

Ing. Gianpaolo Bistulfi – Ing. Luigi Motta

Per difenderci dal rumore impariamo a conoscerlo



Queste note vogliono essere un aiuto per cominciare ad affrontare il problema «rumore», prendendo dimestichezza con alcuni principi, grandezze fisiche e Normative alla base delle misure di rumore.

ORIONE DI BISTULFI srl
Via Moscova, 27 - 20121 MILANO
tel: 026596553-4 - fax: 026595968
info@orionesrl.it
www.orionesrl.it

INDICE

1. GENERALITA'

- 1.1 Premessa
- 1.2 Il suono
- 1.3 Il decibel
- 1.4 L'udito
- 1.5 Il fonometro
- 1.6 Le curve di ponderazione
- 1.7 Il livello equivalente
- 1.8 L'analisi del rumore in frequenza
- 1.9 Analisi statistica
- 1.10 Somma/differenza/media di livelli in dB
- 1.11 Il tempo di riverbero RT60
- 1.12 La perdita di trasmissione attraverso parete

2. LA DIFESA DAL RUMORE

- 2.1 Strategie di protezione dal rumore
- 2.2 Cuffie e tappi
- 2.3 Come ridurre il rumore
- 2.4 Diagnosi
- 2.5 Modifica dell'acustica ambientale con materiali fonoassorbenti
- 2.6 Riduzione del rumore all'origine
- 2.7 Controllo attivo del rumore

3. ALTRI APPARECCHI, OLTRE AI FONOMETRI

- 3.1 Dosimetri
- 3.2 Calibratori
- 3.3 Registratori digitali DAT
- 3.4 Accessori per acustica negli edifici

4. LEGISLAZIONE E MISURE

- 4.1 Premessa
- 4.2 D.Lgs. 9 aprile 2008 N.81 "Testo Unico sulla **sicurezza sul lavoro**"
- 4.3 DPCM 16.04.1999 requisiti acustici nei luoghi di **intrattenimento danzante**
- 4.4 Direttiva 2006/42/CE del 17.05.2006- **Direttiva Macchine**
- 4.5 Legge 447 del 26.10.1995 "**Legge Quadro** sull'inquinamento acustico"
- 4.6 **DPCM 01.03.1991** Limiti di esposizione negli ambienti abitativi e all'esterno
- 4.7 DPCM 14.11.1997 "Determinazione dei **valori limite** delle sorgenti sonore"
- 4.8 DM 16.03.1998 "**Tecniche di rilevamento e misurazione** dell'inquinamento acustico"
- 4.9 DPCM 05.12.1997 "Determinazione dei **requisiti acustici passivi** degli edifici"
- 4.10 D.Lgs 19 Agosto 2005 n° 194 "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale"

1. GENERALITA'

1.1 Premessa

Nel nostro Paese i danni all'udito provocati dal rumore sono stati finora sottovalutati; pochi infatti sanno che la sordità da rumore è oggi la malattia più diffusa in senso assoluto, quella che ha l'incidenza più alta tra le malattie professionali riconosciute. (Fig. 1)

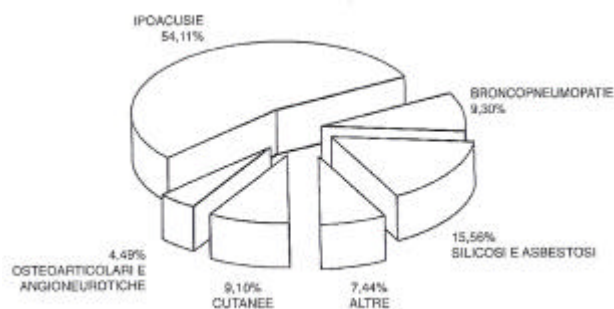


Fig. 1 - Distribuzione dei casi per tipo di malattia professionale in Italia dal 1990 al 1992 (Fonte: ISPESL)

Anche se i dati riportati non sono recenti e probabilmente c'è da aspettarsi una diminuzione delle ipoacusie con l'applicazione delle nuove leggi varate in Italia a partire dal 1991, l'andamento distributivo rimane molto indicativo della pericolosità del fenomeno

1.2. Il suono

Il suono è una forma di energia che si propaga in forma di onde.

Se, per esempio, facciamo scoppiare un palloncino, l'aria compressa all'interno si espande improvvisamente comprimendo lo strato di aria che circondava il palloncino, e così via per strati successivi si trasmette una catena di compressioni-rarefazioni, cioè un'onda di pressione il cui contenuto energetico si trasforma in calore e suono.

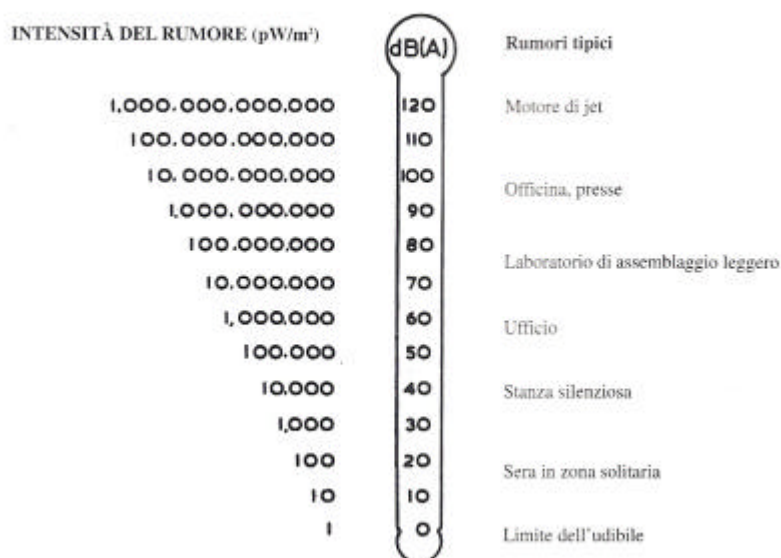
La velocità con cui si trasmette questa onda attraverso gli strati successivi di aria è la velocità del suono, pari a 344 m/sec

1.3. Il decibel

L'orecchio umano ed i microfoni sentono queste onde di pressione; tuttavia, per vari motivi, anziché alla pressione si preferisce in molti casi fare riferimento alla potenza relativa al contenuto energetico dell'onda sonora. Tale potenza si misura in Watt. La frazione di potenza incidente su una certa superficie si misurerà in W/m^2 .

La scala dei suoni, dal più debole appena udibile al più forte, è molto ampia: il rumore più leggero percepito dall'orecchio di una persona giovane e sana è di circa $1/1.000.000.000.000 W/m^2$, ossia $10^{-12} W/m^2$ cioè $1 pW/m^2$ (pW = picoWatt). Prendendo come unità di riferimento questa quantità di $1 pW/m^2$, si ottiene la scala illustrata in fig. 2, la quale, però, è troppo ampia per qualsiasi strumento lineare.

Fig. 2



Si applica allora una scala logaritmica, che permette, in parole povere, di contare solo le potenze di 10; queste nuove unità si chiamano «**Bel**». Allora avremo:

- sera in zona solitaria = $100 \text{ pW/m}^2 = 10^2 \text{ pW/m}^2 = 2 \text{ Bel}$
- stanza silenziosa = $10.000 \text{ pW/m}^2 = 10^4 \text{ pW/m}^2 = 4 \text{ Bel}$
- officina = $100.000.000 \text{ pW/m}^2 = 10^8 \text{ pW/m}^2 = 8 \text{ Bel}$

Questa nuova scala in Bel per gli scopi pratici risulta però troppo grossdana; pertanto conviene considerare come unità di misura la decima parte di un Bel, cioè un **decibel**.

Così facendo, gli esempi sopra menzionati diventano:

- sera in zona solitaria = $2 \text{ Bel} = 20 \text{ decibel}$;
- stanza silenziosa = $4 \text{ Bel} = 40 \text{ decibel}$;
- officina = $8 \text{ Bel} = 80 \text{ decibel}$

Questa scala in decibel permette di avere sotto controllo tutta la gamma dei rumori udibili con circa una ampiezza di 140 gradini (dB).

Nota:

La definizione matematica di decibel, in base a quanto visto, risulta:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} W/W_0 \quad (1)$$

dove: W = potenza di un suono

W_0 = potenza di riferimento (= 1 pW/m^2)

Pertanto se un suono ha una intensità W_1 , doppia di W_0 avremo:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} W_1/W_0 = 10 \log_{10} 2 = 10 \times 0,3 = 3 \text{ dB}$$

cioè un raddoppio dell'intensità sonora equivale ad un aumento di soli 3 dB.

Si può anche esprimere il decibel in funzione di un rapporto di pressioni sonore, anziché di potenze; in tal caso, dato che la potenza è proporzionale al quadrato della pressione sonora, sostituendo nella (1) a W/W_0 la frazione $(p)^2/(p_0)^2$ si ottiene:

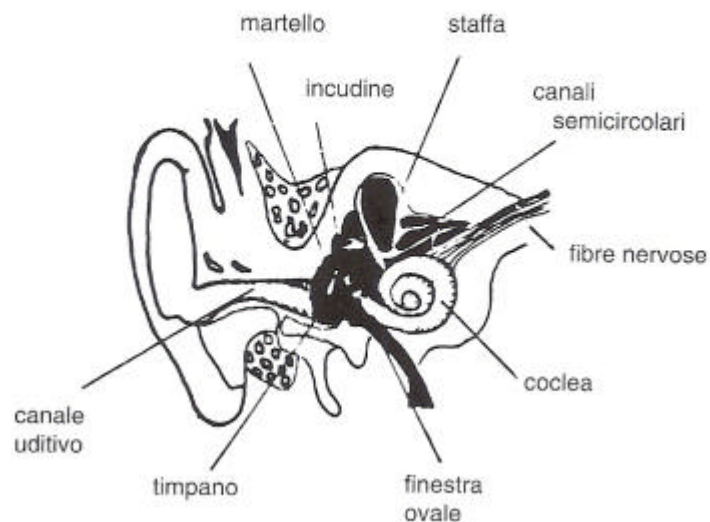
$$\text{dB} = 10 \log_{10} (p/p_0)^2 = 20 \log_{10} p/p_0$$

1.4. L'udito

Senza entrare in eccessivi dettagli anatomici, in pratica si può dire che il suono viene trasmesso al cervello attraverso la seguente catena: onda sonora - timpano - ossicini - coclea - nervo - cervello (Fig. 3).

La parte più delicata è nella coclea (simile a un doppio tubo avvolto a spirale e contenente fluido), nella quale la vibrazione meccanica viene trasmessa tramite specie di ciglia vibratili al nervo, che, a sua volta, porta le sensazioni al cervello. Queste ciglia, dopo prolungate compressioni dovute al rumore, si deformano perdendo la loro elasticità e di conseguenza non trasmettono più adeguatamente la sensazione uditiva: si ha cioè una ipoacusia. Tale difetto, almeno per ora, non è operabile chirurgicamente e quindi è considerato una menomazione permanente, con le conseguenze sociali, economiche e assicurative relative.

Fig. 3 - Sezione dell'orecchio.



1.5. Il fonometro

Per misurare il rumore si usa uno strumento detto fonometro (in inglese: sound level meter). Tale strumento è essenzialmente costituito da un microfono, preamplificatore, filtri, amplificatore, rettificatore RMS, compressore logaritmico ed indicatore analogico o digitale. (Fig. 4)

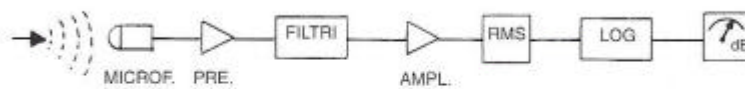


Fig. 4 - Schema a blocchi di un fonometro.

In funzione della precisione, le Norme Internazionali (IEC, ANSI, BS, DIN ecc.) hanno fissato tre diverse classi:

- Classe 1: precisione
- Classe 2: industriale
- Classe 3: sorveglianza

In Europa si usano le norme IEC. Secondo le Norme IEC 60651, la lettura delle misure di un fonometro deve avere una precisione entro $\pm 0,7$ dB per la classe 1, ± 1 dB per la classe 2 e $\pm 1,5$ dB per la classe 3.

I fonometri meno recenti riportano l'osservanza alla norma IEC 651, che divenne IEC EN 60651, quando venne recepita dalla comunità Europea. Gli strumenti più recenti riportano la conformità alla **IEC 61672**, che è, sotto questo aspetto, la Norma Europea più recente e che ha inglobato la IEC 651 e la IEC 804 (quest'ultima è relativa ai fonometri integratori). Le Norme sopra citate sono rivolte ai costruttori di strumentazione e specificano come devono essere costruiti i fonometri e quali test devono superare per essere considerati nelle relative classi di precisione.

Altre Norme costruttive esistono per apparecchi in uso nelle misure fonometriche, ad es:

IEC 60942:2003 per i calibratori
IEC 61260 per i filtri in frequenza
IEC 61252 per i dosimetri

I fonometri più semplici danno la misura del livello istantaneo del rumore; ci sono strumenti più complessi che elaborano questa misura per dare:

- livello equivalente (Leq), ossia l'integrale del rumore nel tempo: praticamente un valore energetico medio (fonometri integratori)
- analisi del rumore alle varie frequenze (analizzatori in bande di ottava ed 1/3 ottava)
- analisi statistica
- analisi di evento
- analisi di isolamento acustico (tempo di riverbero RT 60, coefficienti di facciata, perdita di trasmissione attraverso parete, ecc)

Gli strumenti più moderni, specialmente di classe 1, possono comprendere diverse o tutte le varie funzioni.

Perché tanti tipi di strumenti. se il valore da misurare è sempre un livello di rumore? La risposta apparirà evidente più avanti. Va detto subito però che il livello in dB (*analisi in banda larga*) non definisce completamente un rumore. Altri parametri possono essere utili per giudicare sulla tollerabilità di un rumore. Esempio tipico: il gesso che stride sulla lavagna; in questo caso è importante associare al modesto livello del rumore un dato importante: la frequenza del rumore, responsabile del senso di fastidio provocato dal fenomeno; l'analisi del rumore secondo le varie frequenze è detta anche *analisi in banda stretta* (v. paragrafo 1.8).

Ci sono poi casi in cui è importante non il rilievo di un valore istantaneo di rumore, ma il valore mediato nel tempo (livello equivalente), quando per esempio il livello di rumore in esame è molto variabile: si ha così il fonometro integratore. Sono disponibili inoltre fonometri che elaborano le misure, le accumulano, le memorizzano: coi fonometri a microprocessore, oltre alle solite funzioni, si possono fare analisi statistiche, analisi ambientali protratte per parecchi giorni senza interruzione, esami di eventi particolari (es.: il passaggio di aerei o treni), con interfacciamento a computer e stampanti. Ormai sono comunemente usati gli analizzatori di rumore in tempo reale portatili, che, nel formato di un tradizionale fonometro, possono dare prestazioni multiple e svolgere compiti diversi in parallelo, memorizzando i dati internamente e rendendo così molto agile e veloce il compito del professionista.

