



Appunti di acustica pratica N°10.- 20140114

## Uso delle costanti di tempo nella tecnica fonometrica. -



B. Abrami

[bruno.abrami@tin.it](mailto:bruno.abrami@tin.it)

**1.- Premessa generale.-** Nell'estate del 2010, avendo litigato con la fidanzata, me ne andai al mare da solo. Trovatomi con una inaspettata disponibilità di tempo, mi proposi di scrivere un libro che chiarisse i concetti legati alla misura di suoni e rumori, e che cercasse di far capire cosa vuol dire usare un fonometro. La mattina scrivevo, il pomeriggio al mare, la sera a cantare e suonare la chitarra con gli amici triestini e dalmati. In quindici giorni arrivai fino al capitolo dei filtri per l'analisi in frequenza e là lo ho lasciato. Ho fatto la pace, pace che dura ancora e spero che duri, anche se a detrimento del libro. Mi sembra peraltro, nei recessi del mio essere, che le cose scritte reclamino la luce, e luce sia! Pubblicherò, piano, piano, i vari capitoli come "appunti di acustica pratica". Questo è il terzo della serie, non necessariamente nell'ordine dei capitoli.

Nei miei seminari viene dato ampio spazio alla sperimentazione - esperienza - dimostrazioni. Le conoscenze di acustica generale vengono date per scontate, se ne parla unicamente nei seminari sul rischio di esposizione perché gli operatori del settore si devono confrontare con più discipline (campi elettromagnetici, radiazioni ottiche, esposizione termica, ecc) e sono necessariamente, data l'ampiezza della scienza necessaria, "sprovvoluti" in tutto. Bisogna fornir loro una base culturale minima ma completa ed efficiente allo scopo. I partecipanti ai seminari di acustica e vibrazioni ambientali sono soggetti dedicati alla materia, sono prevalentemente TCAA, e dispongono delle nozioni generali perché hanno partecipato ad una varietà di corsi introduttivi. Le nozioni fornite però sono generalmente insufficienti a far capire cosa sia un fonometro e come si arrivi ai risultati cercati nelle fasi operative; cose che dovrebbero essere l'A,B,C, di ogni professionista. La pubblicazione dei pezzi del mio "libro" mai nato che seguiranno, vanno viste come un sussidio didattico, la conoscenza del loro contenuto renderà più proficua la partecipazione ai miei seminari.

**2.- Premessa al presente.-** Nella pratica delle misure di livello sonoro o di intensità sonora si ha la necessità di definire l'ampiezza delle stesse. Per far ciò si hanno a disposizione un certo numero di opzioni il cui senso non sempre è chiaro agli utilizzatori di fonometri ed analizzatori, con questa nota cercherò di rendere più famigliari i concetti e i fatti storici che hanno portato alla necessità di così tante modalità per rappresentare l'ampiezza dei livelli sonori. Rileggendo questo "capitolo" mi sono reso conto di essermi fatto prendere, qua e là, dai ricordi, sarà che stò invecchiando. Lascio la cosa come è venuta perché tutto sommato non mi dispiace, se qualcuno ne fosse infastidito gli chiedo anticipatamente di essere indulgente con me.

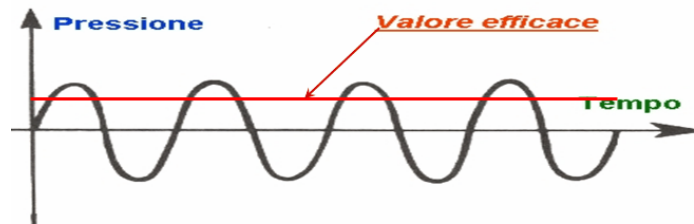
**3.- Il valore di picco e valore efficace.-** Se osserviamo l'andamento più semplice (sinusoidale) dei valori istantanei della ampiezza della pressione acustica vediamo che il suo valore istantaneo ( $p_{(t)}$ ) cambia da un istante a quello successivo seguendo, nel disegno, una legge sinusoidale:  $p_{(t)} = P_{\max} \sin \omega t$ . Il momento che più si presta, così a occhio, a definirne l'ampiezza è il valore massimo, positivo o negativo, che chiamiamo il valore di picco. Tale valore però dura un tempo molto limitato della storia di questo segnale e non è quindi rappresentativo del suo contenuto di potenza.



Se vogliamo avere una rappresentazione del contenuto in potenza del segnale dobbiamo innanzitutto elevare al quadrato i valori istantanei (ricordate?...  $W \propto x^2$ ... la potenza è proporzionale al quadrato dell'ampiezza) e otteniamo così una sequenza di semisinusoidi al quadrato, tutte positive, la radice della media ( $1/T$ ) di questa sequenza di semisinusoidi al quadrato ci dà quello che chiamiamo: il valore efficace ( $p_{eff.}$ ). Nella pratica è invalso l'uso di riferirsi al suo acronimo inglese che è rms, che sta per "root mean square" o radice della media dei quadrati, per cui scriverò ( $p_{rms}$ ):

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} p_{(t)}^2 dt}$$

Il valore efficace è l'equivalente continuo energetico di una ampiezza variabile. In elettrotecnica viene definito come quel valore efficace di una corrente alternata che attraversando una resistenza provoca lo



stesso aumento della temperatura, nello stesso tempo, di una corrente continua di egual valore. Non so come esprime con altrettanta chiarezza il concetto applicandolo all'acustica ma.... si accettano suggerimenti.

La concettualità generale che sottende l'idea di valore efficace è che, per un dato fenomeno, comunque variabile il suo valore efficace è un solo numero ( $\int_{-\infty}^{+\infty}$ ). Se troviamo più numeri, in misure successive, per

la stessa sorgente, non abbiamo misurato il vero valore efficace, ovvero non abbiamo scelto un tempo di integrazione sufficientemente lungo.

