

Nuove tendenze nell'acquisizione dei dati acustici: strumentazione, software, normativa

Convegno
Nazionale

RUMORE E
VIBRAZIONI
valutazione
prevenzione
bonifica

Bologna
20-21 novembre 1990

Modena
22-24 novembre 1990

A. FARINA

Istituto di Fisica Tecnica, Università di Bologna

SOMMARIO

La misura del rumore può oggi avvalersi di notevoli innovazioni, derivanti dall'uso di personal computer collegati alla strumentazione acustica. A parte l'impiego più ovvio, consistente nell'automazione delle tradizionali procedure di misura, è divenuta possibile l'acquisizione di nuove grandezze, dalla cui analisi vengono derivate informazioni più dettagliate soprattutto sulla struttura temporale del fenomeno rumoroso.

Nella presente memoria vengono illustrate le peculiarità delle misure basate su personal computer, e le possibilità offerte dal software che accompagna questi strumenti. Viene poi discussa l'applicabilità di tali tecniche nell'ambito delle principali normative tecniche nazionali ed internazionali.

INTRODUZIONE

La misurazione del rumore ha visto un costante progresso sia della strumentazione per ciò progettata, sia delle tecniche di analisi e valutazione dei dati rilevati. Di recente però sono avvenuti sviluppi estremamente rapidi sia in campo strumentale che nel software dedicato all'analisi dei dati.

L'introduzione su larga scala di sistemi basati su microprocessori e dotati di ampia memoria consente oggi di immagazzinare lunghe storie temporali, senza dover ricorrere inizialmente ad alcuna tecnica di riduzione dei dati (ad esempio il classico accumulo dei descrittori statistici). Da tali storie

temporali è poi possibile ottenere in un secondo tempo tutti i classici indici, quali Livello Equivalente, Curva di Distribuzione, Livelli Percentili, etc. .

La tecnica di misura produce grafici abbastanza simili a quelli ottenibili fino a poco tempo fa con un registratore scrivente collegato ad un fonometro, ma in realtà ne differisce sostanzialmente, poiché il dato campionato non è un valore RMS, ottenuto da un filtro di ponderazione temporale esponenziale, con costante di tempo SLOW o FAST, ma un cosiddetto SHORT L_{eq} , cioè un livello equivalente calcolato su un tempo molto breve (da pochi ms ad 1 secondo).

Le caratteristiche di tale grandezza, che verranno meglio illustrate nel seguito, rendono possibile ricalcolare da essa i grafici con costante di tempo FAST o SLOW (non è viceversa possibile il contrario...), e consentono di apprezzare in modo adeguato eventi impulsivi, senza che sia necessario misurare contemporaneamente con costante di tempo IMPULSE.

Tuttavia le attuali normative nazionali ed internazionali prevedono ancora soltanto la misura con strumenti tradizionali, e solo di recente il Livello Equivalente (di lungo periodo) è subentrato di prepotenza quale descrittore privilegiato. Anche se è possibile impiegare la nuova tecnica di rilievo per ottenere i classici descrittori previsti dalle norme, così facendo si rinuncia ad impiegare gran parte delle ulteriori, utili informazioni raccolte. Sarebbe pertanto auspicabile un ulteriore sviluppo normativo, soprattutto per il rumore nell' ambiente esterno e nell' ambiente di lavoro.

STRUMENTAZIONE ED ASPETTI METROLOGICI

Attualmente sul mercato esistono svariati apparecchi o sistemi che consentono di campionare lunghe storie temporali di SHORT L_{eq} ; alcuni di essi consentono anche di campionare la uscita SLOW, FAST o IMPULSE del circuito RMS.

Possiamo classificare questi strumenti in tre categorie, come illustrato dalla fig. 1:

- A : fonometri integratori con memoria (autonomi);
- B : fonometri integratori collegati ad un Personal Computer (PC);
- C : computers dotati di scheda acquisizione dati all' interno.