1.6. Le curve di ponderazione

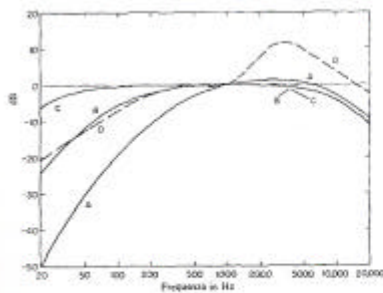


Fig. 7 - Curve di ponderazione A, B, C, D

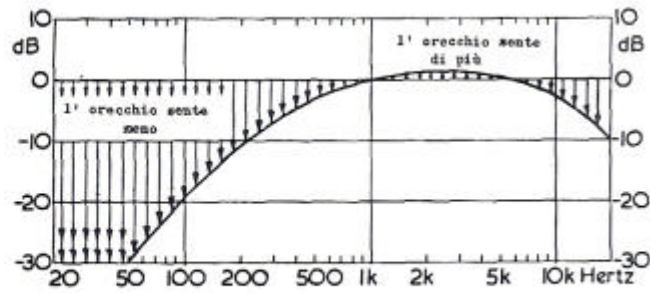


Fig. 6 - Curva di ponderazione «A»

L'orecchio umano non è un trasduttore lineare del rumore, infatti sente male le basse e le alte frequenze: con ciò viene privilegiata la zona di frequenza tipica della conversazione umana (da 1 a 5 kHz circa).

Dato che nella maggior parte dei casi interessa proprio l'effetto del rumore sull'uomo, è utile tenere conto di questa non-linearità. Le Norme Internazionali hanno quindi costruito varie curve di ponderazione, cioè in pratica delle «correzioni» che vengono applicate al fonometro in modo di rendere le sue risposte simili a quelle dell'orecchio umano.

La curva di ponderazione di gran lunga più usata è la curva «A» riportata in fig.6. In pratica, se il livello 0 dB equivale ad un comportamento lineare (non si aggiunge e non si toglie nulla), si vede che la curva «A» apporta grosse variazioni in diminuzione ai valori bassi di frequenza da 50Hz fino a 1kHz (dove la «correzione» si annulla); da qui a circa 6 kHz la curva «A» aggiunge qualcosa e poi torna a dare correzioni in diminuzione.

I fonometri hanno perciò la possibilità di misurare il rumore secondo una caratteristica Lineare (L), in tal caso si ha un valore espresso in dB, oppure 'ponderata' - p.es: ponderazione «A»- la cui misura si esprime in dB(A).

Ultimamente la curva lineare è stata ridefinita dalle Norme IEC 61672 fino a 20 kHz (precedentemente era definita solo fino a 12,5 kHz) e viene denominata "Z".

Altre curve sono state costruite con scopi diversi (B,C,D), ma vengono poco usate (fig. 5), ad eccezione della curva C che, in tempi recenti, è stata preferita per molte misure alla curva Lineare.

1.7. Il livello equivalente (Leq)

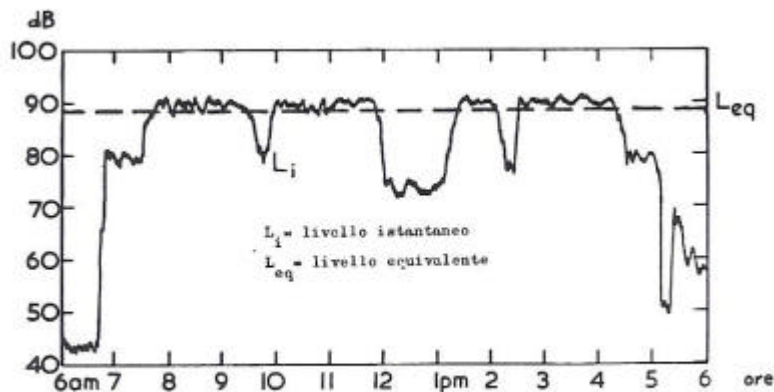


Fig. 8 - Rumore assorbito da un operatore dalle 6 di mattina alle 6 di sera.

Il danno all'udito è provocato non solo dal livello di rumore, ma anche dalla durata della esposizione, ossia dipende dalla quantità di energia sonora assorbita nel tempo dall'orecchio. In molti casi non basta quindi valutare il livello in dB di una certa macchina o di un ambiente di lavoro, perché quella misura è legata al momento in cui stata fatta e non ci dice nulla sulla durata. Ci sono allora dei fonometri, detti **integratori**, che misurano istante per istante il livello di rumore e lo integrano in funzione del tempo, dividendo poi il valore di energia sonora ottenuto per l'intervallo di tempo trascorso. Praticamente si tratta di un valore medio in continua evoluzione noto come «livello equivalente», cioè il livello di rumore costante avente uguale effetto di quello variabile assorbito dall'operatore nell'intervallo di tempo considerato (Fig. 7, in cui l'area rettangolare sottesa da Leq equivale all'area sottesa dal diagramma del livello istantaneo).

Tramite il livello equivalente (L_{eq}) si può riferire l'esposizione di un soggetto alle 8 ore di lavoro giornaliero e verificare se il livello risultante costituisca o meno un pericolo per l'udito. Per tale verifica è necessario confrontare le misure con dei limiti di sicurezza. Questi limiti, fissati dalle legislazioni dei vari Paesi, traggono origine da indagini statistiche condotte per periodi di decine di anni che hanno consentito di costruire delle curve di rischio di contrarre ipoacusie in funzione del livello di esposizione e del tempo di esposizione (fig. 8). In base a curve di questo tipo le Norme internazionali e le leggi dei vari Paesi hanno fissato dei limiti prudenziali che non dovrebbero comportare rischio di danno all'udito (o che statisticamente hanno minime possibilità di farlo). Da questi criteri sono derivati i vari limiti di 85-87-90 dB(A) per 8 ore. Dalle curve si vede infatti che per 30 anni di esposizione (8 ore al giorno) a 90 dB(A) il rischio di contrarre qualche danno all'udito è statisticamente valutabile a circa il 7-8%.

Dato che, come già detto, un raddoppio dell'intensità sonora corrisponde a 3dB, se il limite è 87 dB(A), si può avere, a parità di energia sonora assorbita, un livello ammesso di 90 dB(A) per metà tempo, cioè per 4 ore; oppure 93 dB(A) per 2 ore ecc. In realtà, non è detto che la corrispondenza tra livello energetico assorbito e rischio di ipoacusia sia lineare, per cui per taluni studiosi il rischio si raddoppia non per 3 dB, ma per 4 dB, oppure 5 dB: questo valore di dB per cui si ritiene che il rischio raddoppi è detto "*fattore di scambio*": In Europa tale valore è pari a 3 dB; in USA può essere 4 o 5 dB.

Alla categoria dei fonometri integratori appartengono i dosimetri individuali di rumore, cioè fonometri miniaturizzati indossati dal soggetto esposto al rumore, i quali rilevano l'effettivo livello di energia sonora assorbita nel tempo considerato. (v. anche paragrafo 3.1)

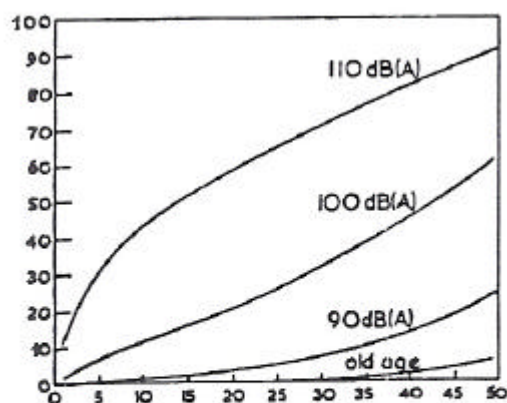
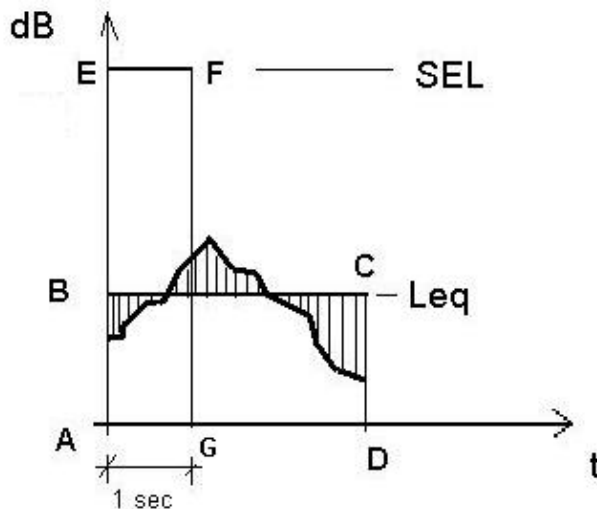


Fig. 19 - Al livello di 110 dB(A) dopo 30 anni di lavoro, il 70% degli operatori ha accusato sordità totale.



Un livello equivalente particolare è il **SEL** (Sound Exposure Level, detto anche **LAE**): come detto, in una esposizione al rumore, il livello equivalente dà un diagramma rettangolare di pari area (cioè di uguale energia sonora) dell'area sottesa dal diagramma istantaneo del segnale nel tempo considerato. Pertanto il livello equivalente è riferito al tempo della misura. Il SEL è una elaborazione successiva di tale livello equivalente in quanto *riferisce l'energia sonora di quella misura ad un tempo convenzionale di 1 sec.*



Nella figura accanto ciò significa che l'area ABCD (=Leq) è uguale all'area AEFG (=SEL), che ha come base 1 sec.

Il SEL è quindi un parametro molto utile nelle misure ambientali per confrontare tra loro eventi diversi (es: passaggio di un treno rispetto passaggio di un aereo) e capire subito quale è l'importanza di ognuno. Infatti i rettangoli energetici, avendo tutti la stessa base (1 sec) si differenziano solo per le altezze: quindi un SEL 145 dB designa un evento energeticamente più importante di un SEL 110 dB, senza ulteriori considerazioni su durata e modalità di emissione del rumore.

1.8. L'analisi del rumore in funzione della frequenza

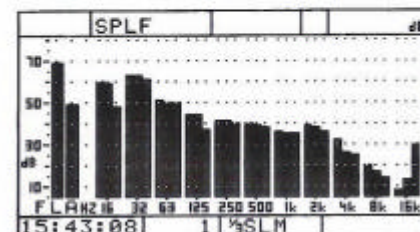
Per uno studio più approfondito del rumore è utile conoscere il livello di rumore relativo alle varie frequenze (*analisi in banda stretta*).

E' come se, nel suono globale dato da una grande orchestra, si volesse esaminare singolarmente il contributo dei violini, degli ottoni, del piano, ecc. Si suddivide quindi il campo totale della frequenza in intervalli standard e in ogni intervallo si misura il livello di rumore relativo. In acustica, tali intervalli standard sono le **ottave**, oppure, per un esame più fine, i **terzi di ottava**. Si definisce ottava un intervallo di frequenza in cui la frequenza superiore è il doppio di quella inferiore. I valori normalizzati delle frequenze centrali delle bande di ottave sono:

31,5 - 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 - 16000 Hz.

I fonometri che eseguono l'analisi del rumore in bande di ottava (o 1/3 ottava) hanno una serie di filtri che permettono di isolare i rumori la cui banda di frequenza rientra in quella in esame, escludendo invece tutti gli altri; in tal modo si può battere tutto lo spettro di frequenze misurando per ogni ottava (o terzo di ottava) il livello di rumore corrispondente.

OVERALL	->	Lin	69.6dB	'A'	49.1dB
Hz	-	Lin	Hz	-	Lin
12	60.1dB	16	59.2dB	20	48.1dB
25	63.7dB	32	63.2dB	40	61.1dB
50	51.6dB	63	50.5dB	80	50.2dB
100	44.5dB	125	44.6dB	160	37.8dB
200	41.0dB	250	41.9dB	315	40.3dB
400	40.2dB	500	39.9dB	630	38.0dB
800	36.7dB	1k	35.6dB	1k25	35.1dB
1k6	39.3dB	2k	38.7dB	2k5	36.2dB
3k15	32.0dB	4k	26.8dB	5k	25.2dB
6k3	20.9dB	8k	17.1dB	10k	14.3dB
12k5	8.8dB	16k	13.8dB	20k	30.5dB



analisi in 1/3 ottava

Questa analisi serve tra l'altro quando si voglia bonificare il rumore di una macchina, evidenziando e quindi intervenendo solo sulla parte di rumore più fastidiosa, con risparmio di tempo e denaro. Per questo studio si utilizzano anche le curve ISO «Noise rating» (= livelli nominali di rumore), Fig. 9.

L'origine di queste curve è stata una ricerca per ovviare agli inconvenienti dati dalla interferenza del rumore sulla conversazione umana.

Infatti il non doversi affaticare per udire e farsi udire dal prossimo ha una importanza fondamentale nelle comunicazioni sociali, a prescindere ovviamente dall'aspetto medico. Queste curve sono applicate in situazioni in cui è importante che la conversazione sia udita chiaramente come in uffici, scuole, cabine telefoniche; tipica l'applicazione per la verifica della rumorosità degli impianti di condizionamento. Sono anche applicate per valutare il disturbo sofferto da residenti nelle vicinanze di fabbriche, cantieri, aeroporti ecc. Osservando le curve, si nota che le Norme consentono un alto livello di rumore alle basse frequenze (infatti l'orecchio umano non ne è disturbato), mentre nell'intervallo di frequenza relativo alla normale attività uditiva dell'uomo (da 0,5 a 8 kHz) le curve tendono a raddrizzarsi.

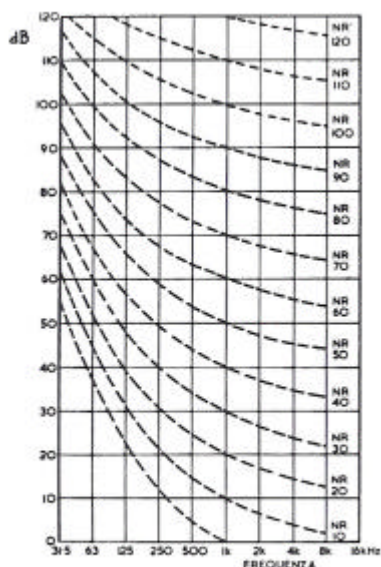


Fig. 9 - «Noise Rating Curves».

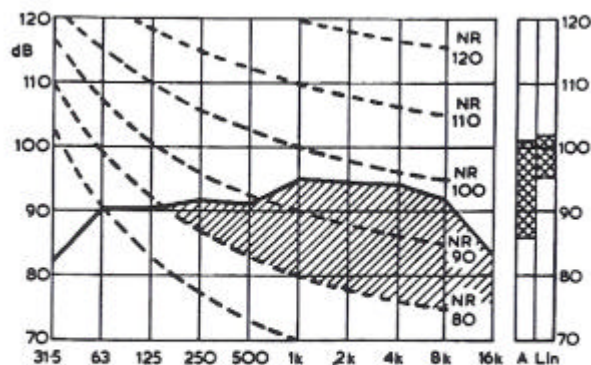


Fig. 10 - Pressa da 160 t.

L'applicazione delle curve consiste nel verificare che la spezzata costituita dai punti dB/Hz rilevati col fonometro alle diverse frequenze, sia tutta al di sotto della curva NR che in quel caso è prescritta come obiettivo.

Nell'esempio riportato in fig. 10 vediamo lo studio su una pressa da 160 tonnellate: se la curva prescritta come limite è la NR 80, tutta la parte tratteggiata sul diagramma sarà da bonificare con opportuni interventi.

Sempre dall'esempio, rileviamo che la pressa in esame ha uno spettro corrispondente alla curva NR 98 e un livello globale ponderato "A" pari a 101,5 dB(A).

1.9. Analisi statistica

Per valutare la distribuzione dell'andamento del rumore nel tempo sono utili i percentili "L_n". Questi parametri statistici di rumore ci dicono, in un periodo di tempo considerato, la percentuale "n" del tempo in cui il rumore è stato uguale o superiore ad un certo livello: ad es. L₉₀ = 65 dB significa che nel periodo in esame il livello di rumore per il 90% del tempo è stato uguale o superiore a 65 dB. Questi parametri ci permettono quindi di evidenziare il rumore di fondo L₆₅ oppure un rumore occasionale L₀₁, ecc.