Valori di picco o efficaci, fonometricamente parlando, li esprimiamo come livelli attraverso l'uso dell'algoritmo del decibel per cui il valore efficace diventa il livello efficace o livello "equivalente continuo" indicato come "Leq":

$$Leq = 10 \log \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{p_{(t)}^2}{p_0^2} dt; (dB)$$

**4.- Il fattore di cresta.** - Il fattore di cresta ( $f_c$ ) esprime il rapporto fra valore di picco ( $p_{picco}$ ) e valore efficace ( $p_{rms}$ ) ed è una grandezza specifica della forma d'onda:

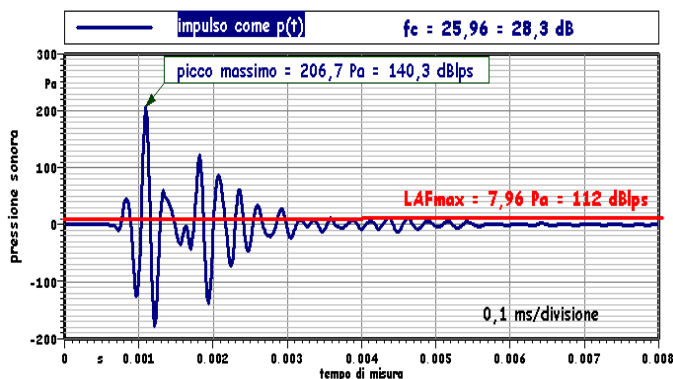
$$f_c = \frac{p_{picco}}{p_{rms}}$$

Per un segnale sinusoidale il valore efficace è 0,707 del valore di picco, per cui, per un valore di picco di 1 Pascal avremo 0,707 Pascal di valore efficace. Conoscendo il valore efficace risaliremo al picco moltiplicandolo per 1,41. Ora.....  $(20 \log 0,707)$  fa - 3,0dB; e  $(20 \log 1,41)$  fa 3,0dB; per cui possiamo dire anche che il valore efficace di una sinusoide, espresso come livello, è di 3 decibel inferiore al picco e viceversa. Ad esempio se dopo aver fatta la calibrazione (il segnale del calibratore è sempre sinusoidale) del fonometro, passate dalla costante "Fast" alla costante "Picco", e attivate il calibratore, troverete che il livello aumenterà di  $3,0dB \pm 0,2dB$ , dove  $\pm 0,2dB$  è l'errore di precisione (l'instabilità intrinseca) di un fonometro classe 1. Ovviamente, per questa verifica, il fonometro ed il calibratore devono essere

appoggiati sul tavolo e non tenuti in mano, il tremolio della mano farebbe vibrare il calibratore e vedreste il livello di picco andare a spasso. All'estremità opposta del segnale sinusoidale abbiamo i segnali di tipo impulsivo per i quali il fattore di cresta può essere sensibilmente più alto.

**5.- Campo di misura e portata.-**

Il campo di misura, per un fonometro, definisce da quale livello minimo a quale livello massimo si sarà in grado di misurare. Il campo di misura dipende dal tipo di fonometro e dal tipo di microfono impiegato; tipicamente può essere da 28<sup>1</sup> a 140 dB(A). La portata dipende dalla dinamica del convertitore analogico/digitale, che oggi come oggi, è tipicamente di 110 dB; per cui le portate di misura, all'interno del campo di misura, saranno tipicamente 0-110 dB<sup>1</sup>; 30-140 dB<sup>1</sup>. I rivelatori di valore efficace con cui erano equipaggiati i fonometri fino a circa 30 anni fa potevano fornire un valore efficace corretto entro un certo fattore di cresta massimo: ad esempio 10dB o 3,16 volte o 20 dB o 10 volte, superato quel fattore di cresta fornivano un valore rms inferiore al reale. Nei fonometri moderni il fattore di cresta, per bassi livelli, è uguale alla dinamica della portata utilizzata, 80 o 110 dB. A fondo scala<sup>3</sup> il fattore di cresta massimo misurabile è 3,0dB. Un fonometro dichiarato per arrivare ad un fondo scala di 140,0dB potrà misurare un picco massimo, prima del sovraccarico di 143,0 dB. E' chiaro quindi che il livello di fondo scala efficace, si riferisce unicamente ad un segnale sinusoidale.



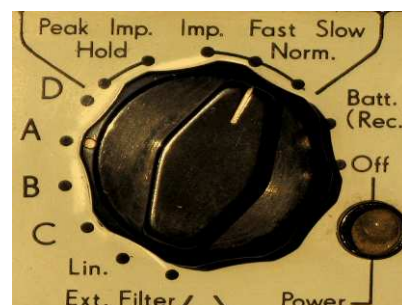
Esempi di fattori di cresta per sorgenti comuni (livelli espressi in decibel)							
Sorgente	Fast (A)	Picco (A)	Δ	Sorgente	Fast (A)	Picco (A)	Δ
Calibratore	94	97	3	Aspirapolvere a 1,5 m	81	93	12
Traffico autoveicolare 50 km/h	68	76	8	Stanza compressori (aria)	92	104	12
Rasoio elettrico a 2,5 m	92	107	15	Impulso di pag.11	112	140,3	28,3
Ventilatore industriale	83	93	10	Pistola 9mm, 5m di lato	113	146	33

Con un segnale come quello in alto a dx, ma ripetitivo (una sequenza di impulsi), con un fattore di cresta di 28,3 dB (25,96 volte), con un livello di picco di 143,0 dB potremmo misurare un livello equivalente di massimo di 143-28,3 = 114,7 dB invece dei 140 misurabili con segnale sinusoidale.

