

# **INQUINAMENTO DA RUMORE**

a cura di

**Alberto Frigerio**



**GRUPPO SCIENTIFICO ITALIANO STUDI E RICERCHE**

## GRANDEZZE CARATTERISTICHE DEL RUMORE DA SORGENTI MOBILI E LORO MISURAZIONE

A. FARINA<sup>(1)</sup> - L. ROCCO<sup>(2)</sup> - S. SAURO<sup>(2)</sup>

(1) Dipartimento Ingegneria Industriale, Università di Parma.

(2) Dipartimento Processi e Metodi Produzione Edilizia, Università di Firenze.

### 1. Premessa

L'assunto comune alla base della maggior parte delle procedure di valutazione dell'esposizione al rumore, è che la risposta delle persone sia come individui che come comunità, al loro intorno di rumore è correlata alla energia acustica totale, ponderata in frequenza con la curva di risposta A ricevuta in un certo periodo di tempo; la validità di tale principio, confermato sia da esperimenti psicoacustici individuali sia da indagini su ampie popolazioni è ormai accettata ed estesa ai vari effetti del rumore sulle persone, da quello del disturbo generico (annoyance) a quello del danno auditivo. Inoltre poiché le persone reagiscono al loro intorno ripetitivo di rumore, tendendo a classificarlo sulla base di un giorno solare, l'integrazione della energia ricevuta viene effettuata su un periodo di tempo di 24 ore o anche su due periodi di tempo, quello diurno e quello notturno.

Sia nelle aree urbane che in quelle extraurbane la maggior parte delle sorgenti di rumore è costituita da sorgenti mobili, costituite dai vari mezzi di trasporto stradale, ferroviario ed aereo; nel territorio in prossimità di corsi o specchi d'acqua navigabili sono da considerare infine come sorgenti mobili di rumore anche i mezzi di trasporto per via d'acqua. Tutte queste sorgenti mobili sono responsabili del maggiore contributo d'energia acustica all'inquinamento da rumore dell'ambiente esterno.

In particolare, dai dati raccolti sul rumore ambientale emerge che il rumore prodotto dalle sorgenti mobili del traffico stradale è quello che domina le altre sorgenti nella maggior parte di luoghi e per la maggior parte del tempo; esso pertanto costituisce la più importante causa di inquinamento acustico dell'ambiente.

Anche se le sorgenti mobili del trasporto aereo sono causa di una estesa esposizione al rumore che si può stimare stia nel rapporto di 1 a 10 rispetto a quella causata dai trasporti di superficie, tuttavia con l'incontrollata urbanizzazione delle aree in prossimità degli aeroporti sia civili che militari

unitamente al grandissimo sviluppo che l'aviazione civile ha avuto negli ultimi tempi, il problema dell'inquinamento acustico prodotto da questo tipo di sorgenti mobili, avendo coinvolto un numero via via crescente di persone, si è manifestato in tutta la sua gravità; da rilevare che a parità di energia acustica ricevuta il rumore prodotto dal trasporto aereo risulta più disturbante di quello prodotto dai mezzi di trasporto in superficie.

Per quanto riguarda il rumore prodotto dal traffico ferroviario tradizionale, è emerso che le persone a parità di livello tendono ad accettare più di buon grado tale rumore che non quello aereo o stradale; il motivo può essere individuato nel fatto che, esistendo il trasporto per ferrovia da più tempo rispetto agli altri due sistemi di trasporto, può essere intervenuta nelle persone una abitudine ed una accettazione più radicata nei confronti degli effetti che tale mezzo di trasporto determina.

Peraltro lo sviluppo dei sistemi ferroviari ad alta velocità ha già provocato una sostanziale inversione di tendenza al riguardo, in parte spiegabile sia con il naturale incremento dei livelli sonori prodotti dai treni che si muovono a velocità tra i 250 ed i 300 km/ora sia per il fatto che questi nuovi treni utilizzano tratti localizzati in aree prima immuni da questo tipo di inquinamento.

## 2. Le grandezze acustiche per la descrizione del rumore delle sorgenti mobili

Gli eventi di rumore prodotti dalle sorgenti mobili dei vari mezzi di trasporto sono tutti accomunati da una unica caratteristica; l'andamento simile della loro evoluzione temporale.