L' aspetto esteriore delle tre categorie di strumenti è piuttosto diverso: tuttavia, alla fine è sempre il PC a svolgere il ruolo più importante. La massa di dati raccolta è talmente vasta che è indispensabile ricorrere ad un software di analisi dei dati per poterla maneggiare. Anche gli strumenti della categoria A vengono pertanto connessi ad un computer dopo la misurazione, ed i dati contenuti nella memoria del fonometro vengono riversati in quella del PC, solitamente tramite una interfaccia seriale.

I rilievi di rumore vengono eseguiti di norma con la curva di ponderazione "A": pertanto, nella fig. 2 viene riportato lo schema di massima del sistema di misura di SHORT L_{eq} . Si osserva che ciascun dato memorizzato non è altro che la somma dei quadrati di uno spezzone della forma d' onda digitalizzata; pertanto, ogni dato risulta del tutto indipendente dal precedente, al contrario di quanto avviene per il livello sonoro FAST o SLOW.

La lunghezza temporale della finestra di quadratura non può essere ridotta a piacimento: infatti esiste un principio generale che stabilisce che il tempo di risposta di un filtro è inversamente proporzionale alla sua ampiezza di banda [1].

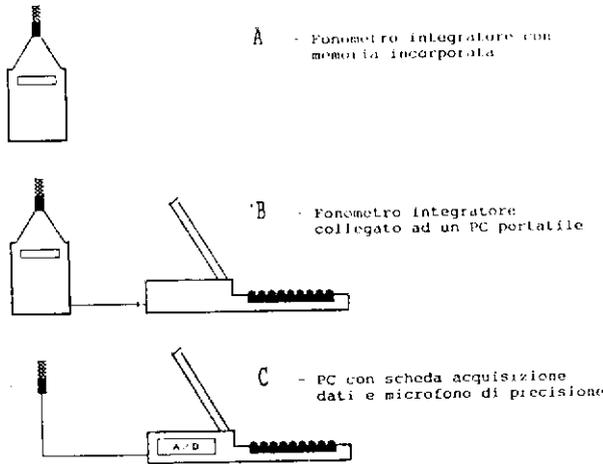


Fig. 1 - Categorie di strumenti computerizzati per la misura del rumore.

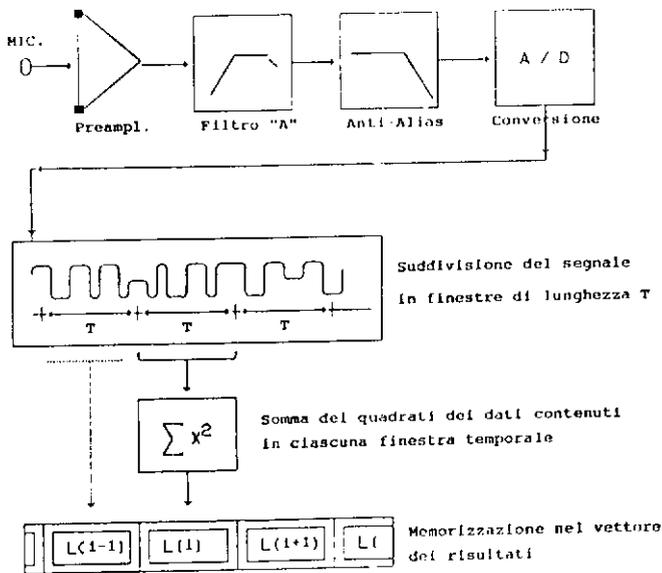


Fig. 2 - Schema di misura di un vettore di SHORT L_{eq} .

Applicando dunque un segnale sinusoidale all' ingresso del sistema, esso impiega un certo tempo perché l' uscita rispecchi esattamente il segnale in ingresso; durante questo tempo la forma d' onda risulta distorta, ed il calcolo basato su di essa è erroneo. Se si vuole che ciascun dato campionato di SHORT L_{eq} presenti un errore inferiore a 0.5 dB, è necessario che la finestra temporale sia almeno 10 volte più lunga del tempo di risposta del filtro.