**6.- Misurare il livello efficace.-** Il fonometro offre un catalogo di modi per descrivere i livelli: picco (Peak), impulsivo (Imp.), veloce (Fast), lento (Slow), livello equivalente (Leq), livello di un singolo evento (SEL).

Ce n'è abbastanza da perdersi, e difatti i più ci si perdono. Per incominciare a fare chiarezza bisogna partire facendo delle distinzioni di funzione e storiche.

- **Peak** è il massimo livello istantaneo della pressione ( $p_t$ ) nel tempo di misura, positivo o negativo che sia, ed è anche l'unico valore di  $p_t$  del catalogo;
- **Imp, Fast & Slow**<sup>4</sup> sono medie esponenziali, ovvero livelli efficaci calcolati in media mobile (Impulse con qualche riserva) e il loro tempo di media è normalizzato;
- **Leq** è una media a tempo definibile dall'operatore, la chiameremo una media lineare a tempo di integrazione libero, dal tempo  $T = 0$  che corrisponde al "Run" del fonometro, al tempo  $T =$  "qualunque tempo", che corrisponde allo "Stop" dell'operatore. Il tempo di integrazione dipende completamente dalle scelte dell'operatore dobbiamo quindi riscrivere: .



$$Leq = 10 \log \frac{1}{T} \int_{Run}^{Stop} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

Da Leq il tempo viene eliminato (1/T) per cui se si vuole dare una dimensione energetica al tutto, occorre sempre specificarlo: **ogni** misura deve essere presentata come LAeq,T dove "T" è il tempo di integrazione o di misura (T = t<sub>Stop</sub> - T<sub>Run</sub>). Leq è nulla, Leq,T è energia.

- **SEL** è un modo per rappresentare il contenuto di energia (  $E \propto p^2 \cdot t$  ) di un evento sonoro, normalizzando il tempo (t) ad 1 secondo. Il SEL (Single Event Level) risponde alla domanda: "quale sarebbe il LPS<sub>rms</sub> di un evento (transito, scoppio e simili) se la sua energia fosse rilasciata in un secondo esatto? Ovvero:

$$SEL = 10 \log \frac{1}{1_{sec}} \int_{Run}^{Stop} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

Il vantaggio di avere una quantità di energia nota per un evento (  $E = p^2 \cdot t_{1sec}$  ) è che la possiamo spalmare su qualunque tempo ottenendo il livelli equivalente continuo. Ad esempio: un transito ferroviario produce un SEL = 110 dB(A), abbiamo un transito all'ora, quale sarebbe il LAeq,1h, se noi stessi li a misurarli per un ora?

Sarebbe: LAeq<sub>evento</sub>, T = SEL<sub>evento</sub> - (10logT) dove T viene espresso in secondi.

$$LAeq_{evento}, 1h = 110 - (10\log 3600) = 74.44 \text{ dB}$$

La scelta della modalità temporale con cui rappresentare l'ampiezza del segnale corrisponde ad una esigenza funzionale: perché vogliamo sapere l'ampiezza del livello della pressione o della intensità sonora?

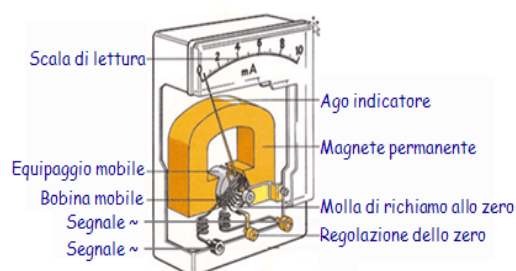
- Se vogliamo sapere cosa arriva alla coclea (orecchio interno) indipendentemente da quello che è l'esperienza sonora (sistema nervoso centrale), oppure vogliamo sapere se un'esplosione possa produrre la rottura di vetri, sceglieremo la modalità di "picco" ovvero il massimo livello istantaneo di (p<sub>(t)</sub>).
- Se vogliamo avere una descrizione dell'andamento del volume sonoro degli eventi, così come la sperimentiamo noi, sceglieremo la modalità "Fast".
- Se vogliamo semplicemente avere una lettura istantanea stabile di un segnale continuo ma instabile o di ridurre la frastagliatura di un sorvolo, sceglieremo la modalità "Solw".
- Se vogliamo un livello efficace proiettabile quale che sia la dinamica dei livelli sonori useremo Leq ma prima dobbiamo porci la seguente domanda: "io misuro il livello equivalente dalle 15.00 alle 15.10 e se lo rimisurassi dalle 18.00 alle 18.10 (abbiamo adottato un tempo di misura di 10'), troverei esattamente lo stesso livello, fatta salva l'instabilità intrinseca di un misuratore classe 1 di ±0,2 dB?". Due possono essere le risposte a questa domanda: 1) misura a stabilizzazione di Leq; 2) scegliere un tempo, ripetere più misure e se il loro risultato si discosta dalla instabilità intrinseca, aumentare il tempo e ripetere l'esperimento.
- Se vogliamo avere una misura per un evento che ci consenta la spalmanibilità su qualunque intervallo di tempo per averne un LAeq,T; useremo SEL.

La si può mettere come si vuole, ma è evidente che la scelta di un tempo di integrazione corrisponde a "ponderare" la modalità di trattamento temporale ai fini del motivo per il quale cui si cerca un risultato, per cui d'ora innanzi parleremo di scelta della "ponderazione temporale".