Tali eventi infatti evolvono tutti con una fase iniziale di crescita più o meno veloce del loro livello istantaneo sopra il rumore residuo, livello che raggiunge un valore massimo o anche una serie di valori massimi succedentisi al primo se il mezzo, come nel caso di un treno, è costituito da più unità, ai quali poi segue una fase di decremento fino al livello del rumore residuo.

Nella Figura 1 sono riportati gli andamenti temporali caratteristici degli eventi di rumore per i tre tipi di mezzi di trasporto.

Data l'analogia delle evoluzioni temporali del rumore prodotto da questi tipi di sorgenti mobili, risulta logico quantificare il contributo di un singolo evento di tale tipo di rumore qualunque sia il mezzo di trasporto considerato mediante una unica grandezza, dalla quale si possa derivare col calcolo

l'esposizione complessiva durante un qualunque periodo determinato di tempo nell'arco di una giornata oppure durante le complessive 24 ore giornaliere.

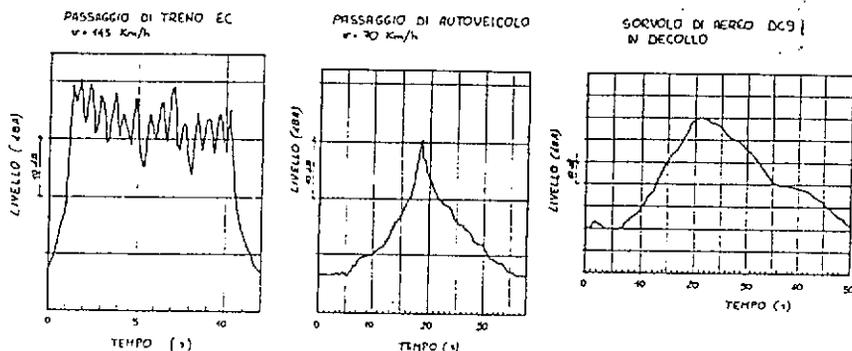


FIG 1: ANDAMENTI TEMPORALI TIPICI DI SORGENTI MOBILI COSTITUITE DA MEZZI DI TRASPORTO

La grandezza psicoacustica base per esprimere quantitativamente il livello istantaneo di rumore rappresenta l'elemento più caratterizzante della procedura.

Quella ormai codificata e accettata internazionalmente per la misura di un qualunque tipo di rumore variabile nel tempo, come lo sono appunto i rumori prodotti, in una certa posizione fissa, dalle sorgenti mobili costituite dai mezzi di trasporto, è il Livello di Pressione Sonora con pesatura A espresso da  $L_{pA}(t)$  funzione appunto del tempo  $t$ .

Per tener conto della evoluzione nel tempo del segnale variabile di un evento di rumore, dalla quale poi dipende l'energia totale ricevuta, è stata derivata dalla grandezza base suddetta un'altra grandezza atta ad esprimere con un unico valore l'esposizione al rumore di un singolo evento operativo e quindi il cui contributo energetico.

Tale grandezza è il Livello d'Esposizione a Singolo Evento SEL (codificato con  $L_{AE}$  nella ISO 1996/1-1982) livello ottenuto integrando il Livello istantaneo di Pressione Sonora con pesatura "A" sulla durata dell'intero singolo evento di rumore, durata che corrisponde in pratica al tempo durante il quale il Livello  $L_{pA}$  si mantiene entro i 10 dB sotto il livello massimo  $L_{pA \text{ max}}$ , e normalizzando l'integrale alla durata di 1 secondo.

L'espressione analitica del SEL è pertanto la seguente:

$$SEL = 10 \log \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{PA}(t)/10} dt \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

dove:  $L_{PA}(t)$  è il valore del livello di pressione sonora ponderato A all'istante  $t$ , l'intervallo di integrazione da  $t_1$  a  $t_2$  rappresenta il tempo in cui  $L_{PA}(t)$  è inferiore di 10 dB al suo valore massimo  $L_{PA\text{max}}$  e  $t_0=1s$  è la costante di normalizzazione.