Considerando segnali casuali, anziché sinusoidali, la

trattazione matematica si complica; tuttavia in [1] viene mostrato come, nell' ipotesi di segnali stazionari, si ottiene la seguente relazione fra la deviazione standard ϵ del valore RMS misurato, la ampiezza di banda B del filtro e la lunghezza T della finestra di misura:

$$\epsilon = \frac{4.34}{2 \cdot \sqrt{BT}} \quad (\text{in dB})$$

Per filtri d'ottava o di terzo d'ottava questa restrizione è piuttosto forte, e richiede usualmente tempi di misura abbastanza lunghi. Viceversa, per il filtro "A" la banda passante è molto estesa, e pertanto il tempo di risposta è breve. Nella figura 3 è visibile la risposta all'impulso del filtro "A" di un fonometro, ottenuta tramite deconvoluzione di un segnale stazionario MLS (Maximum Length Sequence) [2]. Si osserva che essa termina dopo circa 0.7 ms dall'arrivo dell'onda diretta; pertanto l'ampiezza di banda equivalente B può essere stimata in circa 1500 Hz, e si ricava questa relazione fra deviazione standard e lunghezza della finestra in ms:

Lunghezza (ms)	10	20	50	100	200	500
ϵ (dB)	1.12	0.79	0.50	0.35	0.25	0.16

E' interessante confrontare la risposta ad un segnale impulsivo fornita da un misuratore di SHORT L_{eq} e di livello istantaneo FAST o SLOW. Nella fig. 4 sono visibili, dallo alto al

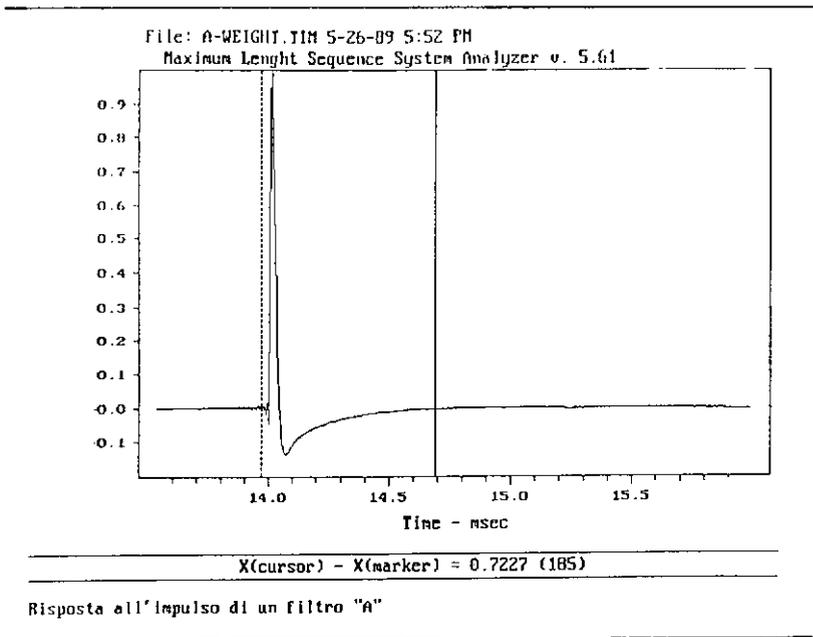
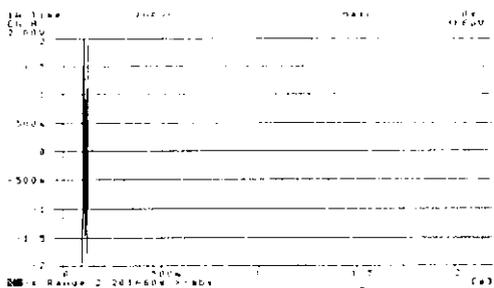
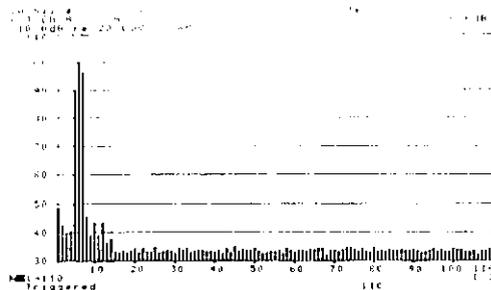


Fig. 3 - Risposta all'impulso di un filtro di ponderazione "A".