**7.- La ponderazione temporale Fast.** - Storicamente è la prima a comparire sulla scena della fonometria; quando Arnold Petersen (General Radio) e Leo Beranek (MIT) al momento della creazione al tavolino del



primo fonometro, il GR 559-A, nel 1933, si dissero che lo strumento indicatore, che era necessariamente a bobina mobile, doveva essere velocissimo perché la risposta uditiva agli eventi sonori è rapidissima. La GR fece costruire un galvanometro con un magnete molto grosso (alta densità di flusso magnetico  $\Phi$  e quindi un'accelerabilità elevata dell'equipaggio mobile), un equipaggio mobile leggerissimo e una ago indicatore sottile in alluminio. Il





risultato di questo lavoro fu una costante di tempo di 125 millisecondi. Dovevano passare circa 30 anni prima che K.E.Zwicker, D.W.Robinson e K.D.Kryter dimostrassero che il tempo di integrazione dell'apparato uditivo andava dai 100 ai 150 millisecondi, ma i due di Cambridge (Massachusetts, USA) ci avevano preso! Si può dire che nella combinazione di misura: livelli sonori ponderati A in frequenza e Fast nel tempo ( $LAF_{(t)}$ ) i limiti della ponderazione "A" nel rappresentare il volume sonoro, così come noi lo sperimentiamo, sono molto più gravi che non lo scostamento della misura Fast dalla nostra esperienza dell'evoluzione temporale degli eventi sonori.

**8.- La ponderazione temporale Slow.**- La rapidità di risposta della costante Fast, se da una parte rispondeva all'esigenza di "seguire" i livelli sonori con una rapidità che si avvicinasse a quella della nostra facoltà uditiva, d'altra parte rendeva di difficile lettura segnali stazionari ma instabili. L'ago poteva oscillare su di un campo di 2 - 9 decibel. Per rendere possibile la lettura del livello rms anche di questi segnali fu introdotta la costante Slow di 1 secondo. Non saprei proprio perché un secondo e non 1,5 o 2 o 3 ma .....tant'è che è andata così. Si accettano sempre suggerimenti. Naturalmente si finiva per trovare segnali che anche con la costante Slow davano luogo ad oscillazioni di più decibel. Se la sorgente era una sorgente fissa a rumore continuo si definiva il livello rms (oggi diremmo il  $Leq$ ) sommando 2/3 della fluttuazione al minimo più ripetitivo.



**9.- Ponderazioni temporali esponenziali e lineari.**- Se chiamiamo  $\tau$  (tau) la costante di tempo, la caratteristica delle costanti di tempo esponenziali è quella di fornire, con una risoluzione temporale infinitesima, il livello rms degli ultimi  $\tau_{exp}$  millisecondi per ogni istante successivo di misura. Negli anni fine 1980 inizi 1990 furono introdotte le costanti di tempo "lineari ripetitive brevi" (short  $Leq$ ), di cui parleremo estesamente nel capitolo sul campionamento delle misure.

Le costanti lineari ripetitive (l.r.) hanno la caratteristica di "ragionare" a blocchetti di energia a tempo definito: per  $\tau_{100\text{ ms-l.r.}}$  al tempo zero millisecondi inizia il calcolo del livello rms, al tempo 100 ms finisce il calcolo; il sistema memorizza il numero, si azzerà, e parte con il prossimo calcolo; a 101 ms inizia il nuovo calcolo, finisce a 200 ms; il sistema memorizza il numero, si azzerà e..... alla via così. La risoluzione temporale è di 100 ms, o comunque di  $\tau$  millisecondi, e non infinitesima come con le costanti esponenziali.

La conseguenza della risoluzione non infinitesima ma a tempo definito è che il metodo lineare-ripetitivo (Short  $Leq$ ) non è usabile quando il livello massimo efficace è l'oggetto della nostra attenzione. Se abbiamo un evento breve tipo uno scoppio, un impatto, il passaggio di una motrice ferroviaria o di una moto o di un aeromezzo militare, il fatto che il livello di picco massimo (nei cui dintorni temporali starà il massimo efficace) cada interamente all'interno di uno dei "blocchetti di energia" è materia di probabilità, non è un fatto deterministico. Si va dall'evento che "cade" esattamente nel "blocchetto di energia" all'evento che distribuisce la sua energia metà in un "blocchetto" e metà nel successivo; differenza? 3,0 dB! Parlando di questi aspetti della misura si trova sempre il "professore" di turno, fissato con gli "short  $Leq$ ", che dice: "io allora campiono a 5 ms l.r."; il nostro è "professore" appunto perché dimentica che al livello misurato con una ponderazione temporale di 5 ms l.r. non corrisponde alcuna percezione né sonora né vibratoria.

Può quindi capitare, che una serie storica di eventi, tutti uguali come contenuto di energia, diano luogo a degli  $L_{MAX,l.r.}$  con una instabilità intrinseca (errore di misura) di 3,0 dB se parliamo di rumore, o del 40% se parliamo di vibrazioni. Ad esempio un  $MTVV^5$  misurato in lineare ripetitivo da 1 secondo potrà essere di 70  $mms^{-2}(Wz)$  ovvero vibrazione fortemente percettibile, ma i mobili di casa stanno fermi, il corrispondente in Slow (risoluzione temporale infinitesima) potrà essere 98  $mms^{-2}(Wz)$  ovvero vibrazione fortemente percettibile, con i mobili di casa che sobbalzano ad ogni transito.