La visione globale di tutti i percentili è contenuta nella curva di accumulazione (Fig 11).

Per capire come venga costruita l'analisi statistica, si può pensare che il fonometro lavori schematicamente come segue:

- supponiamo che il periodo in esame sia 1 ora = 3600 sec
- supponiamo per semplicità che il fonometro faccia una misura al secondo
- supponiamo che la scala di misura venga suddivisa in caselle di 1 dB cadauna (es. per scala da 50 a 110 dB, ci saranno le caselle 50, 51, 52, 53, 54 ... 109, 110 dB) e che ad ogni misura venga depositata una pallina per ogni casella che viene superata o uguagliata (simile ad applausometro degli spettacoli TV)
- alla fine del periodo in esame (3600 sec. in questo esempio) lo strumento fa un conteggio delle palline per ogni casella, rapportandole al totale di 3600 secondi (=palline), per cui ci dirà per che percentuale del tempo il rumore è stato superiore o uguale ad un certo livello.

Il rumore di livello più basso avrà totalizzato 3600 palline = 100%, cioè è stato sempre raggiunto in ogni misura. E così via per gli altri livelli.

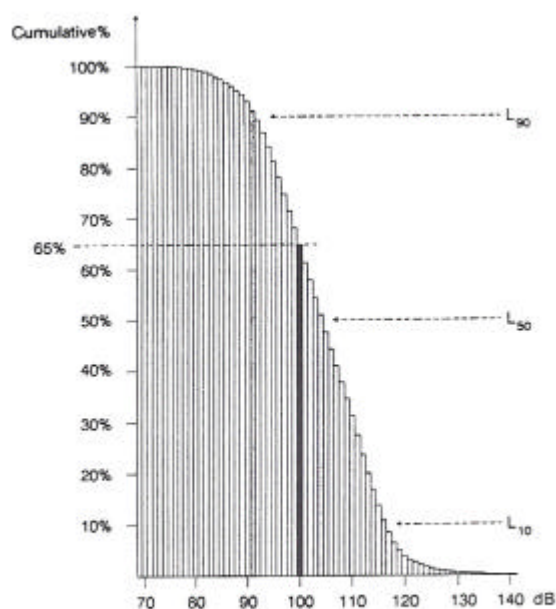


Fig. 11 - Curva di accumulazione.

1.10. Somma di livelli in dB

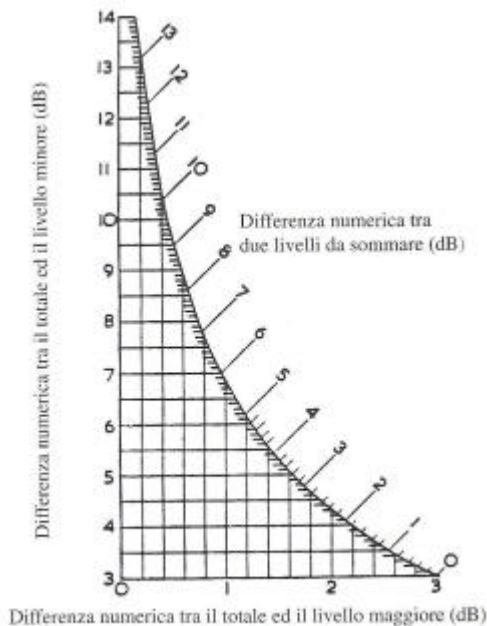


Fig. 12 - Nomogramma per sommare o sottrarre decibel

Dato che i livelli di rumore si esprimono in unità logaritmiche, per valutare l'effetto combinato di due o più sorgenti di rumore, non volendo passare attraverso calcoli logaritmici, si può ricorrere al nomogramma in fig. 12 in cui:

- la scala verticale dà la differenza numerica tra il livello totale ed il livello minore;
- la scala orizzontale dà la differenza numerica tra il livello totale ed il livello maggiore
- la scala curva dà la differenza numerica tra i due livelli da sommare

Esempi :

- Due macchine hanno livelli di rumore rispettivamente pari a 80 e 86 dB: quale sarà il livello complessivo?
La differenza numerica tra i due livelli è: $86 - 80 = 6$ dB. Si entra con tale valore sulla scala curva. Si legge 1 dB sull'asse orizzontale che rappresenta quanto si deve aggiungere al livello maggiore per avere il totale rumore, cioè $86 + 1 = 87$ dB. Oppure, sempre entrando con la differenza e leggendo il valore corrispondente sulla scala verticale, ossia 7 dB, si somma questo valore al livello più basso ottenendo $80 + 7 = 87$ dB (come sopra).
- Livello rumore macchina più rumore di fondo = 90 dB. Rumore di fondo 85 dB. Quale sarà il livello di rumore della sola macchina?
Si entra con il valore differenza $90 - 85 = 5$ dB sulla scala verticale e si legge in corrispondenza sulla scala curva 3,4 dB. La macchina ha quindi un rumore proprio di $85 + 3,4 = 88,4$ dB.
- Rumore totale prodotto da 2 sorgenti di rumore pari a 93,5 dB. Una sorgente ha 91 dB. Valutare il rumore della seconda sorgente. La differenza tra il totale ed un livello è di 2,5 dB. In corrispondenza a 2,5 sulla scala orizzontale si legge sulla scala curva 1,1. Allora la seconda sorgente ha un livello di $91 - 1,1 = 89,9$ dB.

Se i livelli da sommare sono più di due, si dividono per gruppi di due e si combinano successivamente.

Dalla curva si vede che se la differenza tra due sorgenti di rumore è uguale o minore di 16 dB, il contributo della sorgente minore è trascurabile (0,1dB o meno). Questa notazione è molto utile per valutare se esiste o meno un contributo del rumore di fondo quando si effettua una misura.

Media di livelli in dB

Volendo fare la media di "n" misure di livelli in dB, dato che si tratta di valori logaritmici, non si può fare la media aritmetica. Il livello medio L_m risulta dalla formula:

$$L_m = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_n/10} \right] \quad (\text{dB})$$

dove : n = numero misure
 L_n = Livello n-esimo

Questi calcoli logaritmici, come altri simili in uso in acustica, sono effettuabili a mezzo softwares di calcolo, di solito inclusi nei programmi di scarico/elaborazione dati dei fonometri.

1.11 Il tempo di riverbero RT60

E' un parametro introdotto per qualificare l'acustica di un ambiente. A tutti è capitato di parlare in un locale vuoto e sentire la propria voce amplificata o alterata dall' "eco". Infatti accade che alle onde sonore della sorgente si sommano le onde riflesse dalle pareti.

Con lo studio sulla disposizione architettonica dei volumi o sulla scelta dei materiali da impiegare per rivestimenti e suppellettili, si possono determinare le qualità acustiche di un ambiente: la cosa riveste particolare importanza per teatri, sale convegno, aule scolastiche, ecc.

La ISO 3382- 1975 definisce così il tempo di riverbero: "E' il tempo necessario al livello di pressione sonora per scendere di 60 dB dopo che la sorgente ha cessato di emettere"

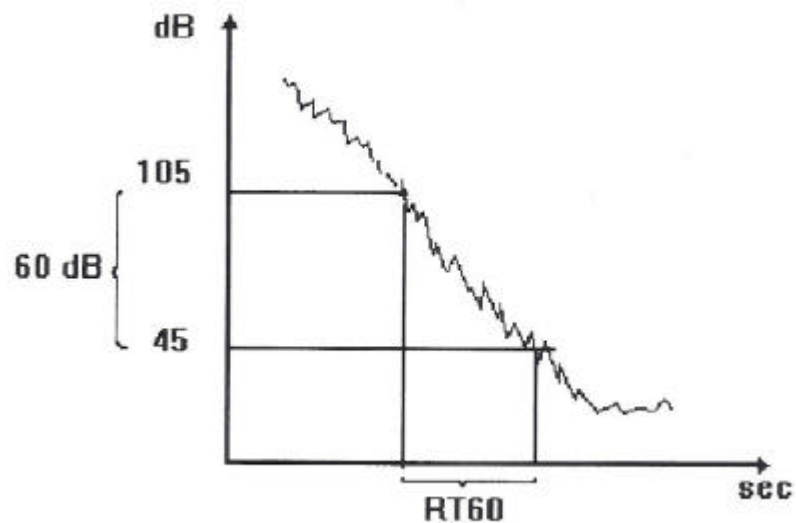


Fig. 13 - Tempo di riverbero: è il tempo impiegato dal livello sonoro a scendere di 60 dB.

Per quanto riguarda la misura, si utilizza un generatore di rumore che emette un segnale il quale, attraverso un amplificatore, viene poi diffuso da un altoparlante. (Fig. 15 e Fig.16)

Al cessare del segnale, il livello di rumore dell' ambiente, rilevato da un fonometro, non cessa istantaneamente ma diminuisce secondo una certa curva che viene registrata: il tempo corrispondente alla discesa di 60 dB è il tempo di riverbero RT60. (fig. 13).

In pratica però, è difficile avere a disposizione per la misura un decadimento di 60 dB, per la presenza del rumore di fondo e per non dovere arrivare a livelli di emissione troppo elevati, per cui l' RT60 viene di solito calcolato attraverso i sottoparametri RT20 o RT30 che sono rispettivamente il tempo necessario per il decadimento del segnale di 20 e di 30 dB (il tempo di riverbero RT60 si otterrà quindi moltiplicando l' RT20 o RT30 per 3 o per 2 rispettivamente).

Di solito, per avere misure più attendibili, si ripetono le prove con diversa disposizione della sorgente sonora e del microfono e si fa una media sui risultati.

E' utile effettuare l'esame del tempo di riverbero nelle singole frequenze per vedere il comportamento dei materiali o dell'ambiente alle diverse frequenze: ciò può costituire un lavoro lungo e laborioso, a meno che non si disponga di un analizzatore in tempo reale, che permette di avere, con una unica misura, tutte le curve di decadimento alle diverse frequenze (terzi di ottava), nonchè i calcoli del tempo di riverbero attraverso RT20 ed RT30, con eventualmente la ripetizione delle misure e la relativa media.



Per quanto riguarda il segnale di eccitazione, si possono avere due tipi:

- segnale continuo (generatore di rumore)
- segnale impulsivo (colpo di pistola e simili).

Va detto però che quest' ultimo non sempre è adeguato, in quanto tale tipo di segnale è povero di contenuto energetico alle basse frequenze.

Fig.14: misura del tempo di riverbero in un teatro, con segnale impulsivo (colpo di pistola)

Per energizzare un ambiente, si usano generatori di rumore normalizzati che producono un tipo di rumore particolare:

- **il rumore bianco** ha una densità spettrale di potenza indipendente dalla frequenza, ovvero intervalli di frequenza di uguale ampiezza contengono la stessa quantità di energia. Un'analisi in banda stretta mostrerebbe uno spettro piatto; un'analisi per bande di ottava mostrerebbe una linea crescente di 3 dB per ottava, perchè ogni banda (per la definizione di ottava) ha un'ampiezza doppia di quella precedente e quindi contiene il doppio di energia sonora (cioè +3dB).
- **il rumore rosa** ha una densità spettrale di potenza decrescente con la frequenza. Un'analisi in banda stretta mostrerebbe uno spettro decrescente di 3 dB ad ogni raddoppio della frequenza (cioè per ogni ottava); un'analisi per bande di ottava mostrerebbe uno spettro piatto: ciò conferisce al rumore la stessa energia per ogni ottava.

Solitamente si usa il rumore rosa; il rumore bianco viene usato per contrastare un rumore di fondo sensibile.

Il segnale viene poi amplificato da un gruppo amplificatore e passato al diffusore acustico: Il diffusore può essere *omnidirezionale* (normalmente a 6 o 12 facce) per energizzare una stanza, oppure *direzionale* per energizzare una facciata.

1.12 La perdita di trasmissione attraverso parete

La misura della perdita di trasmissione attraverso parete serve per verificare l'isolamento di una parete tra un ambiente ed uno contiguo.

In una stanza viene posto il generatore di rumore e, tramite il sistema di rilevamento, si determina il livello di rumore dell'ambiente "trasmittente". Contemporaneamente, oppure successivamente con lo stesso livello del generatore di rumore, si misura il livello nell'ambiente "ricevente".

Normalmente il livello trasmittente e ricevente risultano dalla media di diverse misure effettuate variando la posizione del generatore di rumore e del microfono ricevente.

La differenza tra i due livelli medi (trasmittente - ricevente) costituisce la perdita di trasmissione dovuta all'isolamento acustico offerto dalla parete interposta.

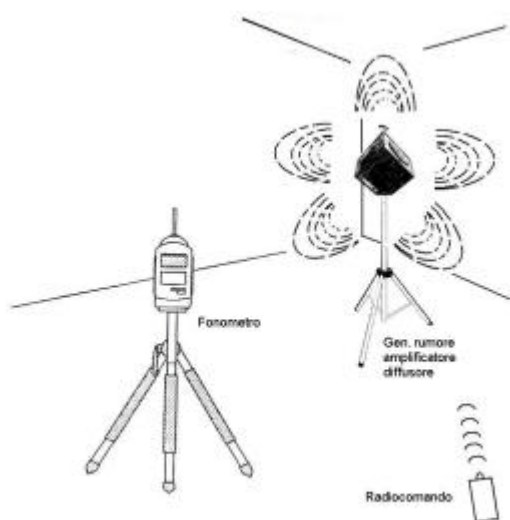


Fig.15 : misura del tempo di riverbero tramite segnale continuo nella stanza "trasmittente"

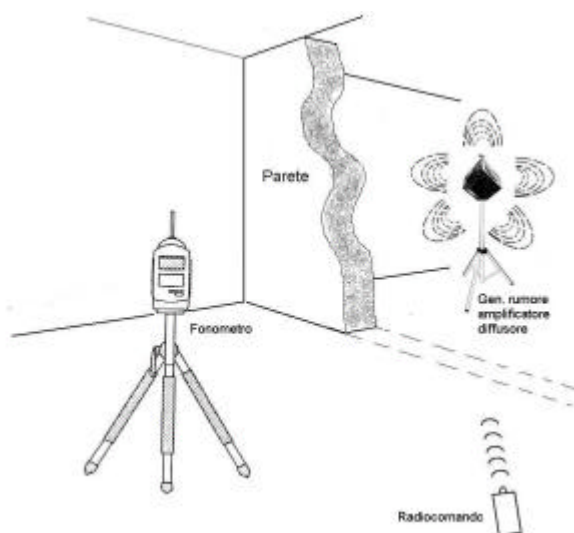


Fig.16: misura sul lato "ricevente" della perdita di trasmissione attraverso parete

2. LA DIFESA DAL RUMORE

2.1 Strategie di protezione dal rumore

Le linee tradizionali di difesa contro il rumore si possono sintetizzare nelle seguenti:

- modifiche tecniche sulle macchine per diminuire il livello di rumore all'origine;
- insonorizzazione di macchine o ambienti ottenuta mediante l'installazione di pareti, rivestimenti o cabine fonoassorbenti;
- protezione individuale dell'udito (cuffie e tappi auricolari).