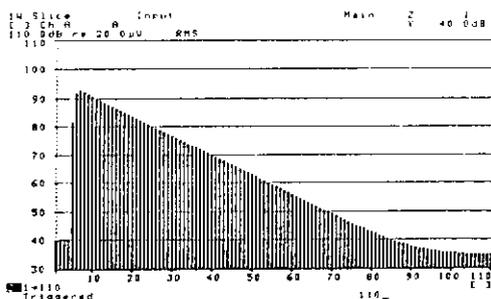
B&K Type 2133 11-Sep-90 16:50:01



B&K Type 2133 11-Sep-90 16:50:01



B&K Type 2133 11-Sep-90 16:55:39



B&K Type 2133 11-Sep-90 16:57:02

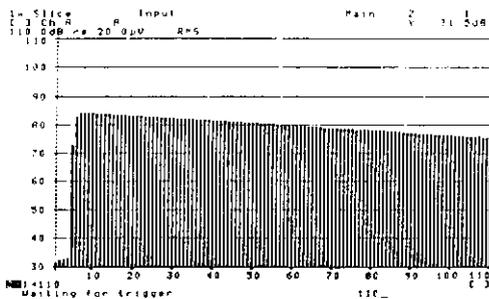


Fig. 4 - Transitorio applicato ad un campionario di SHORT L_{eq} , di livello FAST e di livello SLOW.

basso, la forma d' onda originaria dell' impulso (un BURST di rumore bianco lungo 20 ms, avente un livello RMS del segnale continuo pari a 102 dB(A)), la risposta del misuratore di SHORT L_{eq} ($T=31.25$ ms), la risposta FAST ed infine la risposta SLOW. Mentre negli ultimi due casi si ottengono dati non nulli anche dopo che l' impulso si è verificato, il misuratore di SHORT L_{eq} ha risposto correttamente, solo nelle finestre che contenevano lo impulso stesso.

Anche il valore massimo misurato è diverso: infatti, mentre il SHORT L_{eq} è inferiore del valore RMS di segnale continuo di 2 dB(A), i sistemi FAST e SLOW forniscono valori più bassi, e cioè rispettivamente 9 e 18 dB(A) inferiori. Per confronto, si noti che un rilevatore di tipo "Impulse" avrebbe fornito un valore circa 3 dB(A) inferiore del livello stazionario. Il comportamento di un rilevatore esponenziale si scosta tuttavia leggermente da quello di un rilevatore lineare quando la durata del BURST è prossima al suo tempo di integrazione T: la fig. 5 mostra infatti a confronto i comportamenti dei tre classici rilevatori esponenziali (IMPULSE, $T=31.25$ ms; FAST, $T=250$ ms; Slow, $T=2$ s) a confronto con tre rilevatori di SHORT L_{eq} aventi le stesse lunghezze della finestra temporale [3]. La risposta ai rumori impulsivi si discosta molto poco, e la differenza massima è di 3 dB per impulsi di lunghezza esattamente uguale alla finestra di integrazione. Poiché solitamente gli eventi impulsivi sono molto più brevi, si può ritenere che una misura di SHORT L_{eq} con finestra di 25-35 ms corrisponda quasi esattamente al valore misurato con un rilevatore tipo IMPULSE (ovviamente il successivo

