



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA**

FACOLTA' DI INGEGNERIA

*Laurea in Ingegneria Elettronica, Informatica, e delle Telecomunicazioni*

*Prof. Angelo Farina*  
*Corso di Fisica Tecnica*

LEZIONE DEL 07/12/1999  
ore 14.30 – 16.30

## **“ LE MISURE FONOMETRICHE ”**

A cura di  
Maurizio Cravedi  
N° matricola 118097

Punti principali sviluppati nel corso della lezione:

- Introduzione agli strumenti per misure fonometriche – Il Fonometro
- Schema a blocchi - Funzionamento
- Definizione di “ Livello equivalente (Leq) ”
- Definizione di “Livello di esposizione Personale (Lep) “
- Misura Base con il Fonometro
- Riferimenti al “Decreto Misure di marzo '98 “
- Analisi statistica della misura fonometrica

## *Introduzione alle misure fonometriche - Il fonometro*

Le misure fonometriche vengono eseguite in un elevato numero di ambienti, e per i diversi impieghi; ad esempio, in ambienti di lavoro, ambienti rumorosi, strade e zone industriali per rilevare il livello di inquinamento acustico, ecc.

Lo strumento che esegue tale misura è **il Fonometro**.

Esistono in commercio diversi tipi di fonometri, con diverse prestazioni e diverse caratteristiche.

Lo strumento, oggi elettronico, è in grado di rilevare la variazione di pressione dovuta alla presenza di un campo sonoro, tramite un microfono, e di indicare successivamente su di un display ed eventualmente su di un "Pc" il livello di campo misurato.

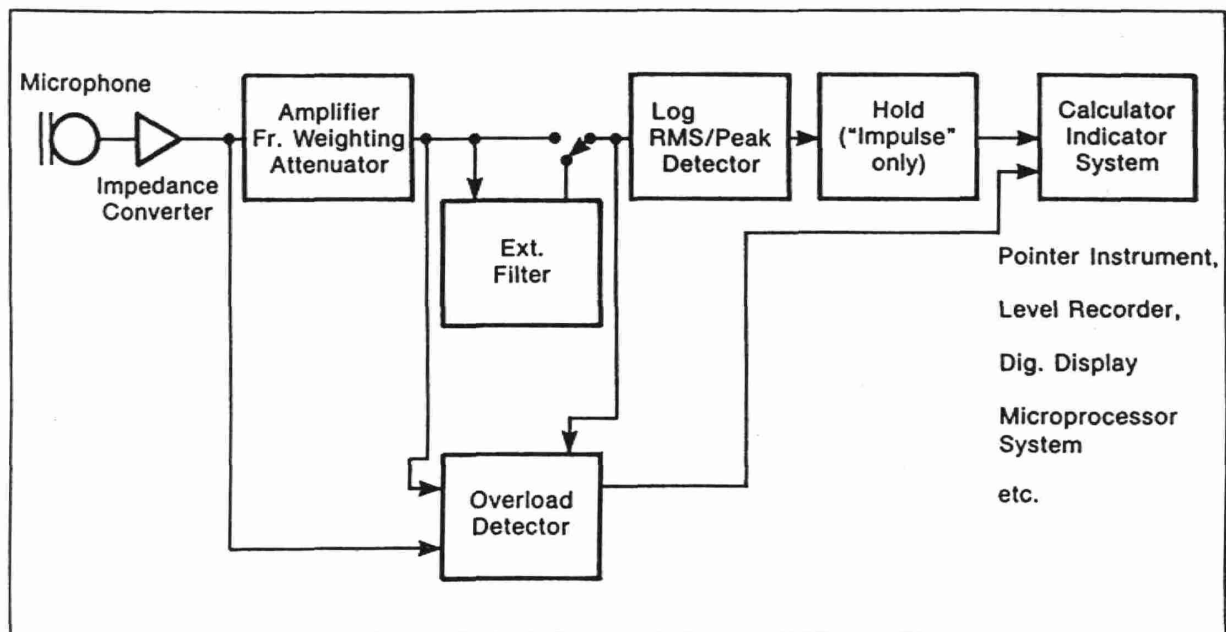
I fonometri moderni, sono anche in grado di effettuare l'analisi in frequenza del segnale captato.

Ai nostri giorni alcune delle ditte produttrici di fonometri sono: la Delta – Ohm di Padova (Italiana) e, la più famosa al mondo, la Bruel & KJAR (Danese).

Il fonometro a noi in dotazione è della Delta – Ohm.



## Schema a blocchi



*Block diagram of a typical noise measuring system*

Descrizione dei singoli blocchi.

### Il Microfono (Microphone)

Il microfono è il trasduttore pressione - tensione che permette di rilevare le variazioni del campo sonoro. Contenuto in una struttura tubolare è sensibile unicamente alla pressione, e non alla velocità del campo. E' quindi totalmente privo dell'effetto " *prossimità* " (per il quale si avrebbe una sovramplicazione delle basse frequenze).

La caratteristica fondamentale di questi microfoni, è la " *Sensibilità* ".

La sensibilità microfonica è espressa in mV/Pa (millivolt/Pascal). I valori tipici rientrano nella fascia da 2 – 100 mV/Pa. Per esempio un microfono con sensibilità 100 mV/Pa è molto sensibile, e viene utilizzato per misure di precisione. Differentemente un microfono con sensibilità di 2 mV/Pa è un microfono poco sensibile (duro), usato per rilievi in cui non è necessaria una particolare precisione..

Il microfono a noi in dotazione ha una sensibilità di 50 mV/Pa, ha quindi una discreta precisione.

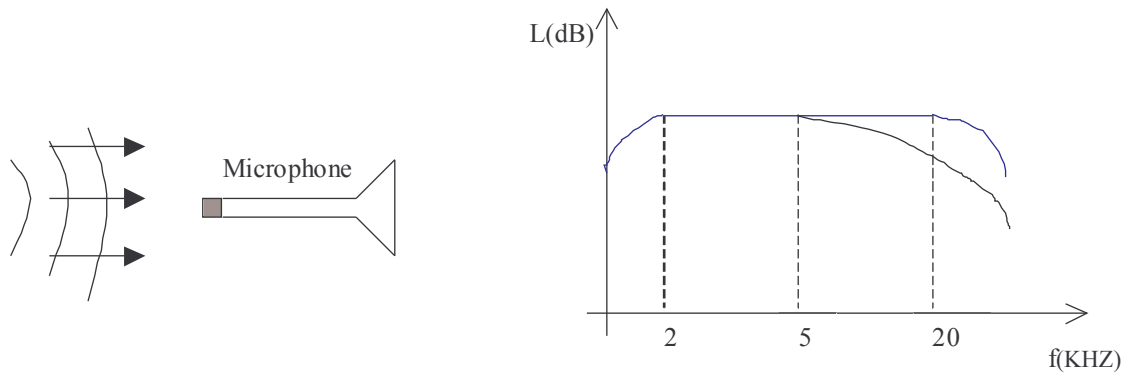
I microfoni per misure fonometriche sono di due tipi:

