzatore SINUS Apollo per determinare lo spettro per bande di 1/3 di ottava dei livelli minimi del rumore ambientale all'interno della camera. Per ciascun fonometro è stata eseguita una misurazione con durata di 60 s.

3.3 | Terzo set di misure ("Coherent Output Power, COP")

Questo set di misure, svolto sempre all'interno della camera anecoica, ha riguardato l'applicazione della tecnica metrologica della "Coherent Output Power, COP" che permette di eseguire misurazioni a livelli sonori molto bassi [3,14-17]. Questa tecnica richiede l'impiego di una coppia di microfoni dello stesso tipo, posti in configurazione faccia-faccia a breve distanza tra loro. La funzione COP applicata ai segnali provenienti dai due microfoni è ottenuta moltiplicando l'autospettro FFT del segnale B, $G_{BB}(f)$, per la funzione di coerenza $\gamma^2(f)$, tra il canale B e il canale A:

$$COP = \gamma^2(f) \cdot G_{BB}(f) \tag{6}$$

ove la funzione di coerenza, con valori compresi tra 0 (segnali del tutto non correlati) e 1 (segnali perfettamente correlati), è calcolata mediante:

$$\gamma^2(f) = \frac{|G_{AB}(f)|^2}{G_{AA}(f) \cdot G_{BB}(f)} \tag{7}$$

ove $G_{AB}(f)$ è il cross-spettro tra i segnali dei due microfoni A e B e $G_{AA}(f)$ l'autospettro FFT del segnale A.

In riferimento allo schema in Fig. 7, che illustra un sistema Single-Input/Multiple-Output (SIMO), il segnale di interesse incidente sui due microfoni I(t) è praticamente lo stesso, essendo i trasduttori A e B molto vicini tra loro. Il segnale rilevato dai due microfoni è, pertanto, correlato e a questo si sommano il rumore elettrico n_A e n_B dei due sistemi microfoni/preamplificatori e altre componenti aleatorie generando i due segnali in uscita O_A e O_B. Rumore elettrico e componenti aleatorie non sono correlate tra loro per cui, mediando nel tempo i due segnali in uscita,

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

il loro valore medio tende a zero e rimane, quindi, solo la componente deterministica del segnale in uscita, ossia il segnale incidente I(t) in quanto correlato nei due microfoni.

In assenza di segnale incidente I(t) a ogni raddoppio del tempo di media si ottiene una funzione COP con riduzione di 3 dB del contributo del rumore auto-generato n(t).

Per l'applicazione della COP nella presente indagine è stata impiegata una coppia di microfoni da ½" prepolarizzati, affacciati tra loro alla distanza di 15 mm e posti al centro della camera anecoica all'altezza rispetto al pavimento a griglia di 1,4 m (Fig. 8). I segnali dei due microfoni erano inviati ad un sistema multicanale SINUS Apollo per determinare lo spettro, per bande di 1/3 di ottava dei livelli minimi del rumore ambientale all'interno della camera. Sono state eseguite sei misurazioni, ciascuna della durata di 30 s.

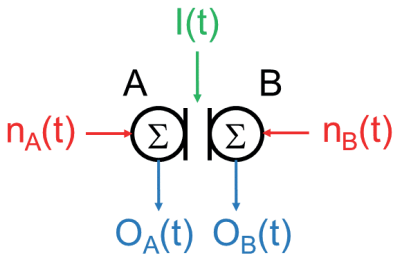


Fig. 7 – Schema di un sistema Single-Input/Multi-Output (SIMO)
Outline of a Single-Input/Multi-Output (SIMO) system



Fig. 8 – Configurazione dei due microfoni affacciati tra loro collocati al centro della camera anecoica
Setup of the two microphones positioned in the center of the anechoic room

4 | Risultati e discussione

4.1 | Sistema microfono/preamplificatore

Gli spettri medi dei livelli minimi ottenuti per le tre dimensioni dei microfoni privi della tensione di polarizzazione (rumore auto-generato) sono riportati nella Fig. 9 insieme a ± lo scarto tipo (area colorata), ad eccezione del singolo microfono da ¼".