Di solito si applica una opportuna combinazione delle varie strategie. Infatti è chiaro che la soluzione di apportare modifiche tecniche all'origine del rumore sarebbe quella in linea di principio più auspicabile, purtroppo però è anche quella più difficile e costosa; la si applica quindi fino a dove è realizzabile con accettabili sforzi tecnici ed economici. Tra l'altro, la bonifica a fondo delle singole fonti di rumore con modifiche tecniche sugli impianti comporta il più delle volte l'intervento di personale specializzato esterno alla azienda, con ulteriori costi aggiuntivi. Nelle macchine più complesse di solito non conviene trattare singolarmente le varie fonti di rumore, perché è più economico ricorrere alla cabina di insonorizzazione che isola tutta la macchina. Bisogna però tenere presente che tali cabine proteggono solo chi lavora all'esterno; ciò può comportare maggiori costi, nel progetto di telecomandi ed automazioni per lavorazioni che debbono essere effettuate all'interno.

La bonifica del rumore in sostanza si traduce in un costo. Fino a dove conviene spingere questi costi è un problema che va esaminato caso per caso.

Può sembrare facile soluzione, per corto-circuitare i problemi tecnici ed economici relativi alla riduzione del livello di rumore, ricorrere all'adozione di protettori individuali, cioè cuffie e tappi. Questi mezzi invece andrebbero adottati quando si sono già fatti tutti gli sforzi tecnici per abbassare il livello di rumore restando entro ragionevoli limiti economici.

Esaminiamo infatti più da vicino quale protezione effettiva danno questi sistemi.

2.2 Cuffie e tappi: quanto sono efficaci?

Se è vero che questi sistemi offrono una protezione facile, subito applicabile e poco costosa, è anche vero che non sono esenti da alcuni inconvenienti e insidie. Innanzitutto cuffie e tappi non sono accettati volentieri da chi li deve portare perché danno un certo inevitabile fastidio fisico e psicologico, per cui devono essere scelti con molta cura, cercando di trovare il massimo comfort individuale (meglio se si può fare scegliere all'interessato tra diversi modelli).

Deve poi essere curata una certa manutenzione e soprattutto la pulizia, altrimenti si potrebbero originare sulla pelle o nel condotto auricolare irritazioni ed infezioni. Per le cuffie l'efficacia dipende anche dalla tenuta dei cuscinetti sulla testa, dalla lunghezza dei capelli, dalla direzione del rumore, dalla forza della molla, dalla presenza di barba o di stanghette di occhiali.

I tappi vanno posizionati con cura in modo da assicurare una buona tenuta con la parete del canale auricolare; inoltre, per garantire la prevista attenuazione del rumore, devono essere infilati abbastanza in profondità.

Tutte queste operazioni sono difficilmente controllabili sia dall'interessato sia da altri. Comunque l'inconveniente più pesante di questi mezzi di protezione è quello legato al rapporto tempo di indossamento/tempo di esposizione al rumore. Tale rapporto dovrebbe essere sempre uguale a 1; in realtà invece, sia per motivi fisici, sia per motivi psicologici (barriera alla conversazione, senso di isolamento ecc.), spesso l'operatore è portato a togliersi la cuffia per un certo tempo, riducendo così drasticamente il previsto effetto protettivo.

Ciò è evidenziato dal diagramma di fig. 17: considerando una cuffia con protezione nominale di 30 dB, vediamo che la protezione effettiva non supera i 9 dB se la cuffia stessa viene tolta per 1 ora su 8 ore di esposizione; se si toglie la cuffia solo per 5 minuti rispetto al periodo di 8 ore, la protezione è di soli 19,5 dB anziché 30 dB.

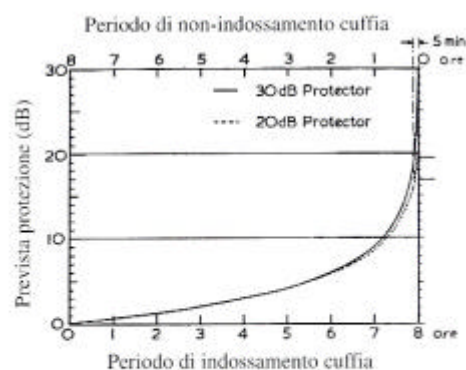
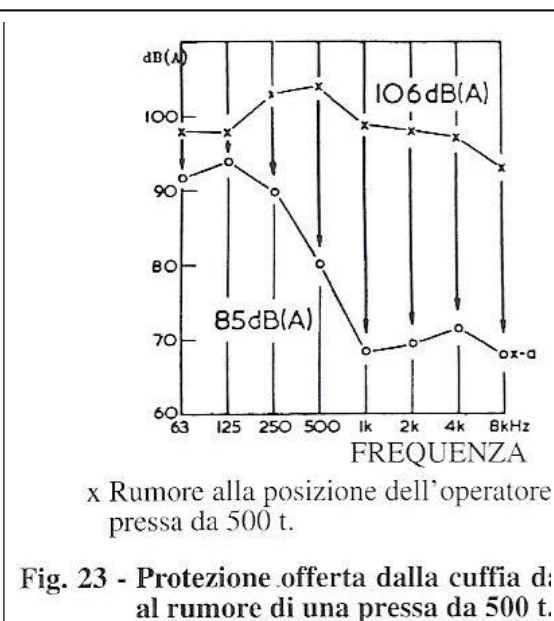
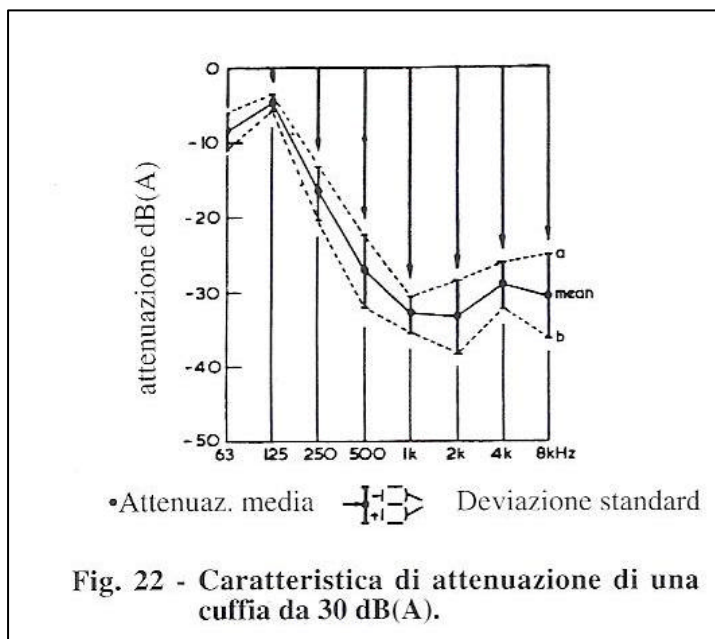


Fig. 21 - Protezione effettiva di cuffie da 30 dB e 20 dB in funzione del tempo reale di indossamento.



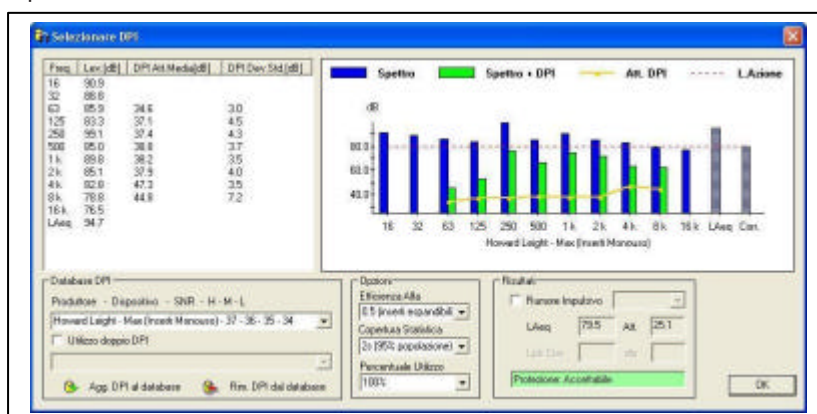
Nello scegliere la cuffia, si deve fare attenzione a non farsi ingannare dalle cifre; se per esempio abbiamo una cuffia con valore di attenuazione dichiarato dal costruttore pari a 30 dB(A), bisogna tenere presente che tale valore è una indicazione media ed il sottrarlo alla fonte di rumore potrebbe portare ad illusorie garanzie di protezione. Infatti è opportuno esaminare il diagramma di protezione alle varie frequenze che di solito corredata la cuffia e metterlo a confronto con l'analogo diagramma della fonte di rumore. Per esempio, nella fig. 18 vediamo il diagramma di protezione di una cuffia da 30 dB(A) nominali; le curve 'a' e 'b' rappresentano le deviazioni standard rispetto al valore medio: per prudenza, si considera la curva 'a' come caratteristica della cuffia. Vediamo ora l'effetto protettivo sottraendo i valori di questa curva dai relativi punti dello spettro di rumore dato da una pressa da 500 ton (curva x x, fig. 19). La curva x-a risultante rappresenta l'effettivo spettro di rumore assorbito dall'operatore provvisto di cuffia come sopra specificata. Volendo ragionare in termini di valori complessivi di dB(A), si sommano i contributi dati dai livelli di rumore alle singole frequenze come se tali livelli di rumore fossero prodotti da tante macchine separate, combinandoli a due a due col nomogramma descritto nel paragrafo 1.10: avremo per la curva 'x' (pressa) un valore complessivo di 106 dB(A) e per la curva 'x-a' (operatore con cuffia) un valore di 85 dB(A). Si vede quindi che, mentre la cuffia ha valori di protezione che superano i 30 dB(A) in certe frequenze, la effettiva protezione raggiunta è di soli 106-85 = 21 dB(A), sempre che la cuffia sia stata indossata correttamente e per tutto il tempo di esposizione.

In generale, i DPI si scelgono in base ai criteri della UNI EN 458; inoltre i DPI devono essere dotati di marcatura di certificazione di conformità (marcatura CE).

Secondo la UNI EN 458, ogni protettore auricolare deve essere accompagnato dai dati di attenuazione sonora forniti dal fabbricante, espressi in 3 modi:

- **APV**: esprime con una serie di valori, in dB, l'attenuazione sonora del DPI per lo spettro di frequenza in banda d'ottava che va da 125 Hz a 8kHz; nel caso in cui vengano forniti sia i valori medi dell'attenuazione sia quelli presunti (espressi come differenza tra l'attenuazione media e la deviazione standard) occorre usare per i calcoli i valori di protezione presunti;
- **H, M, L**: esprime con 3 valori, in dB, l'attenuazione sonora del DPI per le frequenze alte (High), medie (Medium) e basse (Low); il fabbricante ricava questi valori dai valori in banda d'ottava;
- **SNR**: esprime con un solo valore, in dB, l'attenuazione sonora semplificata (Simplified Noise Reduction) del DPI; il fabbricante ricava questo valore dai valori in banda d'ottava.

L'attenuazione deve essere tale da non generare una protezione insufficiente o, viceversa, una iperprotezione. Lo spettro di attenuazione dovrebbe essere scelto in funzione dello spettro del rumore da cui proteggere e delle modalità di espletamento del lavoro.



Scelta dei DPI con software Noise Studio

3.4 Come ridurre il rumore

Si è già accennato in precedenza che il modo più concreto per affrontare il problema rumore è quello di cercare di ridurlo, anziché accettarlo così com'è, tentando di proteggersi in qualche modo.

Le direttrici base per la riduzione del rumore sono:

- modifica della acustica dell'ambiente
- separazione dell' operatore dalla sorgente di rumore per mezzo di barriere fisiche
- ridimensionamento del rumore all'origine
- controllo attivo del rumore (sperimentale)

3.4.1 Diagnosi

Il primo passo è una accurata diagnosi che permetta di risalire dal rumore irradiato dalla sorgente di rumore, sorgente che può essere o di tipo aerodinamico (ventilatori, scarichi ecc.) o una superficie che vibra. In questo ultimo caso si deve risalire alla causa che genera la vibrazione. Molto utile in questa ricerca è un vibrometro che permette di misurare i parametri della vibrazione (accelerazione, velocità e spostamento). In generale, ci saranno sorgenti multiple di rumore e in tale situazione sarà opportuno classificarle in ordine di importanza, in modo che si cominci a trattare prima le sorgenti dominanti. Una volta completata la diagnosi, si possono prospettare le varie soluzioni o combinazioni di soluzioni. Di solito, è più economico e più pratico cercare di introdurre modifiche più vicine possibile alla sorgente del rumore. Ovviamente, l'ideale sarebbe considerare questi problemi in fase di progetto macchina, con una notevole riduzione dei costi.

Nella fig. 20 sono rappresentate le più comuni fonti di rumore che si incontrano nei processi industriali.

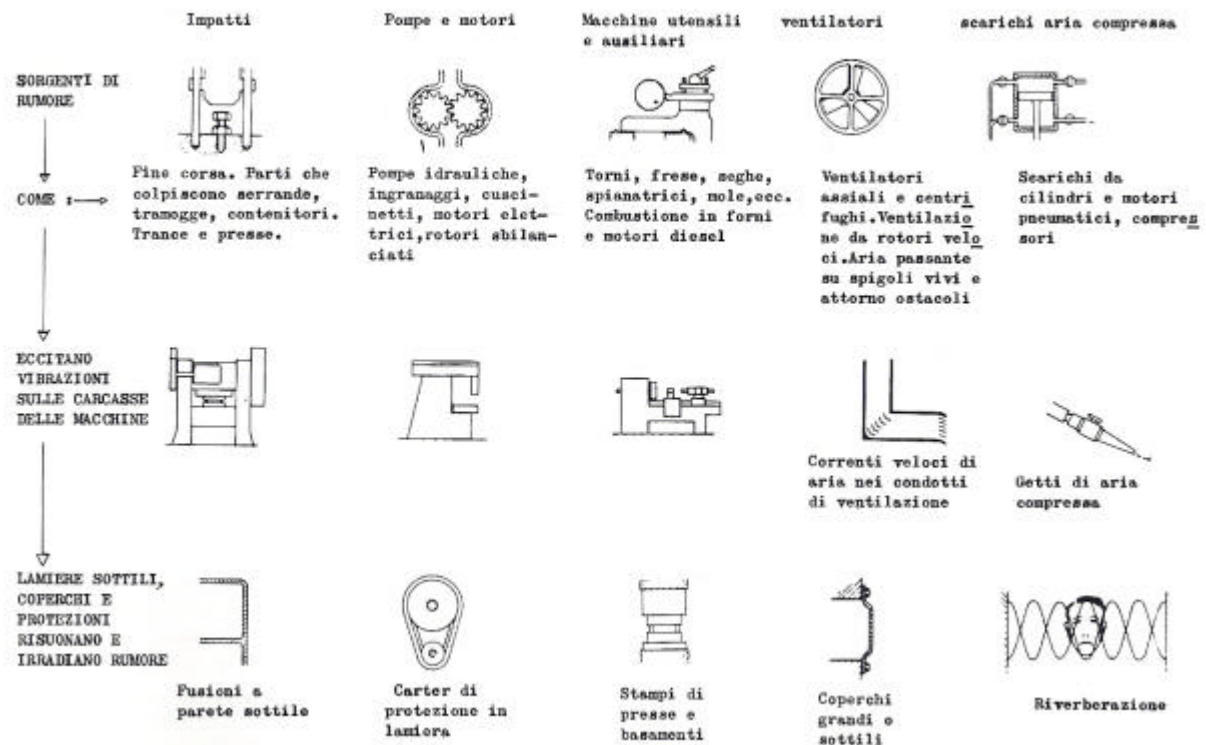


Fig. 25 - Processi industriali che generano rumore

3.4.2 Modifica dell'acustica ambientale con materiali fonoassorbenti

In primo luogo, si dovrebbe cercare di eliminare il rumore riflesso dalle pareti di un ambiente, usando *materiali fonoassorbenti*. Questa tecnica può essere convenientemente applicata in fase di costruzione dell'edificio, prevedendo insieme all'isolamento termico anche quello acustico: a questo stadio i costi aggiuntivi sono veramente modesti. In ogni caso questi rivestimenti fonoassorbenti sono efficaci solo contro la riflessione del rumore e non fanno diminuire il livello di rumore all'origine.