- per misure in " *campo libero* "
- per misure in " *campo diffuso* "

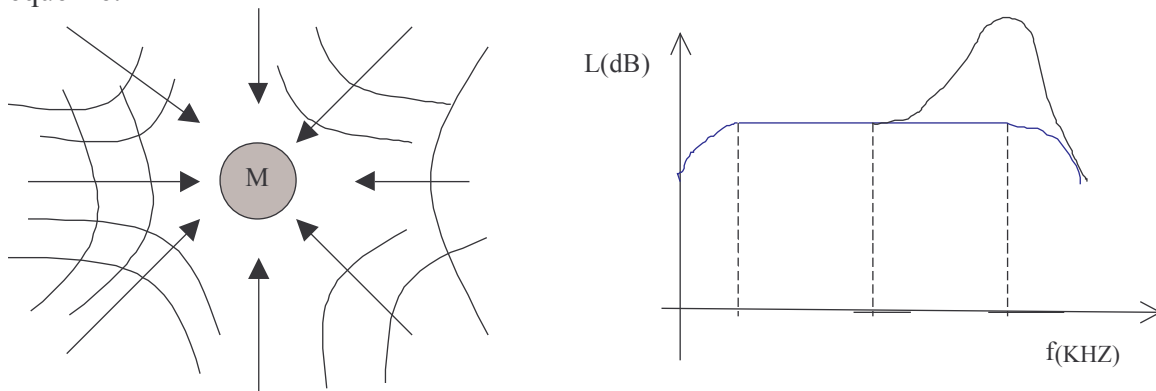
I microfoni per misure in campo libero hanno una risposta piana, quando investiti da un'onda piana progressiva di testa. Possono essere usati all'aperto, puntandoli verso la sorgente sonora oppure in tutti gli ambienti a patto che siano orientati verso la sorgente sonora predominante.

Usati scorrettamente, ossia ad esempio orientati con un angolo di 90° rispetto la sorgente, essi *sottostimano* le componenti ad alta frequenza.

Il Colore blu indica la risposta all'uso corretto del microfono.



Per poter effettuare misure in ambienti con più sorgenti acustiche con presenza di rimbombi, e quindi molto ricchi di campi sonori, sono stati inventati i microfoni a campo diffuso. Usato scorrettamente, ossia orientato verso la sorgente sonora, produce una *sovrastima* delle alte frequenze.



Avendo uno dei due microfoni, è possibile usarlo per una misura in campo opposto, apportando alcune correzioni, in base all'ambiente in cui si effettua la misura.

Dovendo infatti utilizzare un microfono per campo libero in campo diffuso, si corregge la curva tramite circuiti di compensazione interni al fonometro stesso (per esempio in quello della Bruel&Kjaer). Questi circuiti correggono la curva dei livelli tramite un'operazione di filtraggio. Per il caso contrario (microfono per campo diffuso in campo libero), è sufficiente orientare lo stesso a 90° rispetto alla sorgente sonora.

E' bene sapere che tutti questi microfoni, sono in CLASSE 1.

Questo significa che la ditta produttrice garantisce la risposta in frequenza del dispositivo entro i limiti di tolleranza indicati e previsti dalle norme.

Proprio a causa di queste caratteristiche il loro costo oscilla dalle 600-800.000 a 1.700.000 circa per i microfoni più moderni della Bruel&Kjaer. I microfoni normali, hanno costi di gran lunga inferiori a parità parecchie volte di risposta in frequenza, ma il problema è che l'esattezza di quest'ultima non è garantita dalla casa costruttrice (es. Sennheiser) e non possono essere quindi usati per delle misure di precisione ! (Trovano applicazione per esempio in campo musicale e di registrazione).

Il microfono è costituito da due membrane: una vincolata agli estremi esposta al campo sonoro, ed una sottostante libera nella quale sono presenti delle fessure per il passaggio dell'aria. Queste membrane sono sottoposte ad una differenza di potenziale ( $\Delta V$ ), detta di *polarizzazione*, solitamente di 200 Volt. Le due membrane costituiscono un " *condensatore* " .

Il microfono viene di conseguenza chiamato " microfono a condensatore " .

All'arrivo del campo sonoro, le membrane si avvicinano e si allontanano proporzionalmente alla pressione del campo, e si ha così una variazione di capacità e quindi di tensione. In serie a al

condensatore costituito dalle membrane se ne trova un altro, necessario per bloccare la componente continua e, permettere unicamente il passaggio della variazione di tensione.

Esistono in commercio anche *microfoni autopolariizzati*, che hanno la polarizzazione internamente, ma sono meno stabili e quindi meno affidabili.

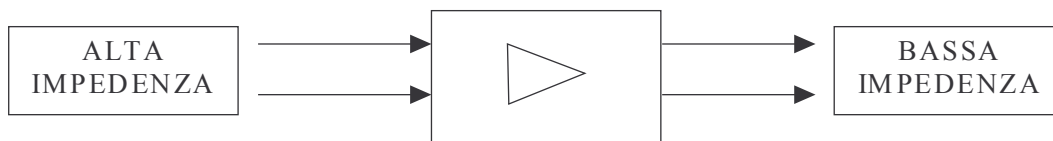
Il segnale in uscita è ora un segnale elettrico.

### Adattatore di impedenza elettrica (Impedance Converter)

Questo dispositivo non è altro che un adattatore di impedenza che consente al sistema di funzionare. Infatti il microfono a condensatore, non funziona se chiuso su di un carico, poichè si ha l'innescio del processo di scarica del condensatore stesso (attraverso la resistenza del circuito a valle), per la quale non verrebbero rilevate le variazioni di tensione.

Chiudendo invece il circuito su di una impedenza infinita o comunque molto grande, il condensatore (microfono), non si scarica e, la variazione di tensione, viene rilevata dal circuito a valle. Questi adattatori sono comunemente costituiti da transistori unipolari (JFET – transistori ad effetto di campo) a guadagno unitario, i quali “disaccoppiano” il microfono dal resto del circuito. La caratteristica di questi dispositivi è proprio quella di riportare a monte un'impedenza elevata, e a valle una impedenza bassa sulla quale può scorrere una corrente non trascurabile.

Parecchie volte erroneamente questo stadio viene chiamato “preamplificatore microfonico”; questo termine è improprio, perchè come già detto, il guadagno è unitario e di conseguenza non si ha amplificazione del segnale. E' possibile inoltre porre il microfono a distanza dal fonometro tramite l'applicazione di un cavo tra l'uscita del convertitore di impedenza e lo strumento vero e proprio.