Il SEL pertanto rappresenta il livello di un segnale continuo e costante della durata di un secondo che ha lo stesso contenuto di energia (pesata A) dell'evento di rumore considerato; la durata di riferimento di un secondo agisce come denominatore comune permettendo la somma dei contributi di molteplici eventi di differente durata; ciò comporta quindi una notevole semplificazione dei calcoli nella successiva elaborazione della esposizione complessiva giornaliera. Non solo, ma esprimendo con un unico numero il contributo energetico di un evento di rumore, si può fare un raffronto energetico diretto di vari eventi di rumore dello stesso tipo o di tipi diversi di sorgenti.

La Figura 2 illustra un tipico esempio di evento di rumore dovuto al passaggio di un veicolo stradale raffrontandolo con la rappresentazione grafica del relativo SEL. Tale grandezza è stata elaborata in un primo tempo per quantificare il rumore dei mezzi di trasporto aereo; data la sua praticità di impiego è stata successivamente impiegata per la misura di qualsiasi evento di rumore.

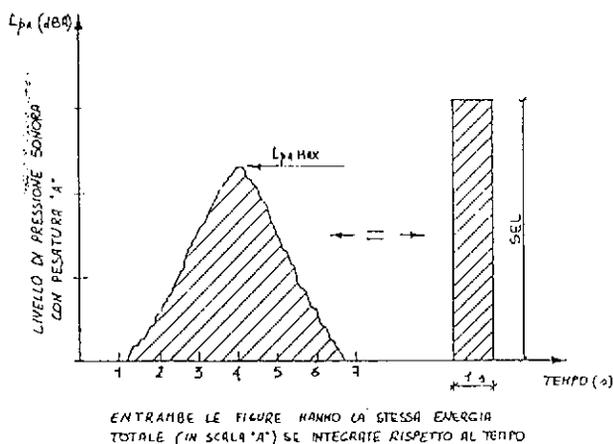


FIG. 2 : ILLUSTRAZIONE DEL SEL

In considerazione della sua formulazione il SEL si presta bene ad essere impiegato anche per la certificazione acustica delle sorgenti mobili e per controlli diretti della ottemperanza di tali sorgenti ai valori limite ammessi in diverse circostanze territoriali.

Infine, essendo il SEL una grandezza coerente con il Livello Sonoro Equivalente Continuo  $L_{eqA}$  essa è idonea per il calcolo di previsione o di verifica del Livello Sonoro Equivalente Continuo o del Livello Giorno Notte  $L_{DN}$  in qualunque situazione acustica; per ragioni di uniformità ad essa soltanto dovrebbero riferirsi le normative sul rumore ambientale e sulla certificazione acustica per esprimere l'esposizione ad un evento di rumore.

### 3. Misure del rumore di sorgenti mobili e relative strumentazioni

L'evoluzione che si è avuta in tempi recenti, sia nella strumentazione per la misura del rumore sia nel software di acquisizione ed elaborazione dei dati rilevati, ha portato alla possibilità di elaborare nuove grandezze e soprattutto di avere più dettagliate informazioni sulla struttura temporale di un evento di rumore.

L'avvento di sistemi di misura ed elaborazione basati su microprocessori e dotati di ampia memoria rende attualmente possibile immagazzinare storie temporali di eventi di rumore di qualunque durata, dalle quali è possibile derivare col calcolo tutte le classiche grandezze quali i Livelli Sonori Pesati A, Slow, Fast e Impulse, il Livello Equivalente, il SEL, i Livelli Percentili ecc.

Negli ultimi tre anni sono dunque comparsi sul mercato strumenti digitali di misura del rumore il cui funzionamento è radicalmente diverso da quello dei tradizionali apparecchi analogici.

#### 3.1. Il funzionamento del fonometro analogico

In un fonometro analogico tradizionale il cui schema a blocchi è rappresentato in Figura 3, il processo di misura avviene come segue.