Le *barriere* sono usate per riflettere il rumore lontano da una certa area: all'interno di una fabbrica, dovrebbero essere combinate con rivestimenti fonoassorbenti per evitare la riflessione attorno alla barriera stessa. La barriera, per essere efficace, deve essere posta il più possibile vicino alla sorgente.

Le *cabine isolanti* sono delle costruzioni in materiali fonoassorbenti che circondano completamente la macchina e la isolano acusticamente dall'ambiente circostante. Queste cabine sono realizzate generalmente con strutture abbastanza pesanti, foderate all'interno con materiali fonoassorbenti per evitare riverberazioni. Il grado di efficacia di una cabina dipende anche dalla tenuta al rumore che si riesce a realizzare nonostante i diversi interstizi necessari per prese d'aria, ingresso e uscita materiali ecc. Le cabine permettono alte attenuazioni di rumore; per contro sono costose e rendono l'accesso alla macchina e la manutenzione più difficile.

3.4.3 Riduzione del rumore all'origine

La riduzione del rumore all'origine comporta l'applicazione di accorgimenti tecnici atti a modificare il comportamento acustico della macchina. La casistica è molto varia e ogni problema richiede un esame specifico. Un metodo drastico può essere quello di cambiare il sistema operativo, sostituendolo con un altro meno rumoroso (es.: saldatura, anziché chiodatura), dove possibile. Di solito però tocca modificare la macchina, intervenendo o su singoli componenti operativi (ingranaggi, motori, cuscinetti ecc.) o sul tipo di materiali (materie plastiche anziché metallo). In certi casi si ottiene una riduzione del rumore con una diminuzione di velocità degli organi rotanti; ciò però comporta altre modifiche per mantenere il livello produttivo o per non variare altri parametri del processo (pressioni, portate ecc.). Altri interventi utili per l'abbassamento del livello di rumore possono essere l'irrigidimento di lamiere, carter, coperchi e cupole protettive, tenendo presente che ciò che vibra produce rumore. Molto efficace, a questo proposito, è l'inserimento di dispositivi e materiali antivibranti (molle, supporti elastici, guarnizioni di gomma ecc.), non solo sull'impianto, ma in certi casi anche sul prodotto da lavorare.

Diamo qui di seguito, a titolo di esempio, la descrizione di alcuni casi pratici risolti.

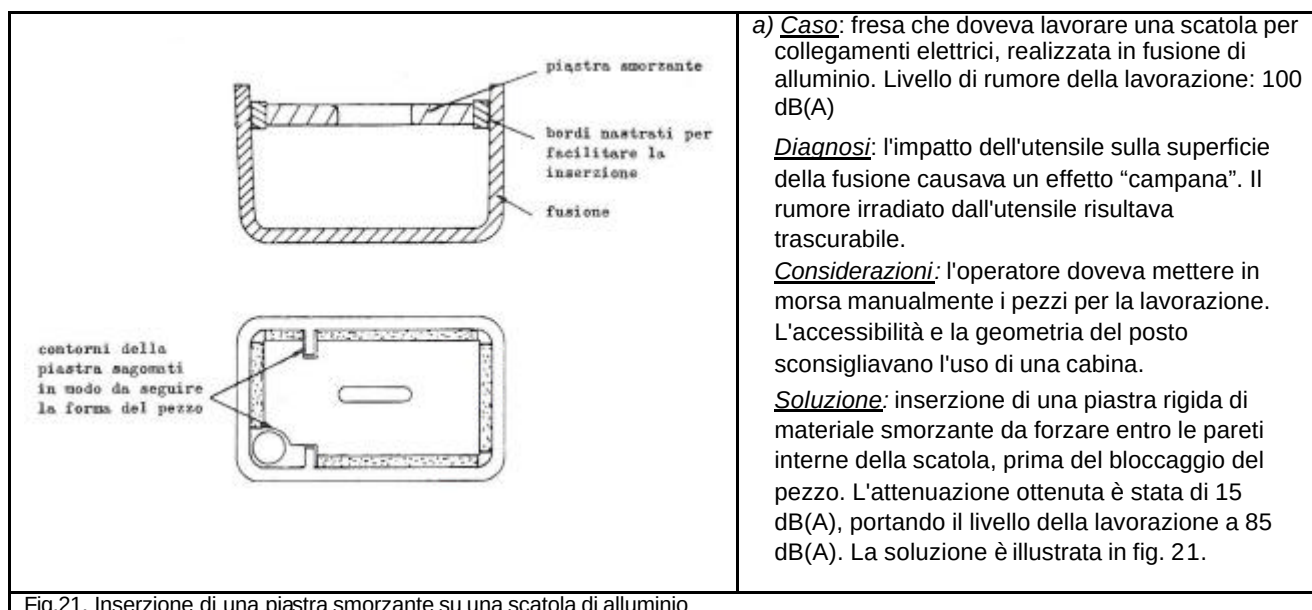


Fig.21. Inserzione di una piastra smorzante su una scatola di alluminio

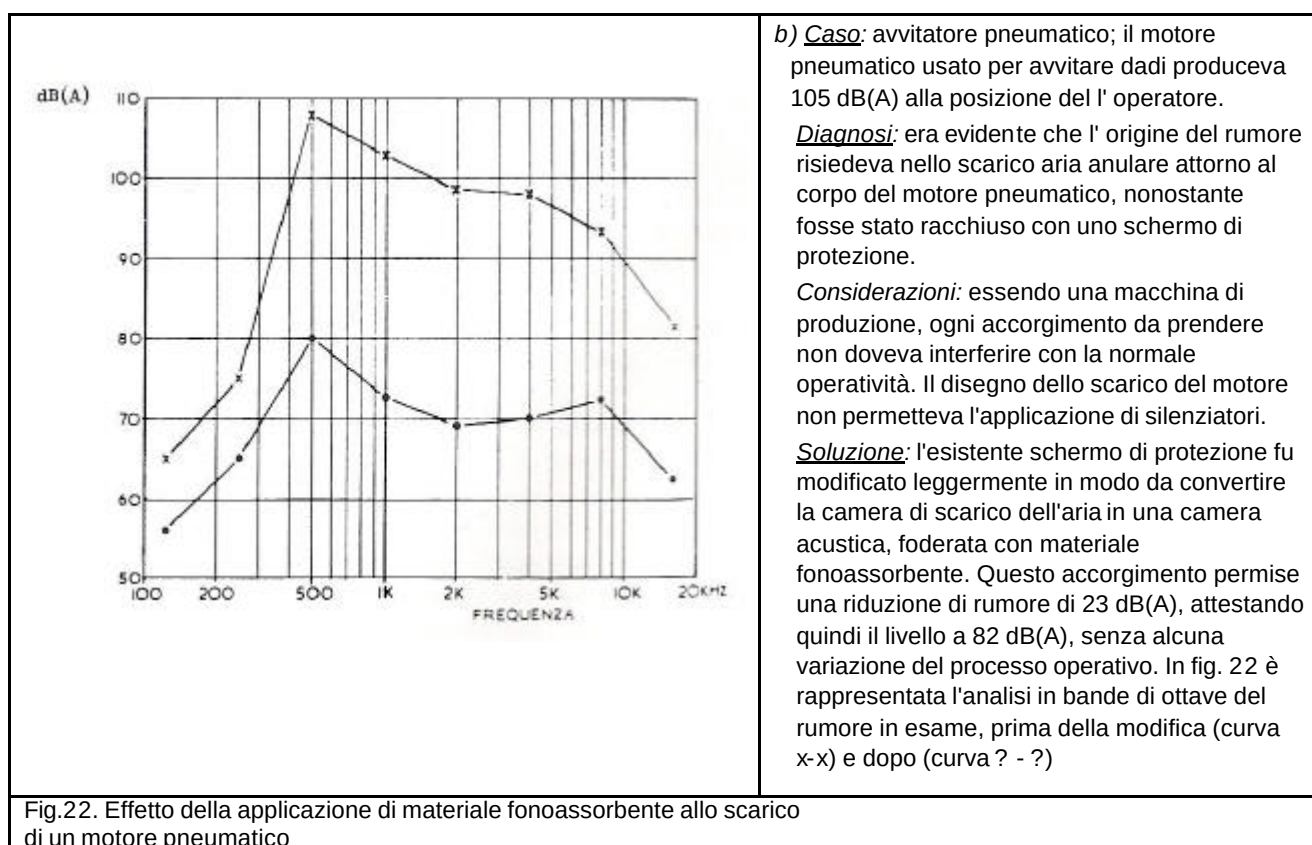
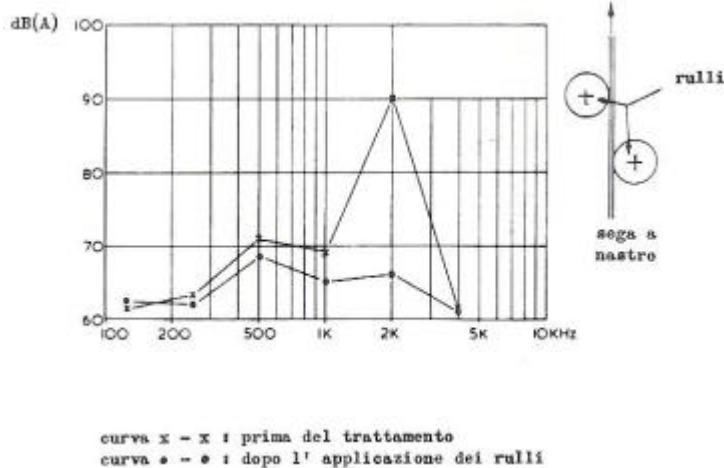


Fig.22. Effetto della applicazione di materiale fonoassorbente allo scarico di un motore pneumatico



c) Caso: sega a nastro. Sega a nastro orizzontale usata per tagliare dischi da un tondo di acciaio al carbonio; causava uno stridore penetrante con conseguenti proteste da parte dei residenti limitrofi all' officina. Il livello di rumore era di 90 dB(A) vicino alla macchina.

Diagnosi: sorgente del rumore (di livello non particolarmente elevato, ma relativo ad una armonica fastidiosa) risiedeva nella vibrazione della lama. Più precisamente, l'impatto regolare dei denti della sega causavano una risonanza sulla lunghezza della lama tra un supporto e l'altro. Oltre al rumore, questa vibrazione provocava anche delle striature sulla superficie di taglio.

Considerazioni: la macchina doveva essere caricata manualmente e una eventuale cabina di insonorizzazione avrebbe dovuto permettere il piazzamento dei materiali da lavorare. Ci sarebbero stati problemi anche per la manutenzione.

Soluzione: si prevede un dispositivo di smorzamento delle vibrazioni, consistente in due rulli di scorrimento della lama. Questi rulli, montati su un braccio pivotante in posizione intermedia, permettevano di tenere la lama in leggera flessione. La riduzione del rumore fu notevole (23 dB(A)) e fu eliminato lo stridore a 2 kHz. Inoltre risultò migliorata la qualità del taglio e fu aumentata anche la vita della lama. In fig. 23 si illustra l'analisi in bande di ottava del rumore prima della modifica (curva x-x) e dopo (curva ? - ?)

Fig.23. Trattamento per ridurre la vibrazione flessionale di una lama a nastro

3.4.4 Controllo attivo del rumore

Il principio è quello di analizzare e poi riprodurre con un altoparlante un rumore uguale a quello originale, ma in opposizione di fase: la combinazione dei due segnali tende ad annullarsi. Questo sistema, teoricamente molto semplice, è in realtà di difficile applicazione e per ora è in fase sperimentale. Si sono già tuttavia realizzate limitate applicazioni pratiche, ad esempio:

- marmitte senza contropressione allo scarico
- cuffie a controllo attivo per piloti di aereo, sala macchine, ecc.
- insonorizzazione grossi ventilatori industriali, turbine.

3. ALTRI APPARECCHI, OLTRE I FONOMETRI

3.1 I dosimetri di rumore

Varie Normative, specialmente all'estero, hanno specificato l'uso dei dosimetri di rumore.

Si tratta di fonometri integratori miniaturizzati e fissati sulla persona. L'impiego dei dosimetri risulta indispensabile nei casi in cui il lavoratore abbia schemi di esposizione imprevedibili, per la necessità di spostarsi continuamente nei vari punti dello stabilimento.

Casi tipici sono i carrellisti, gli addetti alla manutenzione, i capi-officina, ecc. I dosimetri registrano tutti i contributi di rumore ed alla fine del periodo di 8 ore danno una misura in percento rispetto al limite di legge (impostabile): per esempio, una indicazione di 105% significa un superamento del limite. Possono anche dare tutta la registrazione della time history dell'esposizione al rumore nel periodo di indossamento, con eventuali grafici e statistiche.

Il dosimetro va impiegato ovviamente in quei casi in cui non è possibile misurare l'esposizione di un lavoratore con il fonometro ed è quindi di grande utilità.



Dosimetro CEL 350 indossato e dettaglio

In Italia tuttavia il dosimetro risulta poco usato, a nostro parere, per un equivoco. Infatti in Italia alcuni enti di controllo e di normalizzazione richiedono dosimetri in classe 1, la qual cosa risulta problematica per i motivi sotto accennati.

Come esistono Norme precise per la costruzione dei fonometri (IEC 61672, precedentemente IEC 651 e IEC 804) e dei calibratori (IEC 60942), esistono Norme costruttive per i dosimetri (IEC 61252): queste ultime norme stabiliscono una unica classe di precisione per i dosimetri, ossia la classe 2 (par.1.3). Questo anche perchè i dosimetri sono strumenti di misura in movimento, in quanto vanno indossati sulla persona e pertanto, anche se utilizzassero microfoni ed elettronica in classe 1, la misura sarebbe in ogni caso di classe 2, in quanto non misura fissa.

Pertanto, secondo le Norme che regolano la costruzione degli strumenti (IEC), non possono esistere dosimetri in classe 1.

Dato che le Norme IEC sono riconosciute in tutto il mondo (negli USA esistono Norme ANSI perfettamente coincidenti con le IEC) e dato che nessuno si è mai sognato di contestare le IEC riguardanti la costruzione dei fonometri e dei calibratori, non si capisce perchè in Italia, diversamente da tutti gli altri paesi, si pretenda di avere dosimetri in classe 1. Riteniamo quindi completamente errata la richiesta di dosimetri in classe 1 e, ancora di più, la pretesa di adattare un fonometro di classe 1 sulla persona (anche in questo caso la misura sarebbe comunque in classe 2).

Vogliamo ricordare anche che, sempre secondo le definizioni delle IEC, la precisione degli strumenti in classe 1 è di 0,7 dB, mentre quella dei fonometri in classe 2 è di 1 dB (differenza di 0,3 dB, abbastanza trascurabile, tenuto conto delle incertezze della misura): pertanto anche l'utilizzo di strumentazione in classe 2 (dove non è possibile l'impiego di quella di classe 1) non dovrebbe scandalizzare.

Da ultimo, ci sembra giusto ricordare che, in ogni caso, ciò che è obbligatorio in Italia è quanto pubblicato nelle Leggi; in particolare il Testo Unico sulla sicurezza DL 81/2008 recita: "I metodi e le strumentazioni utilizzati devono essere adeguati alle caratteristiche del rumore da misurare, alla durata dell'esposizione e ai fattori ambientali secondo le indicazioni delle norme tecniche" (Art.190.3). Quindi, se il rumore da valutare ha una caratteristica di variabilità ed imprevedibilità e richiede una misura sulla persona, non si può che utilizzare gli apparecchi che le Norme IEC hanno previsto per tale uso: i dosimetri come definiti dalle IEC 61672.