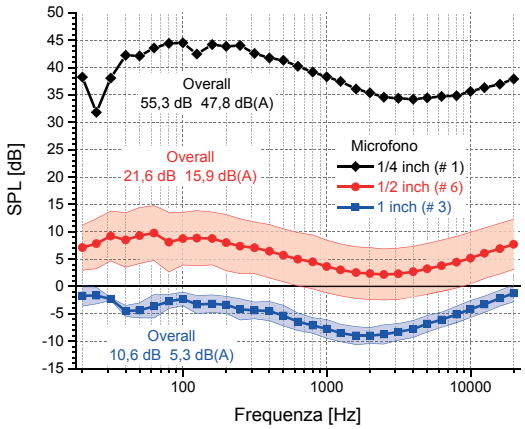


Fig. 9 – Spettri medi del rumore auto-generato per le tre dimensioni dei microfoni (area colorata pari a ± lo scarto tipo)
Average spectra of the self-generated noise for the three microphone types (colored area corresponding to ± 1 standard deviation)

Appare evidente la migliore prestazione dei microfoni da 1" e quella peggiore del microfono da 1/4" a bassa sensibilità e dedicato a misurazioni di livelli sonori elevati. Per ottenere misure non influenzate dal rumore strumentale al di sotto di 10 dB(A) è necessario usare sistemi microfono/preamplificatore ad alta capacità (grande diametro) e con sensibilità maggiore di 30 mV/Pa (Fig. 10). Le curve nere interpolano i dati sperimentali del livello di pressione sonora complessivo in dB (curva a linea intera e simboli pieni) e in dB(A) (curva a linea tratteggiata e simboli vuoti) in funzione della sensibilità dei microfoni di diverso diametro.

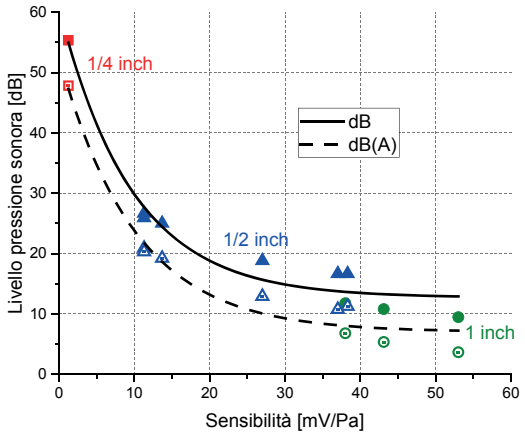


Fig. 10 – Livello di pressione sonora del rumore auto-generato in funzione della sensibilità per le tre dimensioni dei microfoni e corrispondenti curve di interpolazione
SPL of self-generated noise vs sensitivity and microphone diameter and corresponding fitting curves

4.2 | Fonometri

Relativamente alle misurazioni del rumore ambientale in camera anecoica eseguite con i sei fonometri, la Fig. 11 mostra lo spettro medio dei livelli minimi (simboli pieni) insieme a ± lo scarto tipo (area in grigio).

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

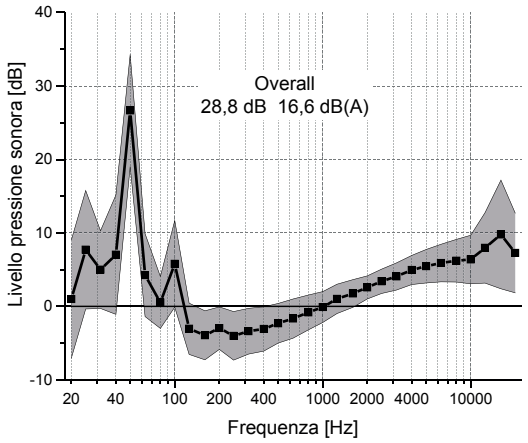


Fig. 11 – Spettro medio dei livelli minimi del rumore ambientale rilevato con i sei fonometri nella camera anecoica (area grigia pari a ± lo scarto tipo)

Average spectra of the environmental noise inside the anechoic room measured by the six sound level meters (colored area corresponding to ± 1 standard deviation)

Al di sotto della frequenza teorica di taglio della camera anecoica (200 Hz) si osservano ampie fluttuazioni dei livelli di banda. Questi livelli, inoltre, aumentano al crescere della frequenza e, in considerazione dell'ambiente di misura silenzioso, sono indicativi della presenza di rumore termico (Fig. 2, 3) imputabile alla strumentazione.