### Attenuatore e filtri di ponderazione (Amplifer Fr. Weighting Attenuator)

Questo dispositivo consente più operazioni:

- selezionare il fondo scala desiderato
- selezionare la il tipo di ponderazione
- selezionare eventualmente l'analisi in frequenza

Selezionare il fondo scala è importante perché, un suono troppo forte, potrebbe saturare lo strumento il quale non riuscirebbe più a leggere il segnale. In questa condizione il fondo scala selezionato è troppo basso. Analogò è il discorso nel caso in cui sia stato selezionato un fondo scala troppo alto per un segnale piuttosto debole, il quale non verrebbe rilevato.

Il fondo scala va' quindi adattato in modo che il livello sonoro, rientri nel “range” di valori selezionato.

Il nostro strumento della Delta – Ohm ha un range di lavoro di 60dB per quattro fondo scala:

- 24 – 84 dB
- 44 – 104 dB per misure ambientali
- 64 – 124 dB per misure in ambienti di lavoro
- 84 – 144 dB

I più usati sono i due della fascia centrale.

Per esempio:

- il livello della voce di un professore che parla in aula con il microfono è di circa 79 – 80 dB

- il rumore di fondo causato dai soffioni di un aula di università è di circa 49 – 50 dB  
E' possibile inoltre la scelta della ponderazione ( A,B,C,D ) oppure dell'analisi in frequenza.  
Un errore in cui spesso si incorre è quello di affrontare l'analisi in frequenza del segnale già ponderato. Come visibile nello schema a blocchi, questo fonometro permette di selezionare o una o l'altra analisi del segnale, grazie ad un commutatore, che determina il collegamento del resto del sistema o con l'attenuatore, o con un sistema di filtri per l'analisi in frequenza.

### Indicatore di Overflow e Underflow (Overflow Detector)

Questo stadio indica quindi quando si presentano gli stati di “ overflow “ o di “ underflow “, in modo che l'utente venga informato, e selezioni l'esatto fondo scala per poter effettuare la misura.

### Filtri Esterni (External Filter)

Questo insieme di filtri, rende possibile l'analisi in frequenza, del segnale. Negli strumenti moderni questo blocco è interno al sistema e realizzato da circuiti elettronici. I fonometri non recenti venivano collegati invece ad un dispositivo secondario, contenente appunto i filtri (a valvole) che occupavano però molto più spazio. Ecco perchè erano collegati esternamente.

### Rivelatore di picco logaritmico (Log – Rms peak detector)

Passando attraverso questo stadio, il segnale precedentemente filtrato e predisposto per la ponderazione o per l'analisi in frequenza, viene innanzitutto *raddrizzato* (elevamento a quadrato), viene poi rilevato per farne la *media efficace (RMS)*.

Da questo stadio viene quindi operata una conversione da logaritmico ad un valore efficace RMS.

### Sistema di calcolo e di indicazione ( Calculator indicator system )

Il sistema di calcolo campiona il segnale con costante assegnata (Fast, Slow, Impulse).

Se ad esempio, la misura viene effettuata su un intervallo di tempo di 10 minuti, ed il campionamento avviene con costante “Fast”, si ha:

$$10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$\text{costante "Fast"} = 125 \text{ ms}$$

$$N = n^\circ \text{ campioni} = 600 * 8 = 4800$$

Come sarà specificato poi in seguito, il sistema fornisce in uscita il livello equivalente del campo.

Viene eseguita cioè dal sistema di elaborazione una media di tutti i valori campionati.

La stessa, viene poi aggiornata nel tempo, ed è possibile vedere il cosiddetto “running della media”, ossia, l'andamento della media nel tempo.

### Ulteriori dispositivi presenti in un fonometro

#### Display

I vecchi strumenti erano analogici (a lancetta), e anche se non erano particolarmente precisi, fornivano un'indicazione molto intuitiva del livello di rumore misurato.

Gli strumenti moderni, con display digitale, sono sicuramente più precisi, ma anch'essi riportano al di sopra del display, una “lancetta digitale” che fornisce l'indicazione analogica della stessa misura.

### Hold (Impulse only)

E' una cella di memoria che permette di mantenere la misura eseguita fissa sul display (come un tasto pause in un registratore). Nella pratica è poco usato.

### Dispositivi di uscita del segnale

Il fonometro, riporta diversi tipi di prese per poter prelevare il segnale:

- presa AC *pre-filter* (nei fonometri recenti)  
Da questa presa è possibile prelevare il segnale non ponderato, ottimo per l'analisi in frequenza.
- presa AC *post-filter* (nei fonometri recenti)  
Da questa presa è possibile prelevare il segnale già ponderato.
- presa DC (nei fonometri non recenti)  
Da questa presa oggi poco usata, era dedicata a strumenti di registrazione della vecchia generazione.
- una porta seriale per la eventuale connessione ad un Pc

Le prese AC vengono utilizzate anche per la registrazione dei campioni tramite registratori digitali, come i DAT, schede di campionamento, Pc, ecc.

### **Definizione di “ Livello equivalente (Leq) “**

Il fonometro è uno strumento che misura i valori istantanei con costante di tempo FAST (125 ms), SLOW (1 s), e IMPULSE. Non esegue quindi la misura del livello medio lineare.

In Italia, la legge obbliga alla misura di un “ **Livello Equivalente - Leq** “ definito come:

$$Leq = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T P_i^2 d\tau \right] \frac{1}{P_0^2}$$

$P_0$  – Pressione di riferimento, circa  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa

$P_i$  – Pressione istantanea del campo sonoro

Il valore a numeratore rappresenta il valore medio efficace della pressione esercitata dal campo sonoro nell'intervallo di tempo “T”. In realtà lo strumento rileva il valore campionato con una costante. Ad esempio, supponiamo di aver campionato con costante di tempo “Fast”. La misura viene effettuata otto volte al secondo ( poiché la costante vale 125 ms ).

Ora per determinare il numero livello equivalente (Leq), nella pratica viene utilizzata la formula:

$$Leq = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum_{i=1}^N N_i 10^{\frac{L_i}{10}}}{N} \right]$$