3.2 I calibratori acustici



Calibratore acustico CEL110 secondo IEC 60942:2003

I calibratori sono apparecchi che emettono un suono calibrato con un livello noto in dB e ad una frequenza stabilita.

Sono essenzialmente costituiti da una scatola con un foro per l'inserzione a tenuta del microfono del fonometro.

L'inserzione del microfono chiude la cavità entro la quale viene prodotto il livello di rumore campione.

Normalmente i livelli dei calibratori sono 94 dB o 114 dB, ad una frequenza di 1 kHz.

Esistono calibratori ad uno o più livelli.

Le Norme IEC 60942 stabiliscono come precisione del livello generato:

- calibratori in classe 1: $\pm 0,3$ dB
- calibratori in classe 2: $\pm 0,5$ dB

La calibrazione è dipendente dai fattori ambientali, in particolare dalla pressione atmosferica.

L'ultima edizione della Norma IEC 60942 (del 2003) prevede calibratori con compensazione rispetto alle condizioni ambientali (pressione, umidità e temperatura).

Nelle misure ufficiali è richiesta la verifica della calibrazione del fonometro prima ed alla fine delle misure; le misure sono ritenute valide se le due calibrazioni non evidenziano differenze di livello $> 0,5$ dB.

3.3 I registratori digitali

3.3.1 DAT (Digital Audio Tape) – registrazione digitale su nastro

Usati specialmente nel passato, quando non esistevano fonometri con memoria.

Essenzialmente si tratta di registratori audio ad alta fedeltà con i quali si effettua la registrazione del rumore. L'eccellente livello di registrazione e riproduzione è ottenuto tramite l'ausilio di una testina controrotante (nelle direzioni opposte allo svolgimento della bobina) ad alta velocità che, agendo sul nastro, porta ad un'incisione digitale dell'evento sonoro con un ottimo rapporto segnale rumore (molto alto) a causa della elevata velocità di rotazione della testina (2000 rpm).

Il formato di registrazione è il formato WAV (un formato digitale non compresso che si avvicina con estrema precisione alla curva analogica del segnale originale).

Il vantaggio è quello di avere la registrazione del rumore in esame e di poterla poi riprocessare in studio per ricavarne i parametri che interessano.

Presentano non pochi problemi legati alla dinamica limitata, alla durata massima della registrazione (circa 3 ore), alla problematicità della calibrazione. Inoltre sussistono problemi anche per la taratura SIT.

Con l'arrivo dei fonometri data logger e multifunzione, sono andati in disuso.

3.3.2 Registratori solid state

I DAT ad oggi sono stati sostituiti da registratori digitali "solid state" in cui la cassetta col nastro ha lasciato spazio a supporti rigidi quali hard-disk, schede di memoria e CD. I formati di registrazione offerti sono solitamente molteplici, oltre al WAV nella maggior parte dei casi si trova l'MP3 (anche se è utile ricordare che MP3 non è un FORMATO ma un PROCESSO tramite il quale vengono eliminate delle informazioni dal segnale originale per ottenere un file di più ridotte dimensioni); L'MP3 **non** è da utilizzare per una post-analisi del segnale, ma solo come testimonianza di "ciò che è successo".

Tali registratori esistono anche multicanali (anche più di 8). I registratori digitali ad oggi vengono utilizzati non tanto per sopperire alla mancanza di memoria del fonometro (tutti i fonometri moderni sono datalogger) ma soprattutto per mantenere traccia sonora degli eventi accaduti durante la misura strumentale (per esempio nei casi di contenzioso).

3.3.2 Fonometri di ultima generazione

I fonometri di ultima generazione, grazie alla sempre maggiore quantità di memoria ospitata o la possibilità di espandere la stessa tramite schede aggiuntive e a delle opportune opzioni di configurazione, sono essi stessi ottimi registratori digitali (solitamente in formato WAV con addirittura possibilità di scegliere la frequenza di campionamento) in cui è possibile anche fissare una soglia di "trigger" alla registrazione, ovvero la possibilità di registrare non tutto l'evento osservato ma unicamente al superamento di soglie prestabilite di pressione sonora, in modo di conservare memoria utile.

3.4 Gli accessori per misure di acustica negli edifici

Sono accessori che permettono di qualificare acusticamente un edificio, secondo quanto richiesto dal DPCM 05.12.1997 (v. al paragrafo 4.9) e, recentemente, dal DM 26 giugno 2009 "Linee guida nazionali per la certificazione energetica", che rende obbligatorio redigere l'Attestato di Certificazione Energetica per gli atti di compravendita di immobili.

Per queste misure servono:

- per le misure riguardanti le partizioni verticali (pareti), la catena strumentale è costituita da: generatore di rumore+amplificatore+diffusore acustico. Taluni costruttori riescono a dare questa catena in uno strumento unico e chiaramente offrono la comodità di un minore ingombro e più agevole portabilità
- per le misure riguardanti le partizioni orizzontali (solette): macchina da calpestio



Diffusore omnidirezionale con incorporato generatore di rumore ed amplificatore



Macchina da calpestio

- generatore di rumore:** la pressione sonora da misurare viene solitamente prodotta tramite opportune sorgenti di rumore calibrate con le quali vengono diffusi dei particolari tipi di segnale sonoro denominati "rumore bianco" e "rumore rosa". Tali segnali vengono utilizzati in modo alternato a seconda delle condizioni di misura
- amplificatore:** il segnale prodotto dal generatore deve essere amplificato ed inviato al diffusore. Si possono usare amplificatori del tipo HI FI di potenza adeguata (di solito >200W)
- diffusore:** per energizzare gli spazi interni di un edificio, ultimamente si preferiscono i diffusori omnidirezionali. Tali diffusori sono dei poliedri (es: a 6 facce, a 12 facce, ecc): la omnidirezionalità deve essere comprovata secondo le specifiche della ISO 140
- macchina da calpestio:** è costituita da una serie di martelletti normalizzati che sono movimentati in modo da simulare il calpestio. Anche qui, dimensioni e funzionamento delle varie parti sono normalizzate (ISO 140-7)

4. LEGISLAZIONE E MISURE

4.1 Premessa

Le leggi specifiche sul rumore attualmente vigenti in Italia sono parecchie. Esse vengono solitamente suddivise in leggi che regolamentano limiti e metodologia di misura per quanto attiene al rumore in ambienti di vita (rumore in ambiente esterno ed in ambiente abitativo) e per quanto attiene al rumore in ambiente di lavoro.

Prima di effettuare una breve descrizione per ognuna di esse è utile ricordare come la figura di *tecnico competente* in acustica ambientale (definita dall'Art. 2, comma 6, 7 e 8, legge 447/95) sia un titolo da documentare necessario per effettuare le misure ambientali, mentre, allo stato, nessuna certificata competenza è richiesta per l'effettuazione di misure in ambiente di lavoro.

Si rimanda ai testi di legge ufficiali per una informazione completa. Consigliamo di studiare attentamente Leggi e Norme prima di affrontare le misure, pianificando dettagliatamente a tavolino quanto si dovrà fare in campo.

Qui si seguito si evidenziano e si commentano i punti salienti delle leggi in materia di rumore tra le più significative (ed utilizzate) dal punto di vista delle misure pratiche.

4.2 D.Lgs. 9 aprile 2008 n° 81 “Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro” (Titolo VIII – Capo II)

Fissa gli obblighi del Datore di lavoro al fine di tutelare la salute (nello specifico caso l'udito) dei lavoratori oltre a stabilire diversi livelli di rischio per l'organo uditivo.

Il danno uditivo viene valutato in base al livello equivalente ponderato “A” [LAeq], calcolato come media sulle 8 ore lavorative giornaliere [LEX,8h], e la pressione istantanea di picco ponderata “C” [p_{peak}”C”].

E' facile intuire come per un semplice svolgersi delle operazioni di misura lo strumento più adatto sia un fonometro in grado di rilevare e registrare su memoria queste due grandezze in parallelo (simultaneamente).

I valori imposti sono i seguenti:

- valore inferiore di azione: 80 dB(A) LEX,8h – 135 dB(C) p_{peak}
- valore superiore di azione: 85 dB(A) LEX,8h – 137 dB(C) p_{peak}
- valore limite di esposizione: 87 dB(A) LEX,8h – 140 dB(C) p_{peak}

- ❖ Per valori inferiori ai valori inferiori di azione non esiste nessun obbligo da parte del Datore di lavoro.
- ❖ Per valori superiori ai valori inferiori di azione vige l'obbligo per il datore di lavoro di elaborare ed applicare un programma di misure tecniche ed organizzative volte a ridurre l'esposizione al rumore oltre alla informazione e formazione dei lavoratori ed alla fornitura dei dispositivi di protezione individuali (tappi – cuffie).
- ❖ Per valori superiori ai valori superiori di azione vige l'obbligo per il datore di lavoro di fare indossare i dispositivi di protezione individuali oltre alla sorveglianza sanitaria per gli esposti a tali limiti.
- ❖ Per valori superiori ai limiti di esposizione vige l'obbligo per il datore di lavoro di misure immediate per fare rientrare l'esposizione al di sotto di tali limiti.

Le verifiche fanno fatte al massimo ogni quattro anni a meno di cambiamenti (nuovo layout aziendale, acquisto di nuovi macchinari, adozione di nuovi processi produttivi) che possano aver resa superata la valutazione precedente.

Misure

Si devono fare due tipi di misure:

- livello equivalente con ponderazione A
- livello di picco con ponderazione C

a) Misure di livello equivalente.

Queste misure hanno lo scopo di determinare l'esposizione personale giornaliera al rumore. Nel caso in cui la esposizione sia diversa nei vari giorni della settimana, si calcolerà l'esposizione settimanale (v. più avanti). Si deve fare una mappatura del rumore, ossia si devono determinare i livelli equivalenti di rumore almeno in tutti i punti dove è prevista la presenza di un addetto.

Le misure si effettuano presso la postazione operatore preferibilmente posizionando il microfono in direzione della sorgente, ad altezza dell' orecchio dell'operatore ed alla distanza di 10 cm.

Le misure devono contemplare TUTTE le situazioni di esposizione del lavoratore nelle 8 ore.

Si valuta il Leq(A) con costante di tempo “Fast” in quel punto per un tempo sufficiente a descrivere la situazione di rumore: generalmente, tenuto conto che i cicli delle macchine sono abbastanza brevi, è sufficiente un periodo di qualche minuto. Fatto questo per tutti i punti in cui è possibile la presenza di addetti, si calcolerà poi a tavolino con la formula indicata nella legge l'effettivo livello equivalente giornaliero in base ai tempi reali di esposizione ai diversi livelli di esposizione.

Infatti, nel caso teorico in cui l'operaio sta sulla stessa macchina che lavora con lo stesso ritmo per 8 ore al giorno, è ovvio che il livello di esposizione giornaliero coincide con il livello equivalente misurato per pochi minuti.

Ciò è evidente se si considera il livello equivalente definito da una frazione con a numeratore il contributo di rumore ed a denominatore il tempo che passa: è chiaro che se il rumore procede con lo stesso ritmo e il tempo aumenta con la scansione costante dell' orologio, il rapporto è costante; ossia, se continuassimo a misurare il livello equivalente anche per ore, leggeremmo sempre la stessa misura.

In pratica tuttavia, è più normale il caso in cui un addetto si sposta da una macchina all'altra, oppure lavora alcune ore ad una macchina e poi si trasferisce ad una situazione rumorosa diversa (es: ufficio).

Inoltre è comune anche il caso in cui si abbiano tutte le macchine in funzione per un periodo, per un altro periodo un numero ridotto di macchine in lavoro, ecc.

Si potrebbe quindi arrivare ad una schematizzazione di questo tipo:

Punti	Situazione di lavoro 'a'		Situazione di lavoro 'z'
P1	dB(A)		dB(A)
P2	dB(A)		dB(A)
.....			
Pn	dB(A)		dB(A)

in cui la situazione di lavoro si riferisce a 'x' macchine in funzione. Si procede ad effettuare le misure secondo le varie situazioni di lavoro ipotizzate: ovviamente queste ipotesi vanno effettuate sotto le direttive del responsabile dell'azienda o dell' officina.

Le misure finiscono qui per quanto riguarda il livello equivalente; il livello di esposizione giornaliero LEX,8h o settimanale LEX,w si calcolano poi a tavolino per mezzo delle formule (v. avanti) in base alle ore effettive di esposizione.

A tale proposito, è utile osservare che la valutazione di queste ore di esposizione (valutazione fornita dal responsabile dell'officina) è di fondamentale importanza agli effetti del risultato finale. Rimandiamo agli esempi di calcolo per una più chiara visione di quanto sopra esposto.

b) Misura del valore di picco.

Simultaneamente alla misura del livello equivalente con ponderazione "A" [LAeq] e costante di tempo "fast" si procede alla misura del livello di picco con ponderazione "C" [p_{peak} (C)].

Calcoli.

La misura dei livelli equivalenti nei vari punti dello stabilimento è la base per il calcolo del livello di esposizione giornaliero o settimanale.

La legge fornisce le formule per il calcolo. I calcoli richiedono l'uso di logaritmi e di esponenziali: sarà bene dotarsi di calcolatori in grado di eseguire tali algoritmi, oppure procurarsi piccoli programmi software già predisposti per i calcoli richiesti dalla legge ed altri calcoli ausiliari.

Nota: nei calcoli di esempio a seguire, i tempi sono espressi in ore e le frazioni di ora sono espresse in decimali. Es.: un'ora e mezza = 1,5 ore. Nulla comunque vieta di scegliere una base di tempo differente come ad esempio i minuti (8h = 480 min.).

a) Livello giornaliero (LEX,8h = livello esposizione giornaliera su di un periodo di 8 ore):

$$LEX,8h = L_{AeqTe} + 10 \log_{10} T_e/T_o$$

dove:

L_{AeqTe} = Livello equivalente in dB(A), misurato con il fonometro, relativamente alle ore quotidiane di esposizione Te

To = tempo di riferimento= 8 ore

Questa formula serve per "spalmare" sulle 8 ore il tempo di esposizione effettivo al rumore.

Esempio:

Un lavoratore lavora ad una macchina utensile per 5 ore, mentre per le altre 3 ore lavora in ufficio, con livello di rumore trascurabile.

Il livello equivalente nel punto di lavoro alla macchina è di 86,0 dB(A).

Applicando la formula con Te=5 ore, risulta Lex,8h = 84,0 dB(A)

b) Livello settimanale (LEX,w = livello esposizione, week):

$$LEX,w = 10 \log_{10} [1/5 \sum_{(K=1,m)} 10^{0,1 (LEX,8h)_K}]$$

L'esposizione settimanale LEX,w DEVE ESSERE la somma logaritmica mediata sul numero di giorni lavorativi dei LEX,8h registrati negli "m" giorni di lavoro nella settimana considerata.

Questa formula serve nei casi in cui la esposizione dei lavoratori sia diversa a seconda dei giorni della settimana. In tal caso si devono calcolare i livelli giornalieri LEX,8h dei vari giorni e calcolarne la somma logaritmica, mediata sul numero di giorni lavorativi, con la formula sopra indicata.

L'applicazione di tale stima è possibile unicamente se ognuno dei livelli dei LEX,8h calcolati nei vari giorni lavorativi risulta inferiore ai valori limite di esposizione.