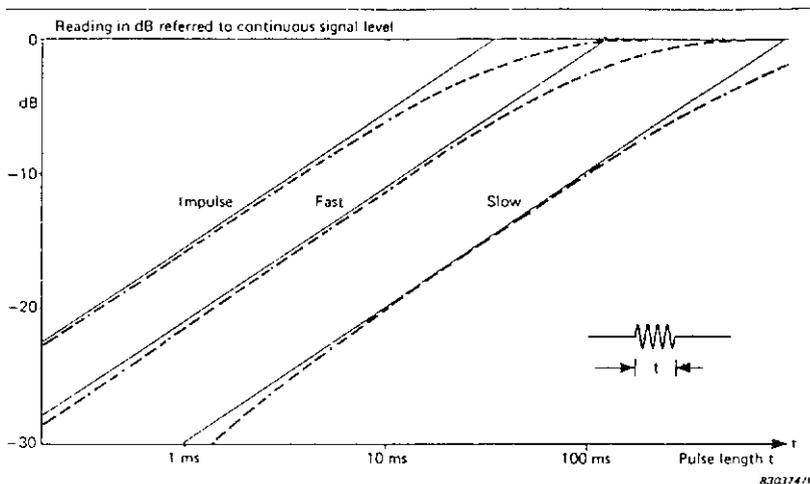


Fig. 5 - Livello misurato da rilevatori esponenziali e lineari in risposta ad un "burst" di breve durata.

decadimento è istantaneo, mentre quello del rilevatore IMPULSE è molto lento...). A meno che non venga salvata la forma d'onda originale digitalizzata, non è invece possibile valutare lo effettivo valore di picco (MAX PEAK) dell'impulso.

Stabiliti dunque i peculiari vantaggi che risiedono nella misura di una storia temporale di SHORT \$L_{eq}\$, va anche detto che da essa è possibile ricostruire la storia temporale in ponderazione FAST o SLOW, applicando un semplice algoritmo di media mobile con ponderazione esponenziale, e con la corretta costante di tempo.

Infatti, la risposta di un rilevatore RMS FAST o SLOW può essere analiticamente descritta come:

$$\langle p \rangle_{RMS}(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^t \left[p^2(\tau) \cdot e^{\frac{-2(t-\tau)}{T}} \right] d\tau$$

In cui compare il tempo di integrazione \$T\$, che è pari a 0.25 s per la ponderazione FAST e 2 s per la ponderazione SLOW. La suddetta relazione integrale può venire facilmente trasformata in una sommatoria, ed essere implementata nel software di analisi dei dati.

L'acquisizione di una storia temporale di SHORT \$L_{eq}\$ consente dunque significativi vantaggi rispetto alla tradizionale misura dei livelli sonori FAST o SLOW, che comunque possono venire ricostruiti da essa.

Va infine segnalato che numerosi sistemi consentono anche funzioni molto diverse: i fonometri possono venire dotati di filtri in terzi d'ottava, e pertanto si può automatizzare la procedura di misura dello spettro di un rumore stazionario, adeguando il tempo di integrazione in ciascuna banda in modo da garantire una adeguata precisione dei risultati, e memorizzando

lo spettro per ulteriori analisi. Viceversa i sistemi della categoria C consentono di memorizzare spezzoni (piuttosto brevi) della forma d'onda originaria digitalizzata, da cui è poi possibile calcolare lo spettro sonoro mediante analisi di Fourier (FFT), che tuttavia non risulta in tempo reale.

Esistono infine ulteriori, sofisticate applicazioni per lo studio della riverberazione degli ambienti o per la analisi intensimetrica; esse esulano tuttavia dalle applicazioni prettamente fonometriche di cui si sta parlando.

SOFTWARE

La enorme massa di dati acquisiti rende necessario lo impiego di adeguati programmi software di gestione ed analisi dei dati.

Questi programmi sono ormai abbastanza diffusi, e richiedono l'impiego di un Personal Computer del tipo IBM-compatibile, solitamente dotato di disco fisso per contenere agevolmente storie temporali anche molto lunghe (giorni, nel caso di analisi ambientali). La presentazione dei dati memorizzati è usualmente di tipo grafico, sotto forma di istogramma (fig. 6). E' possibile ispezionare in dettaglio alcune sezioni della storia, ingrandendole (ZOOM, fig. 7), o viceversa cancellare altre sezioni, causate da rumori esterni allo scopo dell'analisi (ad esempio la voce dello operatore in vicinanza del microfono: nella fig. 6 si vede uno spezzone cancellato).

Per la prerogativa della grandezza misurata, è poi estremamente agevole calcolare il livello equivalente o il livello di singolo evento (SEL) relativi a segmenti di storia temporale: è sufficiente sommare energeticamente i livelli compresi nell'intervallo considerato (fig. 8).