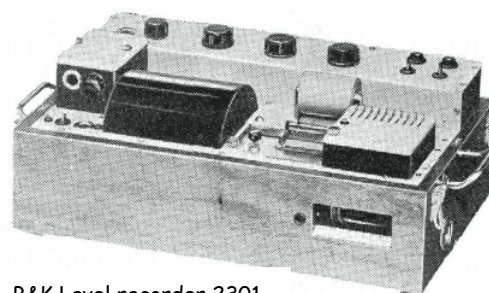
**10.- La registrazione grafica.-** La costante Fast, per il fatto di coincidere, seppur casualmente, con la nostra esperienza sonora, portava un mucchio di informazioni che venivano perse al semplice guardar l'ago, anche perché la dinamica degli strumenti a bobina mobile era dell'ordine dei 15-



Viggo Kjaer

Peter Brüel

20 decibel. Le informazioni perse erano: la forma



B&K Level recorder 2301

sonora dell'evento e i livelli minimo e massimo. Data al 1933 il primo registratore grafico (Neumann level recorder) che aveva lo scopo di ampliare la dinamica del fonometro e conservare traccia del decorso storico dei livelli sonori. Veniva utilizzato unicamente per misurare i tempi di riverbero. Poteva vantare una dinamica da 20 a

100 decibel, il potenziometro logaritmico andava ad acqua e il tracciato era di tipo fotografico. Nel 1944-46 Peer Vilhelm Brüel progettò e costruì il primo registratore grafico a carta, messo in produzione dalla Brüel & Kjaer, Naerum, Danimarca, qualche anno dopo (1949) con numero di modello 2301, pesava 25 kg, seguito nei tardi '60 dal modello 2305, e nei tardi '70 un modello più leggero e portatile: il 2306.

Il motivo della ritardata assunzione in produzione del registratore grafico fu che l'accordo fra Viggo Kjaer e Peer V. Brüel era che non si sarebbe prodotto nulla che non avesse una prospettiva di vendita di almeno 75 pezzi, e che Viggo Kjaer non dette credito alla proiezione di 150 pezzi fatta da PVB. Quando PVB incominciò a vendere il suo con una buona frequenza VK cambiò idea e nacque il 2301. In 30 anni la Brüel & Kjaer vendette 25.000



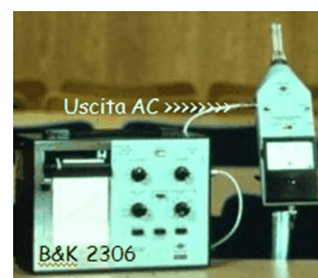
2305

registratori grafici, senza alcuna concorrenza. Il registratore grafico fu la punta di lancia che consentì alla Brüel & Kjaer di sfondare in mercati altrimenti impenetrabili per una piccola società: USA, Unione Sovietica, Cina. Era proprio un prodotto indispensabile, atteso dagli acustici di tutto il mondo!



2306

I fonometri, sin dai primi, avevano una uscita in alternata (AC output) alla quale era disponibile il segnale del microfono amplificato con voltaggi di uscita dell'ordine dei 3,16 - 5 volts<sub>rms</sub> per fondo-scala; tale uscita poteva essere usata per pilotare il registratore grafico o un registratore magnetico. Nei fonometri moderni la funzione della registrazione grafica viene svolta per via numerica, i livelli vengono campionati, memorizzati e visualizzati tramite apposito software dopo essere stati trasferiti al PC, ma questo è un argomento a sé che verrà sviluppato alla fine del presente.



B&K 2306



Verso la metà degli anni '70 cominciavano a comparire i primi strumenti dotati di interfaccia digitale, prima i grossi analizzatori in tempo reale tipo il 3347 della Brüel & Kjaer (sx) e il 1925 della General Radio (dx) seguiti più tardi dai fonometri. Alberto Armani lavorava allora per la Brüel & Kjaer Italiana e non appena vide i 25 buchini del connettore di interfaccia andò in visibilio..... mi ricordo che lo guardavo armeggiare con il computer, il cavo di interfaccia e l'analizzatore e dicevo fra me e me "chest'chi l'è matt". Il connettore di interfaccia era stato pensato, credo, fundamentalmente per automatizzare il collaudo di fine linea di produzione. Armani, nel 1975, ci vedeva il futuro della gestione via PC dei risultati delle misure. Mi ricordo che un giorno del 1976 PVB ebbe un colloquio con Alberto sulla gestione delle misure via computer, dopo di che lo accompagnai all'aeroporto privato di Linate a prendere



il suo Piper Atzec bimotore per ritornare in Danimarca, e PVB commentando il colloquio avuto con Alberto mi disse: ".....this man has really a big head!" Cosa che, detta da PVB, era certamente un bel complimento. L'atmosfera in Brüel & Kjaer Italiana invece non era delle più favorevoli, colleghi criticoni, cercavano spesso di ostacolarlo con il pretesto che il tempo che lui dedicava alla sperimentazione era sottratto alle vendite. Ma l'Abrami, nella sua veste di venditore più anziano, che aveva sempre l'ultima parola su tutto quello che riguardava le vendite, teneva sempre pronta la difesa per chiunque si intromettesse fra l'Armani e il suo cavo di interfaccia.



Quando nel 1985 (io allora ero impegnato nel mercato medicale per conto della Brüel & Kjaer) Alberto Armani si trasferì in Spectra srl, iniziò con la rappresentanza italiana di Ono Sokki, una società giapponese produttrice di svariata strumentazione per l'automotive fra cui un certo numero di analizzatori FFT sui quali si concentrò la sua attenzione. Cercando una sonda di intensità da abbinare ad essi, trovò la Larson Davis (Utah, USA). Larson Davis produceva fonometri, analizzatori statistici e analizzatori in tempo reale. I fonometri e gli analizzatori statistici erano esteticamente brutti, ma l'interfaccia (a differenza di tutti gli altri fonometri della concorrenza) consentiva l'accesso totale a tutte le funzioni del fonometro e l'architettura era del tipo "multitasking" ovvero la gestione dei dati via interfaccia era completamente indipendente dalla acquisizione. Gli analizzatori statistici 820 e 870 avevano inoltre un dinamica di 110 dB, cosa allora unica al mondo. Ci volle un transfuga dalla Larson Davis passato alla Brüel & Kjaer nel 1995 per sensibilizzarli all'importanza della gamma dinamica estesa.