Esempio :

Si abbia il seguente caso con esposizione LEX,8h nei diversi giorni:

Lunedì = 83 dB(A)

Martedì = 78 dB(A)

Mercoledì = 86 dB(A)

Giovedì = 70 dB(A)
Venerdì = 83 dB(A)

Applicando la formula, risulta $L_{EX,w} = 82,4$ dB(A).

c) Somma di livelli equivalenti parziali.

Spesso capita di dover valutare il livello equivalente giornaliero come risultante di diversi livelli equivalenti di durata "n" ore.

Caso tipico quello dell' operaio che lavora "x" ore sulla macchina 1, "y" ore sulla macchina 2, ecc. Per ottenere il livello equivalente totale, si applica la formula:

$$L_{eq,T} = 10 \log (1/T) [t_1 10^{(0,1 L_{Aeq_1})} + t_2 10^{(0,1 L_{Aeq_2})} + \dots + t_n 10^{(0,1 L_{Aeq_n})}]$$

(Livello equivalente totale nel periodo di "T" ore come somma di "n" livelli equivalenti L_{Aeq_i} ciascuno relativo al periodo t_i ;))

Esempio

Un operaio lavora 1,5 ore sulla macchina 1 con livello di rumore $L_{eq}=85$ dB(A), poi 1 ora sulla macchina 2 con $L_{eq}= 81$ dB(A) poi 2 ore sulla macchina 3 con $L_{eq}= 87$ dB(A).

La somma dei livelli equivalenti nelle ore di lavoro alle macchine dà un valore di: $L_{eq,T}=85,5$ dB(A).

Dato che il periodo di esposizione è di $1,5+1+2=4,5$ ore, questo tempo di esposizione va poi immesso nella formula del livello giornaliero per avere il valore di esposizione sulle 8 ore, oppure si poteva direttamente nella formula del Livello equivalente totale aggiungere un periodo di 3,5 ore ad un livello trascurabile, es.: 50 dB(A).

Risulta in entrambi i casi, a meno di frazioni di dB: $L_{eq,d}=83,0$ dB(A).

4.3 D.P.C.M. 16.04.1999 n° 215 "Regolamento recante norme per la determinazione dei requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante e di pubblico spettacolo e nei pubblici esercizi"

Il Decreto in oggetto determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore nei luoghi di pubblico spettacolo o di intrattenimento danzante fissando limiti di livello di pressione sonora consentiti, determinati in base agli indici L_{ASmax} (livello massimo ponderato "A" con costante di tempo "Slow") e L_{Aeq} (livello equivalente ponderato "A"). I limiti sono:

- 102 dB L_{ASmax} ;
- 95 dB L_{Aeq} .

Le sorgenti sonore (impianto) vengono suddivise in inidonee ed idonee a superare tali limiti.

Il responsabile della gestione dell'impianto deve fare verificare la potenzialità o meno al superamento dei limiti e provvedere a fare eseguire le misure in conseguenza da parte di un tecnico abilitato.

4.4 Direttiva 2006/42/CE del 17.05.2006 "Direttiva Macchine"

Per quanto riguarda il rumore aereo prodotto dalla macchina, questa direttiva prescrive che le istruzioni per l'uso della macchina debbano contenere le seguenti informazioni:

- il livello equivalente ponderato A (L_{Aeq}) nei posti di lavoro, se tale livello supera i 70 dB(A);
- se il L_{eq} è uguale o inferiore a 70 dB(A), si deve riportare tale constatazione (anche senza quantificare);
- il livello massimo di pressione acustica istantanea ponderata in curva "C" (C_{peak}) nei posti di lavoro, se supera i 63 Pascal [=130 dB(C)];
- il livello di potenza sonora emesso dalla macchina, se il L_{Aeq} nei posti di lavoro supera gli 80 dB.

Per il calcolo della potenza sonora, si seguono le raccomandazioni ISO, scegliendo la Norma che meglio si adatta al proprio caso, sia come precisione, sia come tipo di ambiente di misura.

Si può scegliere tra:

- serie classica ISO 3740 (dalla ISO 3740 alla 3747)
- serie nuova ISO 11200 (dalla 11200 alla 11204)
- ISO 9614 per il calcolo della potenza sonora con metodo intensimetrico.

A parte i metodi intensimetrici, che richiedono misure complesse con strumentazione molto costosa, gli altri metodi schematicamente si possono ridurre a considerare la macchina in esame racchiusa entro una superficie ideale (semisfera o parallelepipedo) sulla quale sono individuati una serie di punti nei quali si fa la misura di livello sonoro istantaneo o equivalente (nel caso il livello non sia costante).

I valori di livello nei vari punti di misura vengono poi mediati con una formula del tipo:

$$L_{pm} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{pi}} \right]$$

dove L_{pm} = livello di pressione medio
 L_{pi} = livello di pressione i-esimo
N = numero di punti di misura

La potenza sonora si calcola poi con una formula che mette in relazione il livello medio alla superficie ideale considerata (S), alle condizioni di riferimento:

$$L_w = L_{pm} + 10 \log S$$

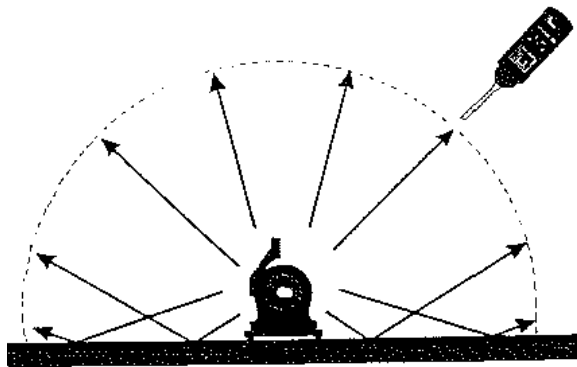
Quando si tratta di una macchina di grandissime dimensioni, l'indicazione del livello di potenza acustica è sostituito dall'indicazione dei LAeq in appositi punti intorno alla macchina.

Allorché non sono applicate le norme armonizzate, i dati acustici devono essere misurati utilizzando il codice di misurazione più appropriato adeguato alla macchina.

Il fabbricante deve indicare le condizioni di funzionamento della macchina durante la misurazione e i metodi di misura seguiti. Se i posti di lavoro non possono essere definiti, la misurazione deve essere eseguita ad 1 m dalla superficie della macchina e ad 1,6 m di altezza dal suolo o dalla piattaforma di accesso.

Devono essere indicati la posizione ed il valore della pressione acustica massima.

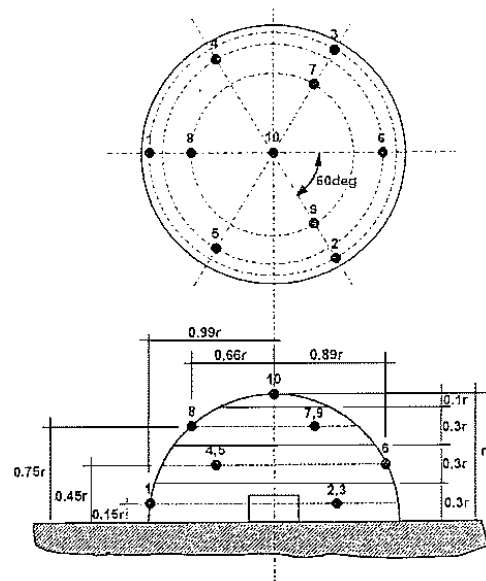
Per le macchine portatili o condotte a mano, viene richiesta una misura di vibrazioni se l'accelerazione supera i $2,5 \text{ m/s}^2$. Se tale livello non è superato, occorre segnalarlo.



$$L_w = L_{pm} + 10 \log S$$

$$S = 2\pi r^2$$

Esempi: motore elettrico su basamento di cemento.



1...10 = punti posizionamento microfoni (ISO 3745).

4.5 LEGGE 26.10.1995 N. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"

Conferma ed amplia il DPCM 01.03.1991 sul rumore in ambiente esterno, non introducendo novità dal punto di vista tecnico delle modalità di misura e degli strumenti.

Contempla il rumore aeroportuale.

Introduce il concetto di valori di attenzione (che comportano un potenziale rischio per la salute) e valori di qualità (come obiettivi da raggiungere).

Definisce la figura del "Tecnico competente" in acustica ambientale.

Stabilisce le varie competenze dello Stato, delle Regioni, delle Province, dei Comuni.

Impone la valutazione previsionale dell'impatto acustico a tutte le nuove installazioni (aeroporti, strade, ferrovie, impianti sportivi e ricreativi, insediamenti produttivi, ecc), e la valutazione di clima acustico (scuole, ospedali, insediamenti residenziali, ecc.). Fissa le sanzioni per i casi di inadempienza.

La "Legge Quadro" 447/95 viene completata dai vari decreti applicativi, dei quali proponiamo un commento qui avanti.

In alcuni casi (comuni che non hanno ancora zonizzazione acustica) vale in D.P.C.M. 01.03.1991 che qui illustriamo nelle parti rimaste in vigore.

4.6 D.P.C.M. 01/03/1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"

Ad oggi il D.P.C.M. in oggetto risulta in molte sue parti superato da decreti e leggi emessi in periodi successivi (v. L.447/95 e decreti successivi) che ne hanno definito meglio alcuni aspetti. Tuttavia, in alcuni casi, viene ancora parzialmente applicato.

Di seguito vengono riportati i casi in cui ancora si applica e in quali parti.

Il D.P.C.M. 01/03/1991 fissa limiti di accettabilità delle emissioni rumorose negli ambienti esterni ed abitativi, cioè si riferisce a rumori prodotti all'esterno dell'ambiente che lamenta il disturbo. Sono esclusi i rumori aeroportuali e quelli derivanti da sorgenti temporanee (cantieri, manifestazioni pubbliche, ecc). Il D.P.C.M. stabilisce limiti assoluti di rumore

per l'ambiente esterno e limiti differenziali all' interno dell'ambiente abitativo: entrambe le limitazioni devono risultare rispettate contemporaneamente.

Ambiente esterno:

secondo il D.P.C.M., i Comuni sono tenuti a suddividere il loro territorio in zone come da tabella 1 a seconda della tipologia degli insediamenti (residenziale, industriale, misto, ecc). Tuttavia, in attesa che i Comuni definiscano tali suddivisioni, il DPCM stabilisce provvisoriamente la zonizzazione e relativi limiti di rumore derivanti da sorgenti fisse, come da tabella 2.

Nonostante il D.P.C.M. sia del 1991, ad oggi alcuni comuni non hanno ancora adottato la suddivisione in zone acusticamente omogenee (zonizzazione acustica). Per tali comuni attualmente valgono i limiti della tab. 2.

Ambiente interno:

il disturbo è quantificato secondo un criterio differenziale. cioè si stabilisce l'incremento di rumore prodotto dalla sorgente in esame (= rumore ambientale) rispetto al rumore in assenza della stessa (= rumore residuo).

Per quanto attiene all'ambiente abitativo la definizione del criterio differenziale è stata aggiornata dal DPCM 14/11/97 di cui verrà data descrizione in seguito.

Misure:

Anche per quanto riguarda la metodologia di esecuzione delle misure e la strumentazione adeguata il DPCM 01.03.1991 è stato superato ed aggiornato dal DM 16.03.1998 commentato più oltre.

Tabella 1: Limiti massimi del livello sonoro equivalente validi in presenza di zonizzazione acustica [Leq espressi in dB(A)]

<i>Classi di destinazione d'uso del territorio</i>		<i>Tempi di riferimento</i>	
		Diurno	Notturmo
I	Aree particolarmente protette	50	40
II	Aree prevalentemente residenziali	55	45
III	Aree di tipo misto	60	50
IV	Aree di intensa attività umana	65	55
V	Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella 2 : Limiti di accettabilità validi in assenza di zonizzazione [Leq espressi in dB(A)]

<i>Zonizzazione</i>	<i>Limite diurno</i>	<i>Limite notturno</i>
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (decreto ministeriale n. 1444/68) (*)	65	55
Zona B (decreto ministeriale n. 1444/68) (**)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70
(*) agglomerati urbani con particolare pregio ambientale. storico o artistico.		
(**) aree totalmente o parzialmente edificate diverse dalla Zona "A".		

4.7 D.P.C.M. 14/11/1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"

Il presente decreto determina i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, inoltre definisce meglio i valori limiti differenziali già introdotti con il D.P.C.M. 01/03/1991 e la Legge 447/95.

I limiti sono riferiti alle classi di destinazione d'uso del territorio secondo le seguenti tabelle:

Tabella B Valori limite di emissione [Leq espressi in dB(A)]

<i>Classi di destinazione d'uso del territorio</i>		<i>Tempi di riferimento</i>	
		Diurno	Notturmo
I	Aree particolarmente protette	45	35
II	Aree prevalentemente residenziali	50	40
III	Aree di tipo misto	55	45
IV	Aree di intensa attività umana	60	50
V	Aree prevalentemente industriali	65	55
VI	Aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella C Valori limite assoluti di immissione [Leq espressi in dB(A)]

Classi di destinazione d'uso del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno	Notturmo
I	Aree particolarmente protette	50	40
II	Aree prevalentemente residenziali	55	45
III	Aree di tipo misto	60	50
IV	Aree di intensa attività umana	65	55
V	Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Tabella D Valori di qualità [Leq espressi in dB(A)]

Classi di destinazione d'uso del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno	Notturmo
I	Aree particolarmente protette	47	37
II	Aree prevalentemente residenziali	52	42
III	Aree di tipo misto	57	47
IV	Aree di intensa attività umana	62	52
V	Aree prevalentemente industriali	67	57
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Verifica valori di attenzione

Si deve valutare il livello equivalente ponderato A (LAeq,TL) relativo al tempo a lungo termine (TL). Il decreto sui limiti presenta due casi:

- a) se i valori di attenzione sono riferiti a 1 ora il LAeq,TL deve essere confrontato con i valori di tab.C del decreto 14/11/97, aumentati di 10 dB per periodo diurno e 5 dB per periodo notturno.
Per la misura del LAeq,TL si fissa un tempo di osservazione TO che comprenda il fenomeno rumoroso da misurare e si fanno misure con durata 1 ora nel tempo di riferimento (cioè periodo diurno o notturno), eventualmente per diversi giorni. La media energetica di tutte queste misure è il LAeq,TL.
- b) se i limiti di attenzione sono relativi ai tempi di riferimento TR, il LAeq,TL deve essere confrontato con valori tab.C del decreto 14/11/97.

In ogni caso il tempo a lungo termine rappresenta il tempo all'interno del quale si vuole avere la caratterizzazione del territorio dal punto di vista della rumorosità ambientale e il LAeq,TL risulta dalla media energetica dei livelli Leq (ottenuti o per integrazione continua o per campionamenti) considerando un numero di periodi diurni e/o notturni sufficiente a descrivere esaurientemente il clima di rumore.

Verifica livello di emissione

E' il livello della sorgente specifica (fissa o mobile) e si deve confrontare con i valori limite della tabella B del decreto 14/11/97.

La legge 447 (art.2.e) lo definisce come il rumore massimo che può essere emesso da una sorgente sonora; dato però che i valori limite della tab. B sono dei LAeq, si ritiene che il valore da considerare sia il livello equivalente più alto risultante da diverse prove in diverse condizioni.

Per quanto riguarda le modalità di misura il decreto 14/11/97 (Art.2.3) dice che "i rilevamenti vanno effettuati in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità": quest'ultima prescrizione è comunque veritiera nelle condizioni in cui è distinguibile nettamente il contributo della sorgente disturbante.

Non è chiaro poi a quale tempo siano da riferire i livelli di emissione: sembra logico, in analogia con i livelli di immissione, riferirli al tempo di riferimento TR.