Questo tipo di analisi consente di valutare l'importanza relativa di diverse sorgenti di rumore (ad es., veicoli leggeri e

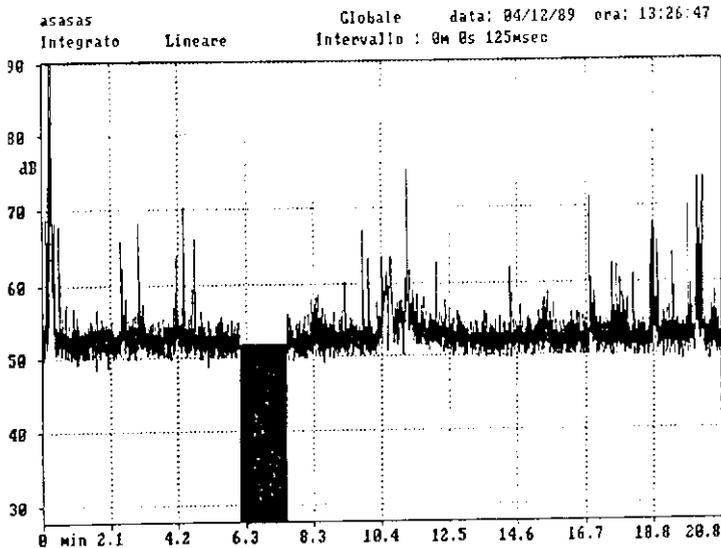


Fig. 6 - Analisi dei dati memorizzati sotto forma di istogramma mediante software su personal computer.

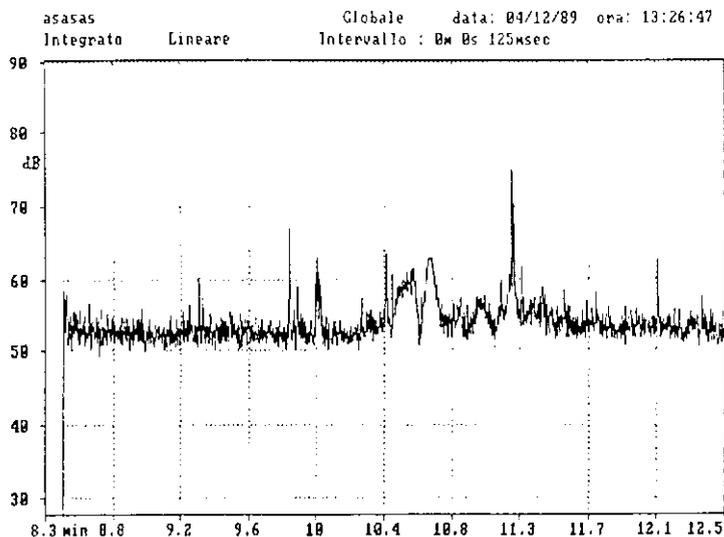


Fig. 7 - ZOOM di un porzione temporale del segnale della fig. 6.

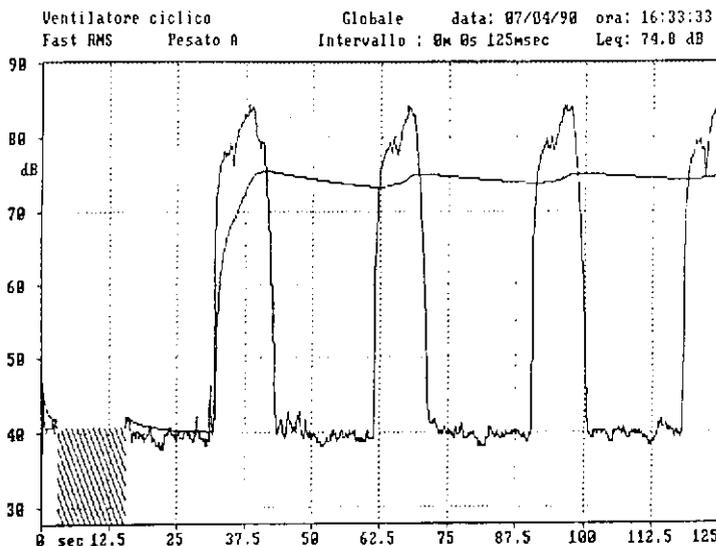


Fig. 8 - Valutazione del Livello Equivalente di uno spezzone della storia temporale, causato da una sorgente sonora.

pesanti lungo una autostrada), di evidenziare eventi particolarmente significativi (quali sporadici fenomeni impulsivi in un ambiente industriale), o infine di correlare il grafico del livello sonoro con processi esterni variabili nel tempo (quali il ciclo produttivo di una catena di montaggio) [4].