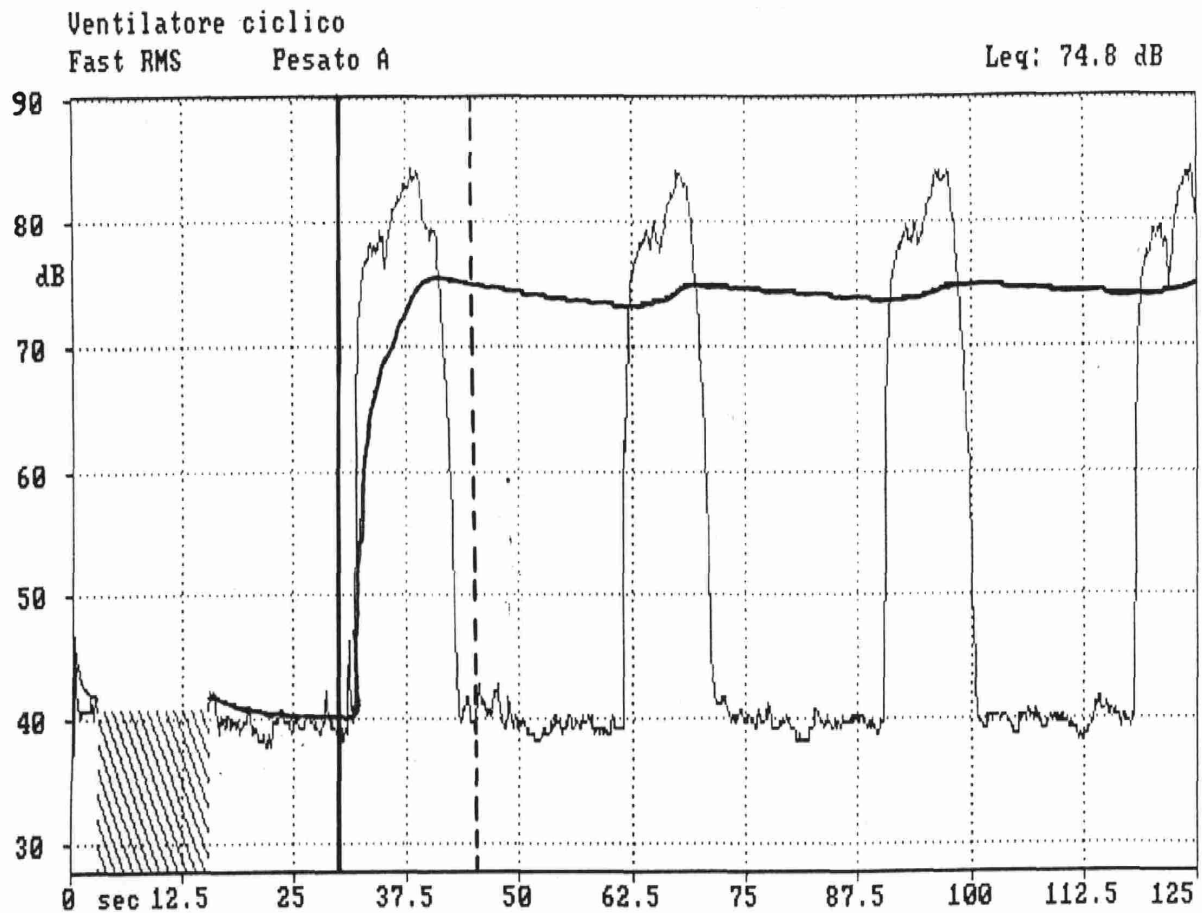
$L_i$  – Livello campionato (dB)

$N_i$  – n° di campioni rilevati per il livello  $L_i$

Esempio di valutazione di livello equivalente (Leq)

Si pensi per un attimo ad un ventilatore per impianti di areazione che si aziona e si spegne con continuità nel tempo. Il campionamento del rumore prodotto da questa macchina, viene campionato con costante "Fast" e ponderato "A". Nell'esempio vengono visualizzati i grafici del livello sonoro nel tempo, e del livello sonoro equivalente.

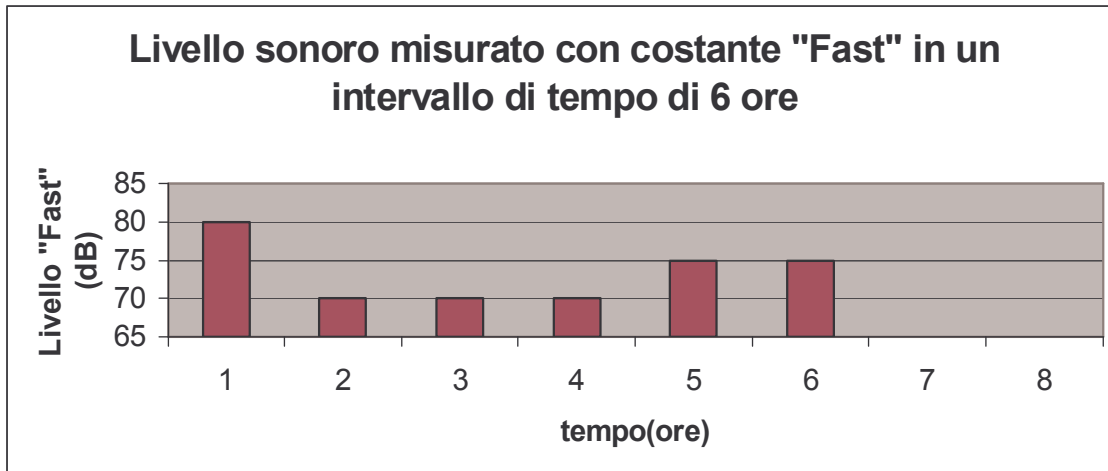
### MISURA NEL TEMPO





### Esempio di calcolo di Livello equivalente (Leq)

In questo esempio viene monitorato il livello sonoro con costante "Fast", per un lasso di tempo di sei ore.



Allora quanto vale il livello equivalente complessivo ?

Riportiamo il ragionamento in minuti.

Quindi:

6 h = 360 min

$\tau = 125$  ms (costante Fast)

n° campioni per ora = 480

N = n° totale campioni = 360\*480

$$Leq = 10 \log_{10} \left[ \frac{480(60 * 10^8 + 180 * 10^7 + 120 * 10^{7.5})}{480 * 360} \right] = 75.1 dB(A)$$

### **Definizione di Livello di esposizione personale "Lep"**

Viene ora introdotto il concetto di Livello di esposizione personale o "Lep".

La legge italiana, infatti, valuta il livello equivalente di rumore a cui una persona si sottopone, nell'arco di una giornata lavorativa. Come giornata lavorativa convenzionale vengono considerate otto ore. Questo nuovo concetto si può chiarire con un esempio.

Se in una fabbrica ci sono forti rumori, non è che necessariamente detto che debba essere chiusa perchè mette in pericolo l'udito di chi vi lavora. Infatti non è rilevante il livello sonoro di in sé, ma il *prodotto* dello stesso per il tempo di esposizione dei lavoratori.

E' stato così introdotto il "**Livello di esposizione personale – Lep**".

Il "Lep" viene sempre riferito alle 8 ore (giornata lavorativa convenzionale).

Così facendo è possibile confrontare profili di lavoratori differenti tra di loro, e regolare tramite una legge il livello acustico negli ambienti (leggi 626, 627, ecc..).