Il microfono trasforma l'oscillazione di pressione in un segnale elettrico in corrente alternata AC con un certo rapporto costante tra pressione e tensione (50 mV/Pa); tale segnale, opportunamente ampliato, su un amplificatore viene "pesato" in un filtro di ponderazione analogica secondo le specifiche della curva di ponderazione "A"; all'uscita il segnale è ancora in-

corrente alternata AC ed è disponibile all'uscita AC del fonometro rappresentando dunque la forma d'onda della oscillazione di pressione. In un successivo stadio, detto quadratore, la forma d'onda del segnale viene raddrizzata elevandone i valori al quadrato per cui all'uscita il segnale è ancora fluttuante ma in corrente diretta DC sempre positivo. Il segnale quadrato viene quindi, attraverso uno stadio mediatore, mediato nel tempo con una media di tipo esponenziale impiegando un filtro di pesatura passa basso costituito da un circuito con resistenza R e condensatore C aventi quindi una costante di tempo, pari al prodotto RC, selezionabile fra diversi valori (Slow = 1 s, Fast = 125 ms e Impulse = 35 ms).

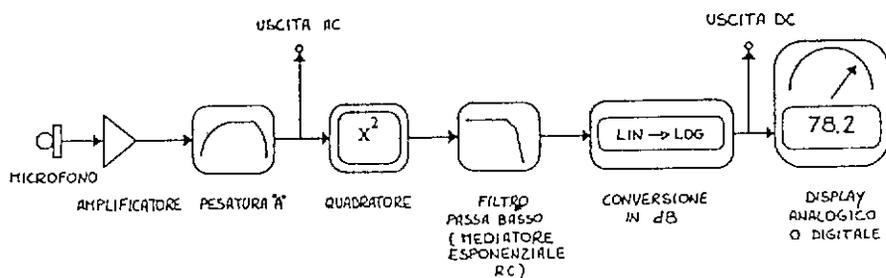


FIG. 5 : SCHEMA A BLOCCHI DI UN FONOMETRO ANALOGICO

La media esponenziale è stata dettata dal fatto che l'intensità soggettiva istantanea di un segnale sonoro che viene percepita dall'orecchio dipende in maggior misura dalle ultime fluttuazioni di pressione che non dalle precedenti; da rilevare che l'orecchio "media" in un tempo compreso tra 30 e 300 ms.

Una media "esponenziale" è dunque una idonea rappresentazione matematica di questo processo ed è perciò che è stata adottata nel fonometro; il valore quadratico medio  $\bar{p}^2_A(t)$  all'istante attuale t è allora espresso dalla relazione seguente, illustrata nella Figura 4:

$$\bar{p}^2_A(t) = \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t p^2_A(\tau) \cdot e^{-(\tau-t)/RC} \cdot dt \quad (2)$$

dove RC è la costante di tempo del circuito di pesatura,  $\tau$  è la variabile tempo e t è l'istante attuale considerato [1].