INTERAZIONE CON LA NORMATIVA

Per misure fatte a scopo di ricerca scientifica, o per cercare soluzioni tecniche di bonifica acustica, tutte le possibilità illustrate sono molto utili. Viceversa spesso lo scopo delle misure è quello di fornire una valutazione del rumore in base alle normative: a questo scopo, non sempre si riesce a ricavare tutti i parametri richiesti dagli istogrammi acquisiti, ed è necessario eseguire in tutto o in parte le misure con tecnica tradizionale.

Vengono prese qui in esame le normative Italiane ed Internazionali di più vasto impiego, ed in particolare:

- Norma UNI 9433 - Valutazione del rumore negli ambienti abitativi (1989).
- Norma UNI 8199 - Valutazione della rumorosità degli impianti di riscaldamento, condizionamento, ventilazione (1981).
- Norma ISO 1999 - Descrizione e Misurazione del Rumore Ambientale (1982).
- Norma ISO 1996 - Valutazione dell' esposizione al rumore occupazionale per scopi di protezione dell' udito (1975).
- Direttiva CEE 12/5/1986 sulla protezione dell' udito dei lavoratori

Per ciascuna di esse vengono brevemente descritti i parametri da misurare, e quale impiego è ipotizzabile per la nuova tecnica di misura.

*** Norma UNI 9433 ***

Vengono considerate misure di Livello Equivalente ponderato "A". Si specifica chiaramente che il rumore ambientale (misurato in presenza della sorgente disturbante) deve essere misurato per il periodo di effettivo funzionamento della sorgente sonora, mentre il rumore residuo deve congruamente venire misurato in assenza della sorgente disturbante stessa.

In base a quanto detto, risulta estremamente utile campionare una lunga storia temporale, comprendente sia il periodo di funzionamento della sorgente sonora, sia il periodo in cui essa non opera. Dall' istogramma temporale si estrarranno poi le due sezioni relative al rumore ambientale ed al rumore residuo, avendo cura di escludere ogni evento spurio.

La correzione per "tono puro" va eseguita in modo tradizionale, analizzando in terzi d' ottava il rumore ambientale. La correzione per rumore impulsivo richiede viceversa il confronto fra livello istantaneo "Impulse" e "Slow". Il livello SLOW può venire ricostruito a partire dall' istogramma di SHORT L_{eq} ; il livello Impulse coincide viceversa con il valore massimo di SHORT L_{eq} , a patto che la finestra temporale fosse di lunghezza adeguata (25-35 ms)

*** Norma UNI 8199 ***

Il rumore degli impianti viene valutato come Livello Equivalente ponderato "A", e pertanto è di facile misurazione, isolando un segmento temporale in cui essi sono in funzione. Esso deve venire confrontato con il rumore di fondo, inteso come livello percentile L_{95} misurato nel periodo in cui gli impianti sono fermi; anch' esso può essere ottenuto tramite le funzioni di analisi statistica dei software di analisi dei dati.

La correzione per rumori con toni puri va poi apportata secondo la tecnica tradizionale, misurando lo spettro in terzi d' ottava, mentre il carattere impulsivo del suono va evidenziato confrontando il valore FAST (ricostruito) con il valore Impulse (che coincide con il massimo degli SHORT L_{eq}).