Si conferma, quindi, che la misurazione di livelli sonori molto bassi, quali quelli rilevabili in una camera anecoica, è inficiata dal rumore auto-generato dalla strumentazione e, pertanto, è necessario impiegare tecniche metrologiche alternative come la "Coherent Output Power, COP".

4.3 | Coherent Output Power, COP

Questa tecnica metrologica ha consentito di determinare il rumore all'interno della camera anecoica, eliminando il rumore strumentale e componenti aleatorie non correlate tra loro

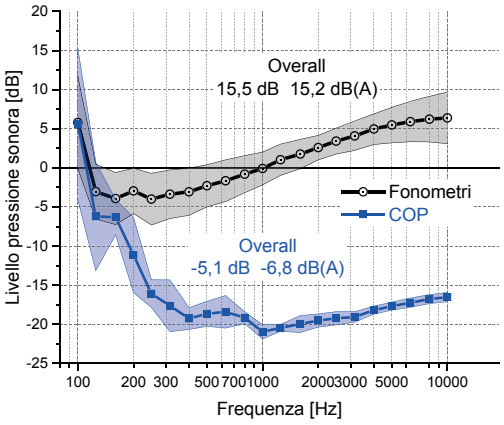


Fig. 12 – Spettro medio dei livelli minimi del rumore ambientale nella camera anecoica determinato con i fonometri e con la tecnica metrologica COP (aree colorate pari a ± lo scarto tipo)

Average spectra of the minimum SPLs of environmental noise inside the anechoic room by sound level meters and COP technique (colored areas correspond to ± 1 standard deviation)

(Eq. 6). Nella Fig. 12 sono riportati gli spettri medi dei livelli minimi del rumore presente nella camera anecoica (curva blu) comparato con quello misurato dai fonometri (curva nera) nell'intervallo di frequenza 100-10.000 Hz. Appare evidente che l'applicazione della tecnica metrologica COP, pur con un limitato tempo di misura di 30 s per i sei rilevamenti eseguiti, ha consentito di escludere il rumore strumentale che influisce considerevolmente sulla misurazione con i fonometri.

Dai dati sopra esposti, in linea generale nell'intervallo delle bande di 1/3 di ottava 200-10.000 Hz si può stimare che il livello minimo medio del rumore auto-generato osservato per i sei fonometri considerati è quello riportato in Tab. 3, ottenuto mediante la relazione:

$$L_{fn} = 10lg\left[10^{(L_f/10)} - 10^{(L_{fCOP}/10)}\right] \quad \text{[dB]} \qquad (8)$$

ove L_f e L_{fCOP} sono i valori medi dei livelli di banda rilevati rispettivamente con i sei fonometri e con la tecnica COP.

Si sottolinea che, ove disponibile, è preferibile fare riferimento alla documentazione dello specifico strumento utilizzato piuttosto che ai dati in Tab. 3.

Tab. 3 – Livello minimo medio del rumore auto-generato osservato per i sei fonometri esaminati nella camera anecoica.

Average minimum level of self-generated noise observed for the six sound level meters examined in the anechoic room

Frequenza [Hz]	*Livello minimo medio del rumore auto-generato [dB]*
200	–3,5
250	–4,2
315	–3,5
400	–3,2
500	–2,4
630	–1,7
800	–0,9
1.000	–0,1
1.250	1,0
1.600	1,7
2.000	2,6
2.500	3,4
3.150	4,1
4.000	4,9
5.000	5,5
6.300	5,9
8.000	6,2
10.000	6,4

Ne consegue che, facendo riferimento al requisito in Eq. 1 e in assenza di documentazione specifica della strumentazione impiegata, il livello sonoro minimo misurabile L_f in ciascuna banda di frequenza f deve essere superiore di almeno 10 dB ai valori riportati in Tab. 3.

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

5 | Conclusioni

L'indagine sperimentale ha evidenziato il ruolo del rumore auto-generato dalla strumentazione impiegata nelle misurazioni fonometriche, particolarmente rilevante quando comparabile con il rumore da rilevare e in grado di deteriorare la qualità della misurazione. Limitatamente alla strumentazione esaminata è stato possibile dare indicazioni generali sul rumore strumentale onde potere verificare la conformità del rumore rilevato al requisito in Eq. 1. A queste indicazioni è preferibile sostituire quelle specifiche della documentazione tecnica della strumentazione impiegata, qualora disponibile.