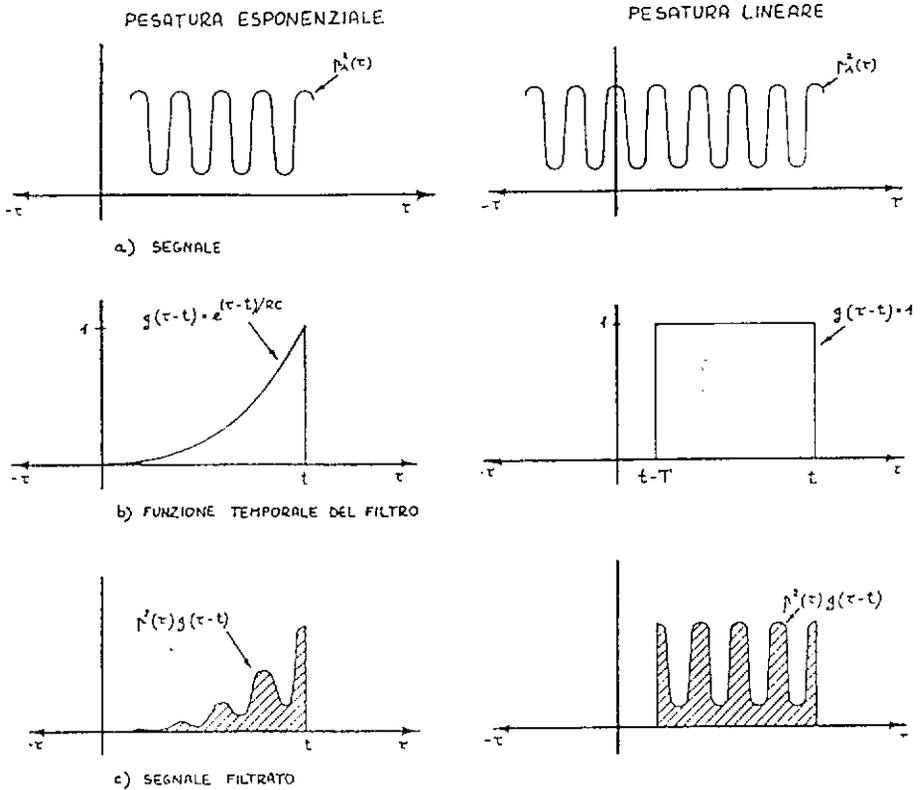


FIG. 4 : PESATURA ESPONENZIALE E LINEARE DI UN SEGNALE

Teoricamente l'equazione (2) include tutte le fluttuazioni fino all'istante attuale  $t$ ; in pratica la pesatura esponenziale attribuisce il massimo significato alle più recenti fluttuazioni di pressione precedenti l'istante  $t$ .

Nel fonometro infine dopo la mediatura esponenziale il valore del segnale elettrico viene convertito da lineare a logaritmico (LIN→LOG) in modo da dare un valore espresso in dB; questo è appunto il segnale che viene inviato all'uscita DC del fonometro ed il cui andamento temporale può essere registrato su un registratore analogico, grafico o magnetico, di livello collegato al fonometro stesso.

Infine su un display, analogico o digitale, appare il valore del segnale espresso in Livello di Pressione Sonora Ponderata A in dBA.

Il fonometro analogico può peraltro essere ugualmente utilizzato per l'elaborazione dei dati con la tecnica digitale collegando la sua uscita in AC con un registratore digitale DAT (v. Figura 5); in tal modo sul registratore digitale viene memorizzata la forma d'onda (andamento nel tempo della pressione media quadratica  $\bar{p}^2_A$ ) con frequenza di campionamento di 48 kHz e quindi la storia dell'evento rumore considerato.

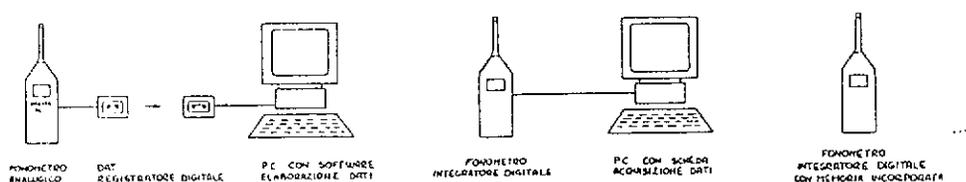


FIG. 5 : CONFIGURAZIONI OPERATIVE DI APPARECCHI PER MISURE ACUSTICHE

Con idoneo software la registrazione digitale può essere successivamente rielaborata al computer per ottenere sia le grandezze tipiche fornite dal fonometro tradizionale sia gli Short Leq ed i SEL, nonché per effettuare analisi temporali del segnale con scansioni temporali molto brevi.

### 3.2. Il funzionamento di un fonometro digitale

I fonometri completamente digitali il cui funzionamento è totalmente diverso da quello dei tradizionali apparecchi analogici, sono apparsi sul mercato negli ultimi tre anni.

In questi fonometri il segnale proveniente dal microfono viene amplificato e poi immediatamente digitalizzato mediante un convertitore A/D ad alta velocità di risoluzione con frequenza di campionamento di 48 kHz.

Dal convertitore esce dunque un flusso ininterrotto di dati numerici intervallati da un tempo di 20,8333  $\mu$ s.

In teoria con un computer molto veloce si potrebbe calcolare, con le modalità di calcolo del fonometro analogico, il livello sonoro ponderato "A" per ogni singolo dato proveniente dal convertitore, ma in pratica non è né

utile né necessario effettuare tale calcolo partendo da un simile dettaglio sull'andamento temporale dell'evento sonoro.