Il livello di esposizione personale è definito come:

$$L_{ep} = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum_{i=1}^N N_i 10^{\frac{L_i}{10}}}{N_h * 8} \right]$$

$N_h$  – n° di campioni in un'ora

8 – n° di ore della giornata di lavoro convenzionale

Il “Lep” è il livello equivalente di campo acustico a cui viene sottoposto un soggetto nell'arco della giornata convenzionale di lavoro. Il “Lep” coincide con il “Leq” se esso viene espresso su 8 ore:

$$L_{ep} = Leq \quad \text{se } h = 8 \quad (\text{giornata lavorativa convenzionale})$$

### Esempio 1

Facendo riferimento all'esempio precedente, proviamo a calcolare il livello di esposizione personale :

8 h = 480 min

$$Leq = 10 \log_{10} \left[ \frac{480(60 * 10^8 + 180 * 10^7 + 120 * 10^{7.5})}{480 * 480} \right] = 73.85 \text{ dB}(A)$$

Come visibile,  $L_{ep} < Leq$  poiché si è tenuto conto del tempo relativo alla giornata di lavoro convenzionale.

### Esempio 2

Si consideri, uno studente che sta in facoltà per dieci ore. Dall'esempio della valutazione del livello equivalente prodotto da un ventilatore che si accende e si spegne, supponendo che il ventilatore si trovi nell'ambiente in cui si trovano gli studenti, si determini il livello di esposizione personale di uno studente.

$Leq = 75 \text{ dB}(A)$

Livello equivalente del ventilatore

$T = 10 \text{ h}$

Tempo di esposizione dello studente

$$L_{ep} = Leq + 10 \log_{10} \left[ \frac{T}{8} \right] = 75 + 10 \log_{10} \left[ \frac{10}{8} \right] = 76.25 \text{ dB}(A)$$

### Misura base con il fonometro

La misura base con un fonometro consta dei tre fasi :

- Calibrazione
- Regolazione
- Misura

La calibrazione è un procedimento che permette di tarare il fonometro in modo che rilevi dei valori corretti. Questo è possibile grazie al “calibratore” il quale ha un valore preciso e, applicato in testa al microfono, deve far visualizzare sul display il valore prescritto sulla sua targhetta.

Se questo non avviene, è possibile calibrare lo strumento tramite una apposita vite (per i fonometri non recenti) o un regolatore elettronico (per i fonometri più recenti).

La regolazione è la fase in cui si setta lo strumento per compiere una misura ben determinata in un particolare ambiente. Vengono selezionati ad esempio il fondo scala, la ponderazione, ed eventualmente si predispone anche l’analisi in frequenza. Si cerca inoltre di posizionare il microfono distante dal fonometro stesso, per non perturbare la misura.

La misura è la fase in cui vengono rilevati i valori di livello di campo sonoro nell’ambiente in questione. Si fa partire lo strumento per dare inizio alla misura.

Ha così rilevanza la storia temporale nell’ambiente in cui ci troviamo.

### Riferimenti al “Decreto Misure di marzo ’98 “

La legge italiana per regolare il livello acustico ambientale, prevede l’inserimento di tre correzioni che vengono immesse sotto forma di costanti nel calcolo del “ livello ambientale –  $L_{AMB}$  “. .

E’ possibile inoltre consultare il sito internet :

[www.assoacustici.it](http://www.assoacustici.it)

per avere ulteriori informazioni sull’argomento (decreto marzo ’98).

Queste correzioni hanno la particolarità di essere assegnate o non assegnate proprio perchè devono soddisfare condizioni ben precise sulle quali non esistono mezze misure.

Il livello sonoro ambientale vale:

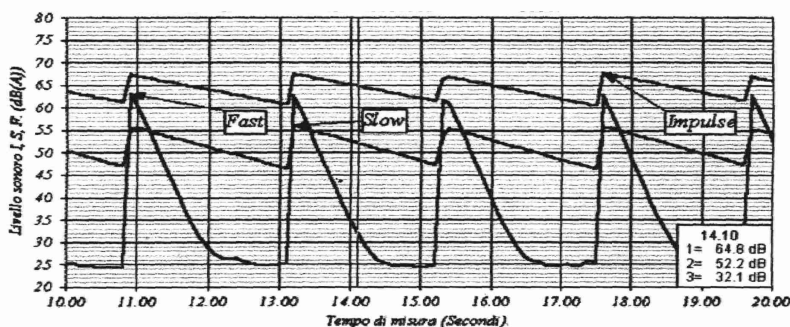
$$L_{AMB} = L_{EQ} + C_1 + C_2 + C_3$$

Descrizioni delle correzioni:

- $C_1$     Correzione per **componente impulsiva**
- $C_2$     Correzione per **componente tonale**
- $C_3$     Correzione per **componente a bassa frequenza**

### Correzione per componente impulsiva

#### **Verifica Componente Impulsiva**



Un suono viene definito “*impulsivo*” quando vale:

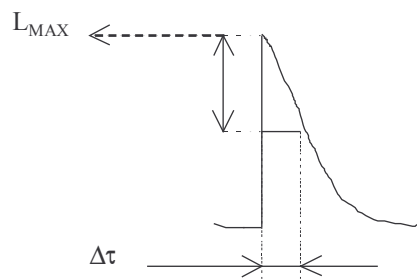
$$1^{\text{a}} \text{ condizione : } L_{\text{MAX,IMPULSE}} - L_{\text{MAX,SLOW}} > 6 \text{ dB}$$

Se si verifica la disequazione il fattore di correzione  $C_1$  diventa :  $C_1 = 3 \text{ dB(A)}$

Accade però che la voce umana soddisfi talvolta questa condizione.

E' stata perciò introdotta una seconda condizione:

**2<sup>a</sup> condizione :** *Abbassandosi di 10 dB, partendo dal picco con costante “Fast”, la durata dell’impulso ( $\Delta\tau$ ) non deve essere superiore ad un secondo  $\Delta\tau < 1$*



E' anche vero però che l'evento deve avvenire con una certa frequenza nel tempo, per essere considerato effettivamente impulsivo. Viene perciò introdotta un'ultima condizione:

**3<sup>a</sup> condizione :** *l'evento deve ripetersi almeno 10 volte all'ora di giorno almeno 2 volte all'ora di notte*

La legge prevede che la misura venga effettuata da sullo stesso campione audio.

Degli strumenti in commercio uno solo riesce a misurare contemporaneamente con costanti differenti. E' uno strumento prodotto dalla Larson – Davis, ovviamente molto sofisticato e di conseguenza molto costoso.

Per poter effettuare comunque rilevamenti di questo tipo, è possibile utilizzare più strumenti (tecnica poco usata), oppure la legge consente di registrare il suono a patto che non venga persa nessuna porzione del contenuto informativo ad esso associato.

E' quindi consentito utilizzare sistemi di registrazioni digitali, quali i DAT, le schede di campionamento per Pc (minimo a 16 bit), CD – Recorder, ecc.