In merito alle tecniche metrologiche per la misurazione di livelli sonori inferiori al rumore strumentale, la tecnica metrologica "Coherent Output Power COP", utilizzante una coppia di microfoni, è stata proficuamente applicata per rilevare il rumore in una camera anecoica. Si è così evidenziato come in ambienti silenziosi il rumore strumentale, all'aumentare della frequenza, è ben superiore a quello intrinseco dell'ambiente.

Conclusions

The experimental investigation highlighted the important role played by the self-generated noise of the instrumentation used in acoustic measurements when it is comparable with the one to be detected, reducing the quality of the measurement. Limited to the examined instrumentation, it was possible to provide guidelines to check the compliance of the measured sound level with the requirement in Eq. 1. It is preferable to substitute these indications with those of the technical documentation of the used instrumentation, whenever available.

Regarding the metrological techniques for measuring sound levels below instrumental noise, the "Coherent Output Power, COP", using a face-to-face pair of microphones, has been successfully applied to detect the background sound in an anechoic chamber. It was shown that in a silent environment the instrumental noise, with increasing frequency, is much higher than the intrinsic noise of the environment itself.

6 | Ringraziamenti

Si ringrazia MARCO SpA per avere reso disponibile la camera anecoica per l'esecuzione delle misure.

Bibliografia

[1] V. Tarnow, Thermal Noise in Microphones and Preamplifiers, Brüel & Kjær Technical Review, 3 (1972) 3-14.

[2] E. Frederiksen, Microphone System for Extremely Low Sound Levels, Brüel & Kjær Technical Review, 3 (1984) 16-22.

[3] P.K. Møller, Measurement of Background Noise in Sound-Insulated Rooms, Journal of Sound and Vibration 85 (1982) 143-150.

[4] R.M. Ellingson, F.J. Gallun, G. Bock, Measurement with verification of stationary signals and noise in extremely quiet environments: Measuring below the noise floor, J. Acoust. Soc. Am. 137 (2015) 1164–1179 DOI: 10.1121/1.4908566.

[5] A. Armani, La misura di livelli sonori molto bassi 'SottoZeroDB', Spectra S.r.l. Nota tecnica 1-2016.

[6] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms, Wiley, 1997.

[7] G.V. Pallottino, Il rumore elettrico. Dalla fisica alla progettazione, Springer-Verlag Italia 2011.

[8] J.B. Johnson, Thermal Agitation of Electricity in Conductors, Physical Review 32 (1928) 97-109 DOI: 10.1103/PhysRev.32.97.

[9] H. Nyquist, Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors, Physical Review 32 (1928) 110-113 DOI: 10.1103/PhysRev.32.110.

[10] V. Radeka, 1/f Noise in Physical Measurements, IEEE Transactions on Nuclear Science 16(1969) 17-35 DOI: 10.1109/TNS.1969.4325473.

[11] Microphone Handbook, Brüel & Kjær Technical Documentation 1 (2019).

[12] W. Schottky, Über spontane Stromschwankungen in verschiedenen Elekrizitätsleitern, Annalen der Physik 57 (1918) 541-567 DOI: 10.1002/andp.19183622304.

[13] W.R. Bennett, Spectra of quantized signals, Bell Syst. Tech. J. 27 (1948), 446-472 DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01340.x.

[14] J.S. Bendat, W.G. Halvorsen, Noise source identification using coherent output power spectra, Sound and Vibration 9 (1975) 18-24.

[15] M. Nevrela, M. Weisz, J. Szweda, M. Vasina, Removing additive noise in measurements of low sound pressure levels, MM Science Journal (2020) DOI: 10.17973/MMSJ.2020_10_2020044

[16] A. Armani, F. Pompoli, Misura del rumore di fondo nella camera anecoica dell'Università di Ferrara con il metodo della Coherent Output Power(COP), 3°Seminario Acustica e Industria "Tecniche innovative per il controllo del rumore e delle vibrazioni dei prodotti industriali", Ferrara, 15 febbraio 2018.

[17] O.-H. Bjor, Measurement of Extremely Low Sound Pressure Levels, Proc. InterNoise 1997, Budapest, Hungary, 1555-1558.

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.

Copyright © FrancoAngeli.
This work is released under Creative Commons Attribution - Non-Commercial – No Derivatives License.
For terms and conditions of usage please see:
http://creativecommons.org.