La tecnica adottata è stata invece quella di segmentare il flusso dei dati prodotti in modo da poter analizzare secondo le due diverse procedure di seguito descritte, le variazioni temporali del livello sonoro.

#### Procedura di campionamento degli short Leq

La procedura basata sul campionamento di short Leq consente solo l'analisi dei Livelli Equivalenti, ma non fornisce i valori massimi dei livelli Slow, Fast e Impulse tuttora codificati in numerose normative.

In questa tecnica il flusso originario dei dati è anzitutto ponderato "A" mediante un filtro IIR (Infinite Impulse Response) che esegue "in tempo reale" il calcolo di un nuovo dato ponderato "A" per ciascun dato campionato dal convertitore.

In uscita dal filtraggio di pesatura "A", i dati vengono accumulati in una memoria di transito (buffer), di notevole capacità in grado di memorizzare tutti i dati in arrivo durante un tempo tipico di un secondo (48.000 dati), oppure di 0,5 secondi (24.000 dati), oppure ancora, ma ciò non è generalmente necessario, per tempi più brevi, fino a 10 ms con computer più veloci e dotati di maggiore memoria. Quando il buffer è pieno una apposita routine provvede ad elevare al quadrato tutti i valori contenuti nel buffer ed a mediarli linearmente sulla durata del campionamento, ottenendo in tal modo il valore di short-Leq relativo a quella durata (1 secondo, 0,5 secondi o meno).

Il valore quadratico della pressione  $\bar{p}^2_A(t)$  all'istante  $t$  mediato linearmente sulla durata  $T$  del campionamento del buffer si ottiene dalla equazione illustrata nella Figura 4:

$$\bar{p}^2_A(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p^2_A(\tau) \cdot dt \quad (3)$$

Tale equazione per poterla applicare al calcolo numerico su un segnale digitalizzato deve essere trasformata nei termini finiti come segue.

Si assume anzitutto un intervallo di tempo finito  $\Delta t$  fra due successivi campioni pari a 1 ms per cui all'istante attuale  $t$  della (3) corrisponde un numero  $n$  di volte 1 ms ( $t=n \cdot \Delta t$ ); il tempo di integrazione  $T$ , durata del

riempimento del buffer, se il numero dei dati campionati dallo stesso è  $N$ , è allora dato da  $T=N \cdot \Delta t$ .

Indicando poi con  $p^2_A(i)$  il valore del dato generico campionato dal buffer, dove  $i$  è un numero intero che varia da  $n-N$  a  $n$ , l'equazione che esprime in termini finiti il valore quadratico attuale  $n$ -esimo mediato sul tempo  $T$  della pressione  $\bar{p}^2_A(n)$  è espresso dalla

$$\bar{p}^2_A(n) = \frac{\Delta t}{T} \sum_{i=n-N}^n p^2_A(i) = \frac{1}{N} \sum_{i=n-N}^n p^2_A(i) \quad (4)$$

Il valore di short-Leq nello spezzone di tempo  $T$  è infine dato dalla:

$$\text{short-Leq} = 10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=n-N}^n p^2_A(i) \quad (5)$$

Il tempo necessario per eseguire questa operazione è pari alla durata di campionamento del buffer.

Affinché il campionamento possa proseguire indisturbato vengono utilizzati normalmente due buffer che operano con la tecnica del "ping-pong": mentre un buffer è in corso di riempimento, ricevendo i dati dal filtro "A", l'altro buffer è in corso di elaborazione per fornire il valore dello short-Leq.

Con questa tecnica si ottiene una drastica decimazione del flusso dei dati: da 48.000 o da 24.000 dati/s si passa ad un solo dato al secondo, appunto lo short Leq che viene poi memorizzato.

Gli short-Leq vengono dunque normalmente calcolati su periodi di tempo di 1s o di 0,5s; infatti una più dettagliata analisi temporale infatti non serve a nulla considerando anche il fatto che al ridursi del tempo di integrazione cresce l'errore sul valore in dB memorizzato.

Una volta che la "storia" di tutti gli short Leq di un evento di rumore è memorizzata, è possibile mediante una post-elaborazione calcolare l'Leq relativo a qualunque intervallo di tempo all'interno dell'evento di rumore ed il SEL relativo all'evento nella sua durata complessiva.