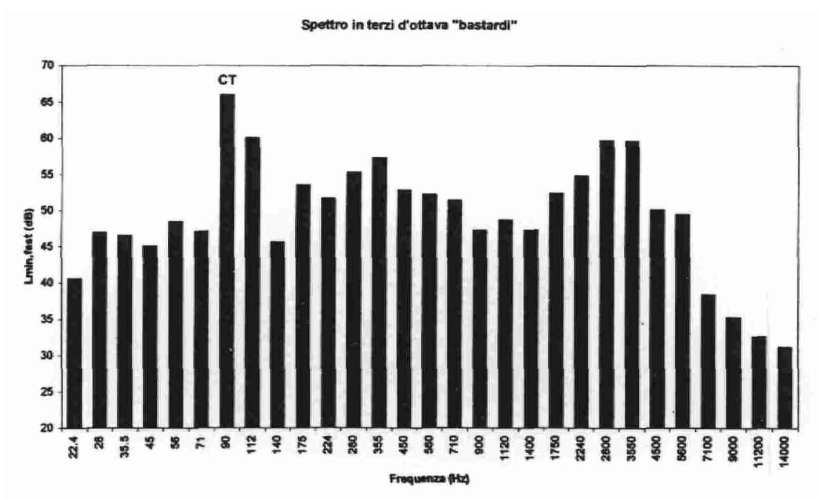
Non è invece consentito, l'uso di registratori per mini – disk ad esempio, perché tralasciano una parte delle frequenze, che in un determinato istante non vengono avvertite dall'orecchio umano, allo scopo di comprimere il file.

### Correzione per componente tonale

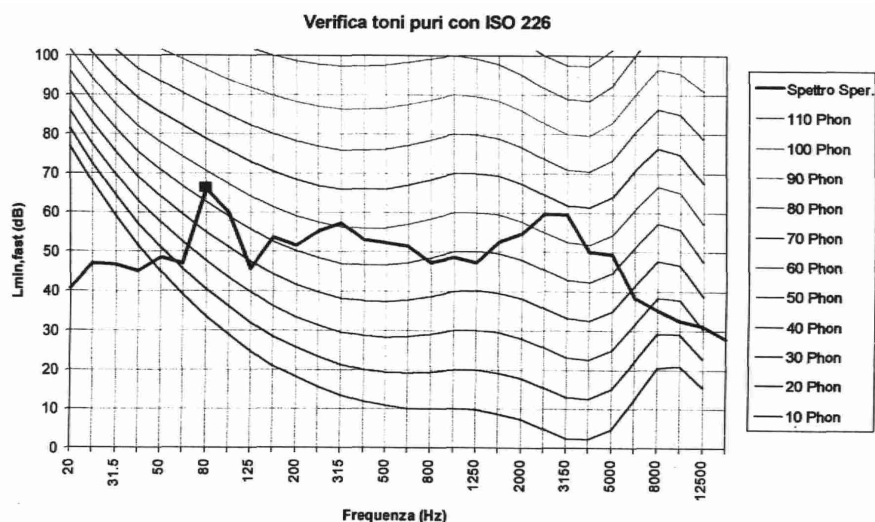
La legge italiana richiede un'analisi in frequenza in terzi d'ottava e si esprime dicendo che:

**1<sup>a</sup> condizione :** *si verifichi che il livello sonoro minimo Fast di una banda non superi di oltre 5 dB i livelli (minimi Fast) delle due bande adiacenti*

Dal grafico è possibile vedere che ad esempio la componente a 90 HZ (contrassegnata con CT – componente tonale) supera di oltre 5 dB le sue adiacenti.



Occorre verificare inoltre che la componente tonale non “svetti” sulle altre con valore in Phon (normativa ISO 226). Si sovrappone il diagramma delle “isofonoche” (diagramma di Fletcher e Munson) alla curva dei livelli, e si ricerca l’isofonica toccata dallo spettro in esame.



Si noti che la componente a 90 Hz non “svetta” sul diagramma delle isofoniche. Non è quindi da penalizzare. Viene aggiunta perciò una ulteriore condizione:

**2<sup>A</sup> condizione :** *verifica toni puri con ISO 226 se l’isofonica tocca il picco in esame si imposta C<sub>2</sub> = 3 dB (A)*

Questa analisi viene fatta con dei calcolatori, mediante programmi più o meno sofisticati.

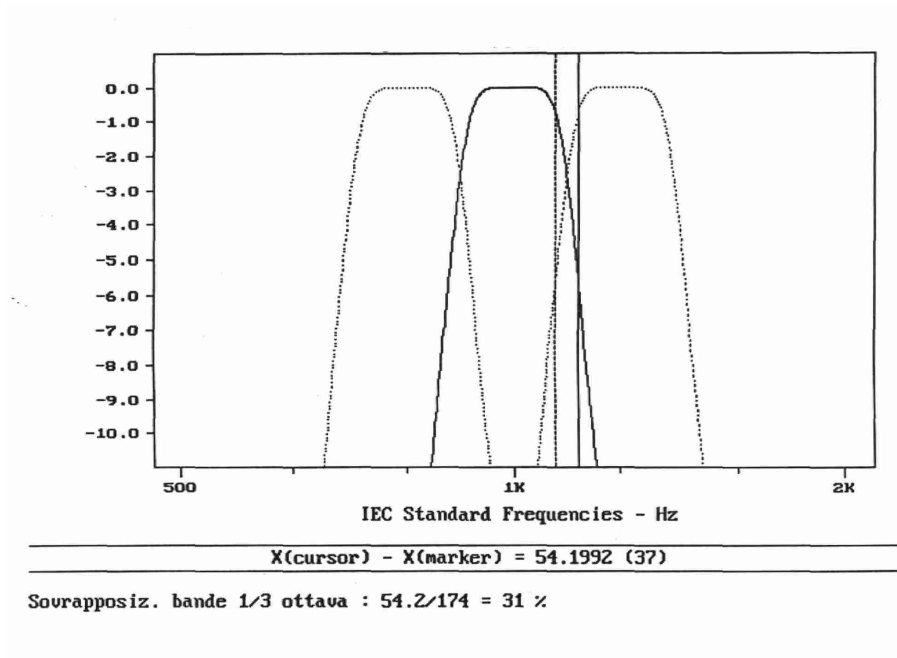
Lo spettro di potenza ricavato, è uno spettro in cui ad ogni valore di frequenza abbiamo dovuto tenere memoria del minimo “Fast”.

Per essere “tonale”, la frequenza in questione deve persistere nel tempo in modo costante, ossia non deve essere un evento raro o che si verifica con una probabilità molto bassa.

Essendo inoltre trenta le bande della misura in 1/3 di ottava, il rilevamento deve essere fatto trenta volte, una per ogni banda dello spettro.

“ Sovrapposizioni di banda “

Inoltre può capitare che si verifichino delle “*sovrapposizioni di banda*“. Ossia è possibile che si ottengano delle sovrapposizioni tra le bande dello spettro relativo all ‘analisi in terzi d’ottava.