Tolte alcune applicazioni industriali degli analizzatori, l'attenzione di Alberto si concentrò sul potenziamento delle funzioni del fonometro Larson Davis 800B costruendo un software che consentisse di trasferire la storia in Fast e i campioni di spettro sul PC. I campioni provenivano da un fonometro conforme alle IEC 651 Tipo 1 e IEC 804 Gruppo I. Le operazioni matematiche che eventualmente si facevano su quei dati nulla toglievano alla classe di precisione perché questa è influenzabile solo dai limiti acustici, meccanici ed elettronici dello strumento. La storia poteva essere visualizzata sullo schermo del PC, copiata e stampata su di un documento di Word® o Power Point® e questo era già un bel passo avanti. Disponendo poi della storia in Fast in formato numerico la cosa apriva importanti prospettive si poteva:

- a) calcolare il livello equivalente e il nostro si inventò per primo la resa grafica del livello equivalente progressivo (chiamato inestetivamente "running Leq");
- b) calcolare e rappresentare graficamente l'analisi distributiva e cumulativa dei livelli anche quando il fonometro non lo faceva;
- c) fare monitoraggi per tempi a piacimento senza portarsi dietro i rotoli di carta del registratore grafico;



si poteva inoltre, prescindendo dalla presenza sul campo, fare una serie di operazioni fondamentali che presero più tardi il nome di operazioni di post-elaborazione quali:

- d) tagliare un pezzo di storia e trattarlo come se fosse una nuova misura, svolgervi calcoli e rappresentazioni grafiche indipendenti dalla misura-madre;
- e) eliminare dalla storia eventi incoerenti con l'intenzione della misura che influenzando il livello equivalente avrebbero richiesto la ripetizione della misura.

Sviluppare il software era un lavoro mangia-tempo che il nostro non si poteva concedere e si mise alla ricerca di chi potesse dedicarsi a tempo pieno. L'ing. Castelli, gli indicò un tizio che faceva a tempo perso il softwareista, per passione, tal Gianpaolo Poletti. Nacque così un sodalizio che dura a tutt'oggi. Il software nella sua forma iniziale lavorava in DOS e venne battezzato SPL 3100, correva l'anno 1988.

Nel 1995 si passò alla versione in Windows® battezzandola Noise & Vibration Work, includeva l'esperienza di 10 anni di lavoro su SPL 3100 ed è diventato il leader mondiale dei software di acquisizione e postelaborazione per le misure di rumore e vibrazioni.

Quello che volevo enfatizzare con questo paragrafo è l'importanza della storia del livello sonoro in Fast che ci consente di riconoscere quello che è accaduto durante una misura, tanto che per avere quella storia, negli anni '60-'70 si andava in giro con un registratore grafico che pesava 25 kg e si ritornava a casa con decimetri di carta. Se non si aveva l'analizzatore statistico (che era pilotato dal pennino del registratore grafico), e si voleva avere il LAeq, si prendeva matita e righello, si decideva il "passo" del campionamento (1 cm, 5 mm, 3 mm) ci si annotava la sequenza dei livelli, per ogni livello con il regolo calcolatore si andava cercare la mantissa per poter poi avere l'antilogaritmo, per poter calcolare la media di potenza (Leq)... che palle!

**11.- La ponderazione temporale Impulse.-** Nel 1966 la IEC (International Electrotechnic Committee) di Ginevra (Svizzera) decise che era tempo di dotare i fonometri con una costante di tempo specifica per gli eventi sonori a carattere impulsivo. L'esigenza era sentita, sia perché la misura in Fast non prevedeva l'opzione "Max Hold" (memoria del valore massimo) e i registratori grafici erano molto pesanti e funzionavano solo a rete, sia perché, oramai, più ricercatori avevano indagato il tempo di integrazione dell'apparato uditivo umano.



Alcuni, la netta minoranza, propendeva per tempi dell'ordine dei 10-20 millisecondi, i più per tempi dell'ordine dei 100-150 millisecondi. Si ritenne importante invitare uno degli alfieri dei 10-20 millisecondi, il Prof. Reichart di Dresda (Repubblica Democratica Tedesca) che dichiarava 15 millisecondi, ma erano i tempi della Guerra Fredda, e le autorità non gli consentivano un viaggio nell'Ovest capitalista e pieno di tentazioni. La commissione dovette trasferirsi a Praga (Cecoslovacchia). Durante le riunioni non vi fu modo di mettersi d'accordo su quale dovesse essere la costante di tempo per gli impulsi: Zwicker e Reichart restavano fermi sulle loro idee. La differenza era rilevante 1:10. L'ultimo giorno, quando si doveva ritornare tutti a casa, alle 16, i due studiosi furono pregati di andare a pranzare insieme e di non far ritorno fintanto che non fossero stati in grado di presentare un valore comune per la costante di tempo impulsiva.