Convegno
Nazionale

RUMORE E
VIBRAZIONI
valutazione
prevenzione
bonifica

Bologna
20-21 novembre 1990

Modena
22-24 novembre 1990

*** Norma ISO 1999 ***

E' prevista sia la misura di L_{eq} , sia l' analisi dei risultati di un campionamento temporale di L_{FAST} su base statistica o mediante individuazione diretta delle sorgenti sonore sul tracciato. Pertanto in questi ambito la tecnica di campionamento di $SHORT L_{eq}$ trova la più efficace applicazione

*** NORMA ISO 1996 ***

Lo scopo della norma é l' ottenimento della dose energetica settimanale di rumore ricevuta dal lavoratore. Essa viene espressa tramite l' Indice di Esposizione, che dipende comunque biunivocamente dal Livello Equivalente. L' impiego di dosimetri individuali appare il più semplice in questo caso, tuttavia l' acquisizione della storia temporale può fornire utili indicazioni per la bonifica acustica. Esigenze di trasportabilità rendono in questo caso preferibili gli strumenti di categoria A.

*** Direttiva CEE 12/5/86 ***

Vengono prese in considerazione due grandezze, delle quali viene stabilito il limite giornaliero non superabile: la prima é il Livello equivalente su 8 ore (turno di lavoro), senza alcun tipo di correzione legata alle caratteristiche del rumore; la seconda grandezza é il massimo valore istantaneo di picco (MAX PEAK). Ovviamente dall' analisi complessiva di una registrazione di 8 ore, fatta tramite un microfono collocato vicino all' orecchio del lavoratore, é possibile ottenere il primo dato: un semplice dosimetro avrebbe però fornito lo stesso risultato. Viceversa, dalla misura di $SHORT L_{eq}$ non può essere dedotto il valore di MAX PEAK, a meno che si impieghi uno strumento di categoria C che memorizzi la forma d'onda quando si supera un livello prefissato. Comunque, anche in questo caso la misura risulta quantomeno poco pratica, e pare del tutto preferibile lo impiego di dosimetri dedicati, con ritenzione automatica del valore MAX PEAK.

CONCLUSIONI

L' impiego del PC nelle misure di rumore é destinato a diffondersi rapidamente, soprattutto per i vantaggi connessi con l' automazione della procedura di misura e la conseguente riduzione di possibilità di errore da parte dell' addetto alle rilevazioni.

E' però possibile impiegare il PC per ottenere risultati che il semplice fonometro non era in grado di fornire, soprattutto per l' analisi di fenomeni variabili nel tempo. Ciò richiede la ripetuta misurazione del Livello Equivalente su brevi intervalli di integrazione ($SHORT L_{eq}$), e la memorizzazione dell' istogramma temporale di tali dati. La successiva analisi, possibile con i pacchetti software disponibili, consente di evidenziare con grande dettaglio i contributi al rumore delle singole sorgenti sonore.

L' impiego di questa tecnica non corrisponde però attualmente ad alcuna delle normative per la misura del rumore. E' possibile impiegare i dati ottenuti, tramite opportuna rielaborazione, per valutare gli effetti del rumore in base ad alcune delle normative prese in esame: per le altre rimane preferibile l' utilizzo diretto dei fonometri o dei dosimetri.

Sarebbe ovviamente auspicabile che la revisione delle normative tenga conto dell' evoluzione in corso in campo strumentale, soprattutto per la definizione del carattere impulsivo del rumore e per l'individuazione degli intervalli temporali di misura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R.B.RANDALL - Noise Measurements - Danimarca, Edizioni Bruel & Kjør, 1987.
- [2] DOUGLAS D.RIFE - MLSSA Maximum-Lenght Sequence Sysytem Analyzer Reference Manual v. 5.0 - Sterling, DRA Laboratories, 1989.
- [3] J.R.HASSALL, K.ZAVERI - Acoustic Noise Measurements - Danimarca, Edizioni Bruel & Kjør, 1988.
- [4] G.P.AMADASI, P.GIACOMIN - Classification of noise sources of a textile machine with analysis techniques based on short L_{eq} measurements on TWF time signals - Atti del convegno Internoise 1990 - vol. 2, pagg. 1045-1048 - Goteborg (Sweden)

Convegno
Nazionale

**RUMORE E
VIBRAZIONI**
valutazione
prevenzione
bonifica

Bologna
20-21 novembre 1990

Modena
22-24 novembre 1990