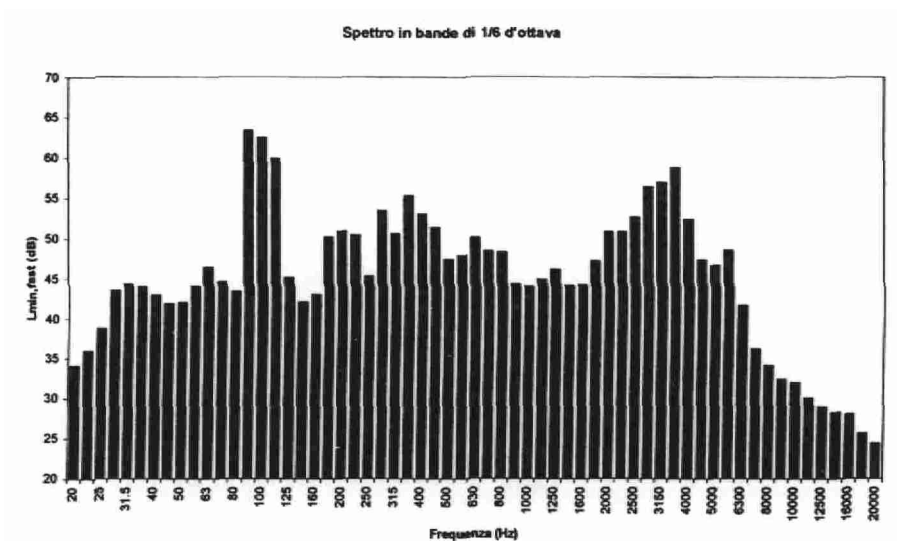


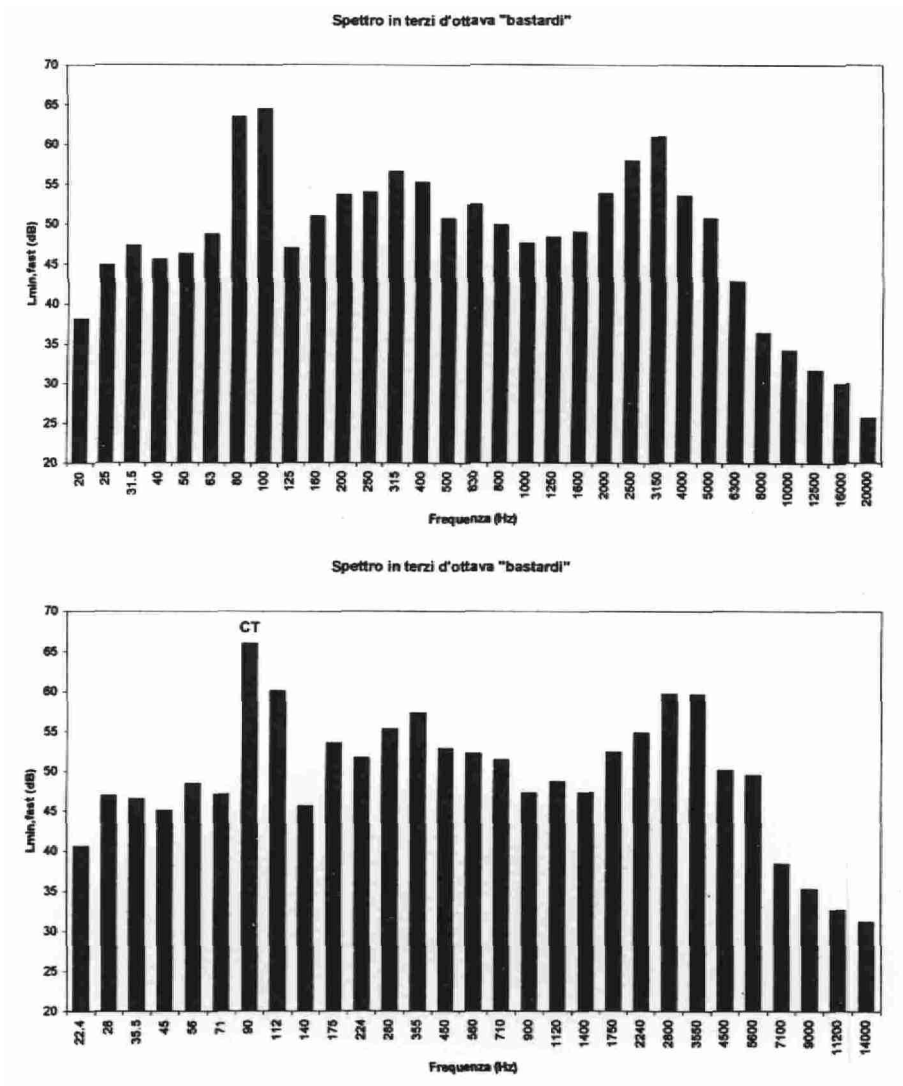
Questo potrebbe far si che alcune componenti tonali vengano nascoste.

Si passa quindi ad un’analisi in 1/6 d’ottava ,la quale viene viene eseguita con “*frequenze in centro banda normalizzati*” ,(es.normativa IEC).

Unendo le bande a due a due sfalsate è possibile ricavare due spettri relativi ai minimi in terzi d’ottava “*bastardi*” i quali non possono più nascondere frequenze tonali.

Vengono quindi riproposti i grafici con gli spettri prima in 1/6 d’ottava, e poi i relativi due in 1/3 d’ottava.





### Correzione per componente a bassa frequenza

Nel periodo notturno, è possibile applicare una ulteriore penalizzazione in caso si verifichi la seguente condizione:

*Se nel periodo notturno si verifica che la componente tonale è a frequenza minore o uguale di 200 Hz viene applicata la penalizzazione :  $C_3 = 3 \text{ dB(A)}$*

### Analisi statistica della misura fonometrica

#### Premessa

Non ha senso, effettuare una analisi in frequenza di segnali che non sono in valore Fast (125 ms), poiché la "varianza" sarebbe artificialmente ridotta. Partendo da questa affermazione e tenendo conto delle normative (IEC) introdotte dalla legge, si può procedere ad un'analisi in frequenza, che viene eseguita da strumenti prodotti da ditte come la Breul & Kjaer e la Larsen.

Pensiamo ora al grafico del livello sonoro equivalente nell'arco di un periodo di osservazione (piuttosto lungo, per es. 24 ore), in cui vengono visualizzati il tempo in ascissa e il livello equivalente in dB(A) in ordinata.

### 1<sup>A</sup> Formulazione

*Qual'è la percentuale di tempo in cui si è verificato un livello (compreso in un certo range) ?*

Sul grafico è possibile vedere per quanto tempo, si sono presentati determinati livelli.