I due ritornarono senza aver trovato un accordo, Zwicker propose di lasciare ai partecipanti la decisione su quale dovesse essere il valore, caldeggiando di abbandonare completamente l'idea di una costante di tempo impulsiva in quanto la costante Fast dava risultati più che soddisfacenti. Reichart non insistette sui suoi 15 millisecondi, ma suggerì alla commissione che forse 35 millisecondi potevano andare bene. Furono tutti contenti di potersene ritornare a casa ora che un valore era stato trovato..... fintanto che qualcuno domandò: come si può riuscire a leggere la posizione dell'ago con una risposta così veloce? Nessuno ci aveva pensato. Uno, particolarmente brillante, suggerì che si poteva adottare un "tempo di salita" di  $\tau_{rise} = 35ms$  e un "tempo di decadimento" molto più lento, ad esempio di  $\tau_{decay} = 3s$ . Nessuno rilevò che con queste



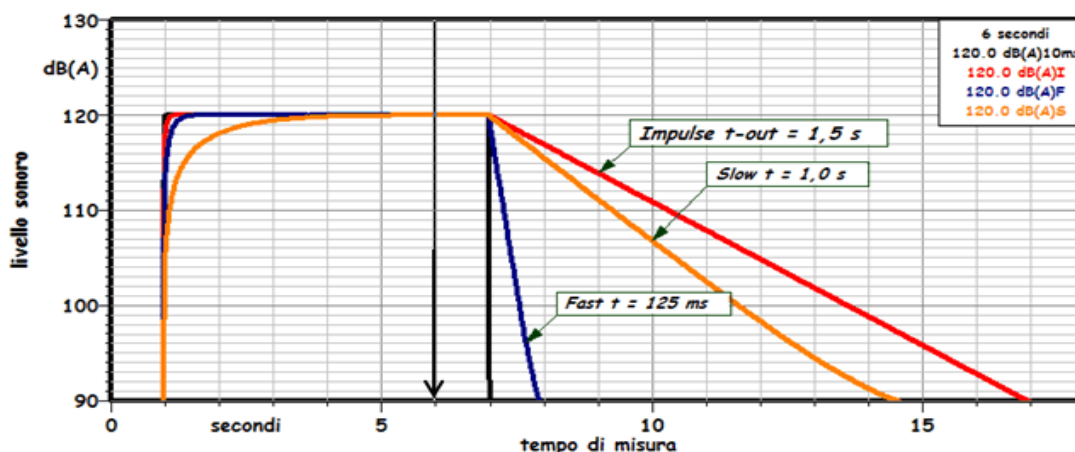
costanti di tempo non si sarebbero potuti misurare impulsi in rapida successione tipo operazioni di martellatura o il classico doppio colpo dai campi di tiro al piattello. Zwicker scuoteva la testa disperato, il Dr. Robinson (GB, quello delle isofoniche del 1956) brontolò qualcosa che finiva con "kindergarten" o "asilo infantile", ed enfatizzò il fatto che l'Inghilterra non avrebbe mai adottato la costante Impulse della IEC.

Di fatto, la costante "Impulse" standardizzata dalla IEC non è mai stata usata nella pratica come metodo - in sé - per misurare i rumori a carattere impulsivo. In tempi successivi si dimostrò che Zwicker aveva ragione, e la commissione avrebbe fatto molto meglio a seguire i risultati dei lavori di Kryter (USA), Zwicker (RFT) e Robinson (GB). Sorgente<sup>6</sup>: testimonianza e commenti di P.V. Brüel, membro della commissione IEC nel 1966.

**12.- Fast, Slow, Impulse.-** Comunque sia andati i fatti, ci troviamo, oggi, con queste tre costanti di tempo esponenziali o quasi (Impulse), delle quali è bene comprendere le proprietà ai fini operativi. Abbiamo già indicato la costante Fast come la più utile, in quanto quella che ci consente, con risoluzione temporale infinitesima, la tracciatura di storie del volume sonoro che assomigliano molto a come noi lo sperimentiamo.

Le costanti di tempo fonometriche esponenziali	
Impulse	$\tau_{in} = 35 \text{ ms} ; \tau_{out} = 1,5 \text{ s}$
Fast	$\tau = 125 \text{ ms}$
Slow	$\tau = 1.000 \text{ ms}$

Per capire le relazioni dinamiche reciproche vediamo un tracciato generato da un segnale sinusoidale, a 1.000 Hz, della durata di 6 secondi equivalente a 120 dB rms. Per la misura sono state usate, in ordine di rapidità, contemporaneamente, le costanti 10ms lineare ripetitiva, Impulse, Fast, Slow. Il tutto campionato ogni 10ms.