Dai valori short-Leq si può anche effettuare un'analisi statistica; quest'ultima però non si presta bene a confronti diretti con le tradizionali analisi statistiche effettuate con strumentazione analogica e media temporale di tipo esponenziale con costante di tempo Fast o Slow.

Procedura di emulazione digitale di circuiti a media esponenziale (Slow, Fast, Impulse)

Attualmente, con l'avvento di hardware di tipo DSP (Data Service Process) è possibile effettuare l'emulazione digitale diretta della media esponenziale del valore quadratico secondo la quale operano i fonometri analogici, media espressa dall'equazione (2).

A tale scopo si procede anzitutto ad un campionamento di dati su tempi brevissimi (1 o 2 ms al massimo) utilizzando quindi buffers di memoria molto ridotta, in grado di campionare quindi solo 48 o 96 dati [2].

Da questi spezzoncini di dati vengono calcolati mediante la (4) i rispettivi valori quadratici medi (con media lineare) della pressione sonora  $\bar{p}^2_A$  ottenendo un flusso di dati ancora considerevole (1000 o 500 dati/s) ciascuno dei quali può essere considerato un valore "istantaneo" della pressione sonora al quadrato, anche se in effetti si tratta di valori medi su un periodo di tempo finito di 1 ms o di 2 ms.

Dalla storia temporale dei valori "istantanei" della pressione quadratica  $\bar{p}^2_A(\tau)$  così campionati è possibile ricostruire la storia temporale dei valori della pressione sonora quadratica media all'istante attuale  $t$  ottenuta da un filtro esponenziale con pesatura Slow, Fast o Impulse.

La funzione di pesatura o "risposta" di un filtro passa basso della pressione sonora quadratica  $p^2_A$  può essere espressa dalla:

$$\bar{p}^2_A(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^t p^2_A(\tau) \cdot g(\tau-t) \cdot d\tau \quad (6)$$

dove  $g(\tau-t)$  è la funzione temporale della "finestra" del filtro ("risposta all'impulso" del filtro),  $T$  è la durata del campionamento e  $t$  è l'istante attuale.

Nel caso di media "lineare" sullo spezzone di tempo  $T$ , come quella adottata per il calcolo dello short-Leq, la funzione  $g(\tau-t)$  vale (vedi fig. 4):

$$\begin{aligned} g(\tau-t) &= 1 & \text{se} & \quad t-T \leq \tau < t \\ g(\tau-t) &= 0 & \text{se} & \quad t \leq \tau < t-T \end{aligned}$$

Nel caso invece di un filtro RC, come quello del fonometro analogico, la funzione  $g(\tau-t)$  in base all'equazione (2) vale (Figura 4):

$$g(\tau-t) = e^{(\tau-t)/RC} \quad (7)$$

Occorre osservare che per rendere confrontabile la risposta del filtro esponenziale con quella del filtro lineare è necessario che il tempo di integrazione T sia  $T=2RC$ ; infatti in tale modo divengono uguali le frequenze di taglio dei due filtri passa basso [1] [3].

Pertanto la funzione di pesatura di un filtro passa basso esponenziale Slow, Fast o Impulse può essere espressa dalla:

$$\bar{p}^2_{A(t)} = \frac{2}{T} \int_{-\infty}^t p^2_A(\tau) \cdot e^{2(\tau-t)/T} \cdot d\tau \quad (8)$$

Per applicare tale relazione al calcolo numerico su un segnale digitalizzato occorre anche qui che la stessa sia reimpostata in termini finiti anziché infinitesimi.