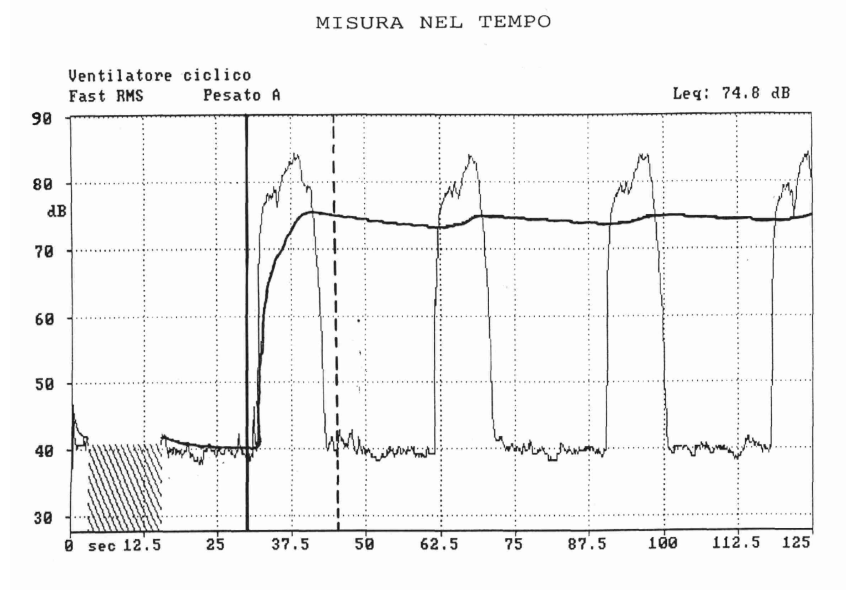
Questo grafico prende il nome di “Caratteristica Distributiva”.

In ordinata al presente grafico si trova il tempo statistico (o la frequenza statistica) ed in ascissa, il livello sonoro Fast.

Se viene applicato questo concetto su misure di eventi lunghi nel tempo, (ad esempio l'osservazione di un ventilatore che si accende e si spegne come in precedenza), è possibile vedere l'andamento del livello equivalente, in modo molto rapido, nonostante il tempo trascorso per la misura sia molto.

Il livello equivalente si ricava dalla formula:

$$Leq = 10 \log_{10} \left[ \sum t\% \cdot 10^{\frac{L_i}{10}} \right]$$



### 2<sup>A</sup> Formulazione

*Per quanto tempo si supera un determinato livello ?*

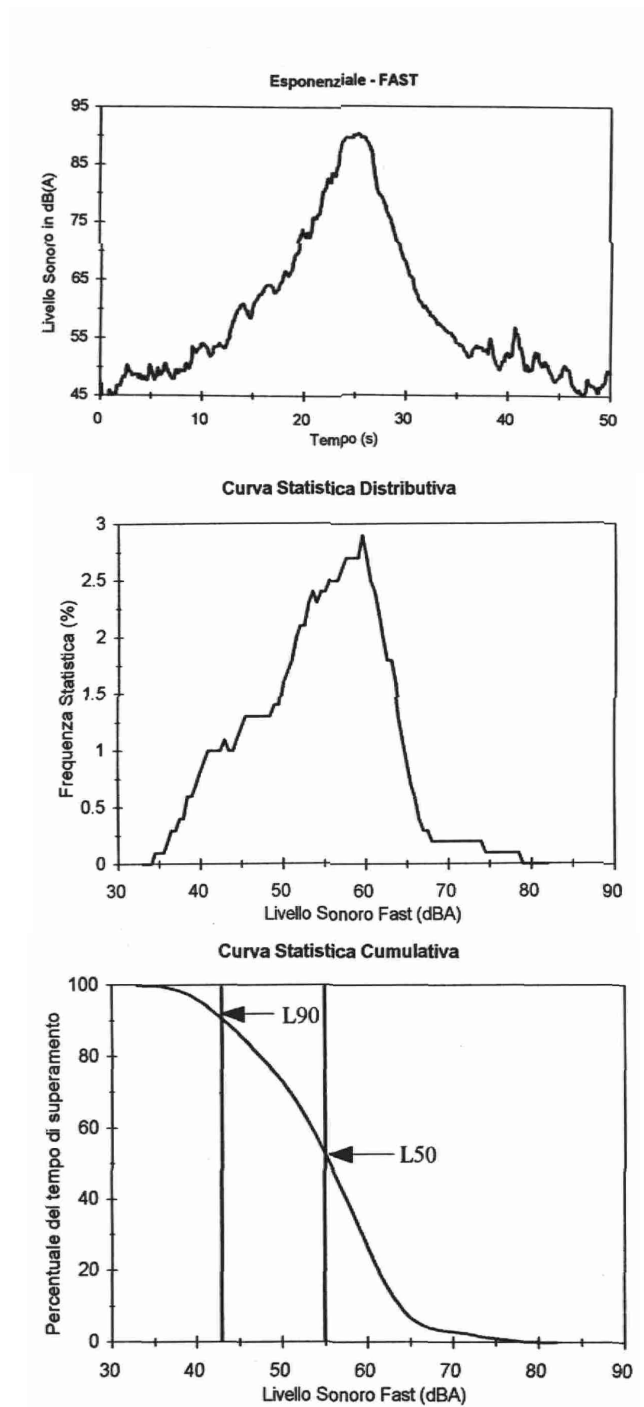
Questa seconda formulazione è in realtà un'integrazione del grafico precedente.

In ordinata al grafico attuale si presenta la percentuale di tempo di superamento del livello, mentre in ascissa si trova ancora il livello sonoro Fast.

questo grafico prende il nome di “Curva Statistica Cumulativa”.

Viene proposto l'esempio del livello sonoro al passaggio di un aereo. E' possibile vedere i tre grafici fino ad ora presentati.





Il vantaggio di questo tipo di rappresentazione, è quello di non avere bisogno di una grande capacità di memoria, poiché indipendente dal tempo di misurazione.

## Definizione di livelli percentili

Il “ Livello Percentile “ altro non è che la percentuale di tempo per cui vengono superati determinati livelli sonori nella distribuzione cumulativa.

I livelli percentili più classici sono:

- $L_{MINIMO}$
- $L_{99}$
- $L_{95}$
- $L_{90}$
- $L_{50}$
- $L_{10}$
- $L_5$
- $L_1$
- $L_{MAX}$

Una vera analisi statistica si compie con una misura di 70 – 80 livelli e con la realizzazione grafica della distribuzione statistica (cumulativa).

Gli strumenti in commercio, permettono di conoscere soltanto cinque livelli percentili a scelta più  $L_{MIN}$  ed  $L_{MAX}$  . Questi dati possono essere sufficienti per tracciare una distribuzione statica.

## Conclusione

Sono state espresse alcune regole per effettuare rilevamenti acustici in vari ambienti, in cui si rende necessario misurare il livello di intensità sonora, ed è stato introdotto il fonometro, strumento dedicato appunto a questo tipo di misure.

È possibile comunque trovare parecchie informazioni sul sito internet sopra menzionato.