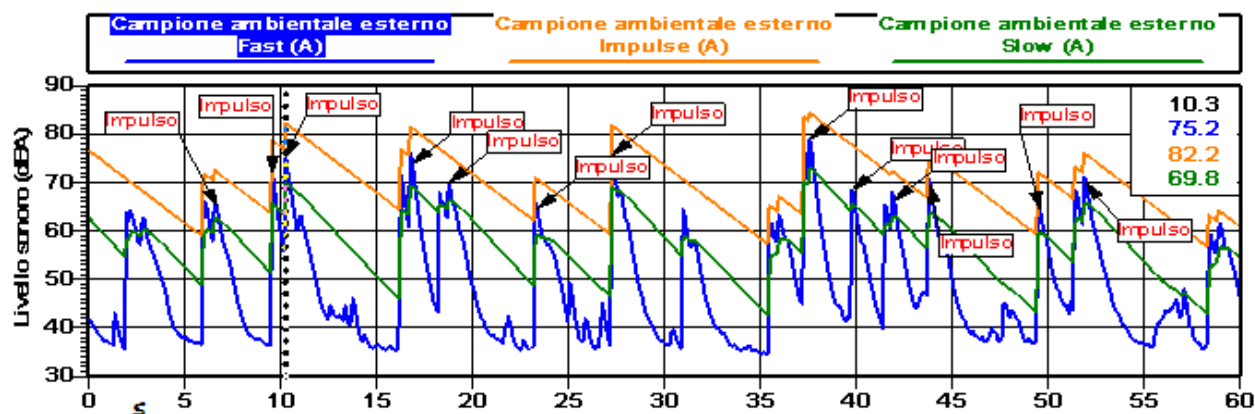


Il lineare ripetitivo da 10ms dà il livello rms di 120 dB al primo campione (in 10ms stanno 10 periodi di 1kHz), le costanti esponenziali arrivano a 120 dB, ciascuna dopo  $5 \cdot \tau$ ; trascorsi quindi 5 secondi ( $5 \cdot \text{Slow}$ ) tutte e quattro le costanti di tempo leggono lo stesso valore. Allo spegnersi del segnale, dopo 6 secondi, la lineare ripetitiva ovviamente sparisce e le esponenziali decrescono progressivamente, il loro decorso storico rappresenta, in ogni istante, per Fast e Slow, con risoluzione temporale infinitesima, la media degli ultimi  $\tau_{exp}$  millisecondi. Il decadimento di Impulse è stato standardizzato per un  $\tau_{out}$  è invece di 1,5 secondi.

Il fatto che ognuna delle costanti raggiunge il 100% del livello efficace del segnale dopo  $5 \cdot \tau$  ci dice che per segnali più brevi di  $\tau$  ognuna delle tre costanti esponenziali ci darà un livello diverso, progressivamente

minore, passando da Impulse (35ms) a Fast (125ms), a Slow(1s); e che, la loro differenza, entro certi limiti, sarà tanto maggiore quanto più breve la durata del segnale mediato. Ed è questa la filosofia, ispirata al "tecnicamente fattibile", che ha messo a punto il metodo per il riconoscimento dei rumori a carattere impulsivo del nostro DPCM16/03/98. Un rumore a carattere impulsivo consegue ad un rilascio improvviso di energia (scoppio, impatto, rilascio violento di gas in atmosfera, grido, abbaiar di cane) dura il tempo di arrivare al suo livello massimo per poi decrescere controllato da tau. Dovrebbe essere intuitivamente evidente che un evento della durata di 10ms "spalmato" su 35ms darà un valore e un livello, spalmato su 125ms un valore e un livello più bassi, spalmato su 1.000ms un valore e un livello ancora più bassi.

Tipico "panorama" sonoro prodotto al recettore da un campo di tiro al piattello.-



La sorgente sono gli spari, nella veste tipica del tiro al piattello, del doppio colpo.

**13.- Conclusione.-** A questo punto dovrebbe essere evidente che chiedendo la misura di un livello massimo si debba accompagnare alla richiesta la modalità della misura del massimo, specificando tanto la ponderazione in frequenza quanto la ponderazione nel tempo, ad esempio:  $LCPK_{MAX}$ ;  $LAF_{MAX}$ ;  $LAS_{MAX}$ ;  $LA20ms_{MAX}$ . Una storia di livelli, peraltro, verrà indicata come  $LAF_{(t)}$ ;  $LAS_{(t)}$ ;  $LAI_{(t)}$ ;  $LA10ms_{(t)}$ . In assenza di queste indicazioni i risultati sono illeggibili, come è "illeggibile" un  $LAeq$  senza tempo. Va sempre scritto  $LAeq,T$ ; dove T è il tempo di misura o di integrazione. Un'altra confusione che si osserva con una preoccupante frequenza è quella di scambiare il picco per il massimo, nel linguaggio fonometrico "picco" è sempre il massimo di  $p_{(t)}$  e quindi un valore o un livello istantaneo o della forma d'onda se preferite; "massimo" è sempre un valore o livello efficace (rms) del quale va specificata la ponderazione temporale (I, F, S, XXms).

## Riferimenti

<sup>1</sup> L'inizio del campo di misura dipende dal rumore intrinseco del sistema fonometrico che, per un buon fonometro, oggi, è dell'ordine dai 16-18 dB(A), se consideriamo sia 18 dB(A), allora potremo avere misure acustiche "incontaminate" a partire da 18+20 = 38,0 dB(A). Difatti 18.0 + 38.0 = 38,05 dB(A). Normalmente si preferisce ammettere un errore massimo fino a +0,5 dB; per cui si può dire che il campo di misura utile inizia dal rumore intrinseco più 10 dB. Ovvero 18.0+10 = 28dB(A). Dove, misurati, diventano 18.0 + 28.0 = 28,46 dB(A).

<sup>2</sup> Lps: livello pressione sonora, ovvero decibel riferiti a 20 micropascal.

<sup>3</sup> Nella strumentazione il "fondo scala" indica il valore o il livello massimo misurabile con una determinata portata e non il minimo come comunemente inteso dai non addetti.

$$LA_{eff, to, \tau} = 10 \log \frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t_0} \frac{p_A^2(t) \cdot e^{(t-t_0)/\tau}}{p_0^2} dt; (dB)$$

$LA_{eff, to, \tau}$  Livello sonoro (perché ponderato "A") efficace nell'istante  $t_0$  mediato nel tempo  $\tau$



$\tau = R \cdot C$ . Dove  $\tau$  è di 35 ms per Impulse; 125 ms per Fast; 1.000 ms per Slow.

<sup>5</sup> Maximum Transient Vibration Value, utilizzato per valutare l'impatto da vibrazioni in ambiente di vita, da sorgenti transitorie (treni, traffico gommato e simili) viene misurato per definizione con ponderazione Slow nel tempo e  $W_{asse}$  come ponderazione in frequenza, vedi ISO 2631 et seq.

<sup>6</sup> P.V.Brüel.- Of Acoustics and measurements. Memoirs of a Danish Pioneer. Part 2.- Sound & Vibration, Agosto 2008, pp 30-31