Campionando la forma d'onda originaria con un intervallo temporale di 20,833  $\mu$ s (frequenza di campionamento 48 kHz) si effettua un premediaggio ogni 1 ms ( $\Delta t=1$ ms), quadrando e mediando linearmente 48 dati campionati, indi si rilascia il valore medio così calcolato alla routine di calcolo della media esponenziale; si campionano altri 48 dati, si calcola un altro valore premediato e si inoltra anch'esso al calcolo della media esponenziale. Indicando con  $\bar{p}^2_{A(i)}$  il valore del dato premediato i-esimo, dove i è un numero intero che rappresenta il numero di ms trascorsi dall'inizio della misura ( $i=0,1,2,\dots, n$ ), la (8) espressa in termini finiti, considerando che  $\Delta t=1$ ms e che il campionamento ha come limite temporale inferiore zero e come limite superiore n, diventa:

$$\bar{p}^2_{A(t)} = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^N \left[ \bar{p}^2_{A(i)} \cdot e^{2(i-n)/N} \right] \quad (9)$$

dove  $\bar{p}_A(t)$  rappresenta il valore cosiddetto "istantaneo" RMS Fast, Slow o Impulse.

I valori del numero N di ms per le varie costanti di tempo sono dunque i seguenti:

N = 70	per la costante Impulse in salita (RC = 35 ms)
N = 3000	per la costante Impulse in discesa (RC = 1500 ms)
N = 250	per la costante Fast (RC = 125 ms)
N = 2000	per la costante Slow (RC = 1000 ms)

Il calcolo della (9) avviene in pratica mediante un filtro ricorsivo, uno caratteristico per ciascuna costante di tempo, che comporta un calcolo molto semplice richiedendo come operazioni solo una moltiplicazione ed una somma e la sola memorizzazione del valore filtrato nel ms precedente anziché l'intera storia dei valori in ingresso.

#### 4. Conclusioni

I fonometri digitali, sia che operino con short-Leq sia con emulazione delle costanti di tempo, sono in grado dunque di calcolare il "vero" Livello Continuo Equivalente su qualunque periodo di tempo facendo semplicemente la sommatoria dei singoli dati prodotti dal procedimento di premedia o segmentazione:

$$L_{eqAT} = 10 \log \frac{1}{N' \Delta't} \sum_{n=1}^{N'} \bar{p}_A^2(n) \Delta't \quad (10)$$

dove  $T' = N' \Delta't$  è il tempo di cui si vuole determinare il livello equivalente e  $\Delta't$  è la durata di ciascuna premedia.

Il SEL a sua volta viene calcolato dal valore di  $L_{eq}$  come segue:

$$SEL = L_{eqA} + 10 \log N' \Delta't$$

I fonometri tradizionali usano invece una procedura totalmente diversa per calcolare  $L_{eqA}$ , campionando il valore "istantaneo" del segnale mediato esponenzialmente Fast o Slow, dando quindi luogo ad un risultato approssimato in dipendenza del numero dei dati campionati al secondo. La formula di calcolo è analoga alla (10) ma in questo caso si commette un errore che è tanto maggiore quanto più l'intervallo di integrazione è breve. Ciò dipende dal fatto che all'inizio della misura il filtro esponenziale sta fornendo un valore che è influenzato da eventi sonori accaduti prima dell'istante di inizio e che modificano il risultato; gli eventi poi accaduti subito prima del termine della misura pesano poco su di essa perché il filtro esponenziale li diluisce in un periodo di tempo che va oltre il termine stesso "trafilando" fuori dall'intervallo di misura. Con il segnale mediato Fast è pertanto possibile ottenere un valore corretto di  $L_{eqA}$  con tempi di integrazione della premedia maggiori o uguali a 1 s, mentre con un segnale mediato Slow occorre un tempo di integrazione della premedia di 10 s per

ottenere un valore  $Leq_A$  corretto. Ciò spiega anche perché i fonometri analogici non sono in grado, adoperandoli senza altri supporti operativi (ad es. registrazione su DAT e successiva elaborazione al PC), di misurare Short-Leq inferiori al secondo, pur potendo campionare il livello "istantaneo" a media esponenziale Fast parecchie decine di volte al secondo.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] R.B. RANDALL, *Noise measurements*, Danimarca, Edizioni Briel & Kjaer, 1987.
- [2] A. FARINA, *Nuove tendenze nell'acquisizione dei dati acustici: strumentazione, software, normativa*, Convegno Nazionale Rumore e Vibrazioni, valutazione, prevenzione, bonifica, Bologna 20-21 Novembre 1990.
- [3] J.R. HASSALL, K. ZAVERI, *Acoustic noise measurements*, Danimarca, Edizioni Briel & Kjaer, 1988