Esistono alla data odierna delle norme UNI (10855:1999 e serie 11143:2005) in merito al metodo procedurale di caratterizzazione di sorgenti sonore.

Verifica livelli di immissione

- Per i rumori *all'esterno* si fa il confronto con i limiti assoluti della tabella C del DPCM 14/11/97.
- Per i rumori *all'interno di ambiente abitativo* si fa il confronto con i limiti differenziali (DPCM 14/11/97, art.4).

Verifica criterio differenziale

Per quanto attiene al criterio differenziale il D.P.C.M. 14/11/1997 prescrive di effettuare le misure (in ambiente abitativo) con sorgente disturbante non attiva e con sorgente disturbante attiva.

I limiti differenziali di immissione si considerano superati se sussiste un incremento maggiore di + 5 dB durante il periodo diurno e di + 3 dB durante il periodo notturno.

Inoltre fissa i limiti e le aree entro i quali tale criterio NON è applicabile ossia:

- nella classe VI;
- se il rumore misurato a **finestre aperte** è inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;
- se il livello del rumore ambientale misurato a **finestre chiuse** è inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

Inoltre il criterio differenziale non si applica alla rumorosità prodotta:

- dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime;
- da attività e comportamenti non connessi con esigenze produttive, commerciali e professionali;
- da servizi e impianti fissi dell'edificio adibiti ad uso comune, limitatamente al disturbo provocato all'interno dello stesso.

4.8 D.M. 16/03/1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”

Il decreto stabilisce le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento da rumore, le specifiche costruttive a cui deve sottostare la strumentazione di misura, e i corretti periodi di taratura e calibrazione.

Il decreto può essere suddiviso come segue:

4.8.1 Definizioni

Sorgente specifica: sorgente sonora selettivamente identificabile che costituisce la causa del potenziale inquinamento acustico

Tempo di riferimento (TR): rappresenta il periodo della giornata all'interno del quale si eseguono le misure. La durata della giornata è articolata in due tempi di riferimento: quello diurno compreso tra le ore 6,00 e le ore 22,00 e quello notturno compreso tra le ore 22,00 e le ore 6,00

Tempo a lungo termine (TL): rappresenta un insieme sufficientemente ampio di TR all'interno del quale si valutano i valori di attenzione. La durata di TL è correlata alle variazioni dei fattori che influenzano la rumorosità di lungo periodo

Tempo di osservazione (TO): è un periodo di tempo compreso in TR nel quale si verificano le condizioni di rumorosità che si intendono valutare

Tempo di misura (TM): all'interno di ciascun tempo di osservazione, si individuano uno o più tempi di misura TM di durata pari o minore del tempo di osservazione in funzione delle caratteristiche di variabilità del rumore ed in modo tale che la misura sia rappresentativa del fenomeno

Livello di rumore ambientale (LA): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. Il rumore ambientale è costituito dall'insieme del rumore residuo e da quello prodotto dalle specifiche sorgenti disturbanti, con l'esclusione degli eventi sonori singolarmente identificabili di natura eccezionale rispetto al valore ambientale della zona. E' il livello che si confronta con i livelli massimi di esposizione:

1. nel caso dei limiti differenziali è riferito a TM
2. nel caso dei limiti assoluti è riferito a TR

Livello di rumore residuo (LR): è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A che si rileva quando si esclude la specifica sorgente sonora disturbante. Deve essere misurato con le identiche modalità impiegate per la misura del rumore ambientale e non deve contenere eventi sonori atipici

Livello differenziale di rumore (LD): differenza tra il livello di rumore ambientale (LA) e quello di rumore residuo (LR)

Livello di emissione: è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, dovuto alla sorgente specifica. E' il livello che si confronta con i limiti di emissione.

Limite di emissione: valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora.

Limite di immissione: valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori

Valore di attenzione: valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente

Valori di qualità: valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge 447

4.8.2 Condizioni Meteo:

“Le misurazioni devono essere eseguite in assenza di precipitazioni atmosferiche, di nebbia e/o neve; la velocità del vento non deve essere superiore a 5 m/s” (DMA 16/03/98, All.B.7).

Lo stesso decreto, all'allegato D, prescrive che nella presentazione dei risultati debbano essere dati “..descrizione delle condizioni atmosferiche, velocità e direzione vento.”

Il parere di molti tecnici (v. anche Documento ASSOACUSTICI N°3 del 01/10/99) è che la velocità del vento debba essere tassativamente misurata nell'evenienza in cui, dopo una prima valutazione effettuata senza l'ausilio di strumenti, non si sia in grado di escludere con certezza che venga superato il limite di 5 m/s. Detto limite è da intendersi come soglia massima da non superare in alcun caso durante tutto il tempo di misura. Se la velocità del vento risulta inferiore a 5 m/s ma, nella situazione contingente è comunque tale da alterare sensibilmente gli esiti delle prove, l'operatore deve astenersi dall'effettuare le misurazioni fonometriche.

Per quanto riguarda la misura della direzione del vento, tale misura si ritiene necessaria solo quando tale informazione, associata a quella della velocità, risulta significativa ai fini della completa caratterizzazione delle sorgenti esaminate (come, per esempio, per quelle a diffusione prevalentemente direzionale).

4.8.3 Strumentazione

Lo strumento di misura deve soddisfare le specifiche per la classe 1 della Norma Europea EN 61672/2003.

Nel caso di utilizzo di sistema di registrazione, la legge chiede che tale sistema abbia una dinamica adeguata ed una risposta in frequenza conforme a quelle richieste per la classe 1.

I filtri devono essere conformi alle EN 61260/1995 ed i calibratori devono essere in classe 1, secondo la IEC 60942.

Strumenti e sistemi di misura devono essere provvisti di “certificato di taratura” e verificati almeno ogni due anni presso un laboratorio accreditato. Questa disposizione legislativa non è molto chiara: il certificato di taratura è da alcuni inteso, per strumenti nuovi, come il certificato di conformità rilasciato dal costruttore. Ciò in analogia alla prassi fino ad ora in uso. Altri interpretano che anche il fonometro nuovo di fabbrica debba essere assoggettato alla verifica da parte di un laboratorio accreditato. Attualmente il pensiero comune è che il certificato di conformità sostituisca per i primi due anni la taratura SIT a meno di specifica richiesta di strumentazione con taratura SIT (ad esempio per effettuare perizie giurate).

4.8.4 Misure

Nella parte che segue, occorre avere sempre presente il significato esatto dei vari parametri, eventualmente ritornando alle definizioni.

Prima e dopo ogni serie di misure, la strumentazione di rilevamento deve essere controllata con un calibratore di classe 1: le misure sono ritenute valide se i livelli di calibrazione all'inizio e fine misure differiscono di non più di 0,5 dB.

Le misure da effettuare per la verifica con i diversi limiti e valori sono sempre Livelli equivalenti ponderati A riferiti a tempi diversi, come sotto indicato. Solo per la verifica di eventuali maggiorazioni per presenza di componenti impulsive, tonali, bassa frequenza sono specificati altri tipi di misura.

Quanto ai tempi di misura, dalle definizioni risulta che:

$$T_L > T_R > T_O > T_M$$

Misure in ambiente esterno

La misura del rumore ambientale LAeq,TR può essere eseguita per integrazione continua o per campionamenti

- ☐ Per integrazione continua: LAeq,TR viene misurato durante l'intero periodo di riferimento (giorno o notte) con l'esclusione eventuale degli eventi sonori anomali non rappresentativi del rumore in esame.
- ☐ Con tecnica di campionamento: si scelgono “n” tempi di osservazione To che siano rappresentativi della misura che si vuole fare (dando le motivazioni delle scelte). Il livello LAeq,TR viene calcolato come media energetica dei livelli valutati sui singoli To

Quanto alle *modalità di rilevazione*, la misura va arrotondata a 0,5 dB. Inoltre: il microfono da campo libero deve essere orientato verso la sorgente di rumore; nel caso in cui la sorgente non sia localizzabile o siano presenti più sorgenti deve essere usato un microfono con risposta per incidenza casuale. Il corpo degli operatori non deve disturbare la misura, per cui il microfono deve essere montato su apposito sostegno ad almeno 3 metri di distanza, a mezzo di cavo di prolunga microfonica.

Le misure all'esterno vanno effettuate in assenza di precipitazioni atmosferiche e nebbia; il vento deve avere velocità inferiore a 5 m/s; il microfono deve essere sempre munito di schermo antivento.

Posizionamento microfono: nel caso di edifici con facciata a filo della sede stradale, il microfono deve essere collocato ad 1 m dalla facciata stessa. Nel caso di edifici con distacco dalla sede stradale o spazi liberi, il microfono deve essere collocato nell'interno dello spazio fruibile da persone o comunità e, comunque, a non meno di 1 m dalla facciata dell'edificio. L'altezza del microfono sia per misure in aree edificate che per misure in altri siti, deve essere scelta in accordo con la reale o ipotizzata posizione del ricettore

Detti rilevamenti possono essere contemporanei al verificarsi dell'evento oppure essere svolti successivamente sulla registrazione dell'evento.

Fattori correttivi in aumento e diminuzione:

Il rumore ambientale LAeq,TR deve essere corretto in aumento o in diminuzione se si verifica la presenza nella sorgente disturbante di componenti impulsive, componenti tonali o bassa frequenza, oppure se il rumore è di durata limitata

A) *Fattore correttivo in aumento:*

Si deve valutare la eventuale applicabilità di fattori correttivi in aumento per la presenza di:

- componenti impulsive
- componenti tonali
- componenti tonali in bassa frequenza

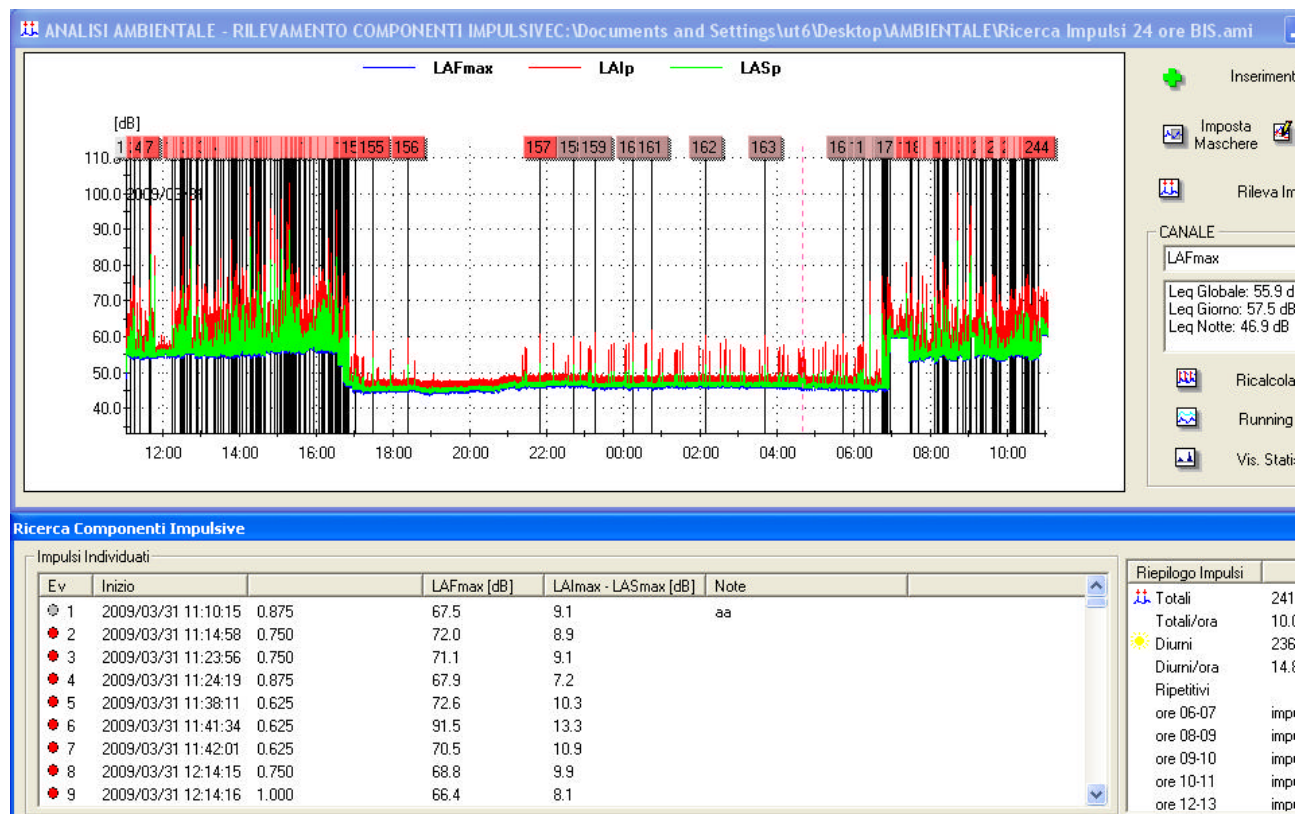
La penalizzazione consiste nell'aggiunta di 3 dB, per cadauna componente accertata.

Componente impulsiva (fattore correttivo KI): si riconosce la presenza della componente impulsiva se si verificano **tutte** le seguenti condizioni:

- la differenza tra i livelli LAI_{max} (livello massimo ponderato "A" con costante di tempo "Impulse") e LAS_{max} (livello massimo ponderato "A" con costante di tempo "Slow") è superiore a 6dB.
- l'evento è ripetitivo: cioè si devono registrare e contare gli eventi provenienti dalla stessa sorgente. Il numero di eventi deve essere di almeno 10 in 1 ora nel periodo diurno e di 2 in 1 ora nel periodo notturno.
- La durata dell'evento è inferiore a 1 secondo; cioè la durata dell'evento a -10 dB dal valore massimo LAF_{max} (livello massimo ponderato "A" con costante di tempo "Fast") deve avere una durata inferiore a 1s.

Si devono quindi misurare due tipi di livelli: LAI_{max}, LAS_{max}. La differenza tra i livelli LAI_{max} e LAS_{max} deve essere relativa allo stesso tipo di evento. Si deve poi registrare graficamente LAF in un tempo non inferiore ad 1 ora per valutare il numero di ripetizioni dello stesso evento.

Detti rilevamenti possono essere contemporanei al verificarsi dell'evento oppure essere svolti successivamente sulla registrazione dell'evento.



Esempio di indagine per riconoscimento componente impulsiva: gli eventi numerati sono tutti eventi impulsivi con relativo listato

Componente tonale (fattore correttivo KT): la ricerca riguarda solo componenti tonali aventi carattere stazionario. Si deve eseguire la misura in bande di 1/3 di ottava da 20 Hz a 20 kHz, con costante di tempo Fast e si devono valutare i **minimi** di ciascuna banda. Ciò significa che si costruisce uno spettro "fittizio" composto dai livelli minimi che si sono presentati, in tempi differenti, sulle varie frequenze durante tutta la durata della misura.

Si riconosce la presenza di una componente tonale se il livello minimo di una banda supera i livelli minimi delle bande adiacenti per almeno 5 dB. Tuttavia il fattore correttivo si applica solo se tale componente tonale "si sente", ossia non è "coperta" da altre componenti dello spettro. Per verificare ciò, si fa un confronto tramite le curve isofoniche (la norma di riferimento è la ISO 226:1987): si verifica se la curva isofonica toccata dalla componente tonale in questione è (o non è) la curva isofonica più alta rispetto a quelle toccate dalle altre componenti dello spettro. Se ci fosse un'altra componente dello spettro che tocca una isofonica più alta, allora il fattore correttivo non viene applicato.

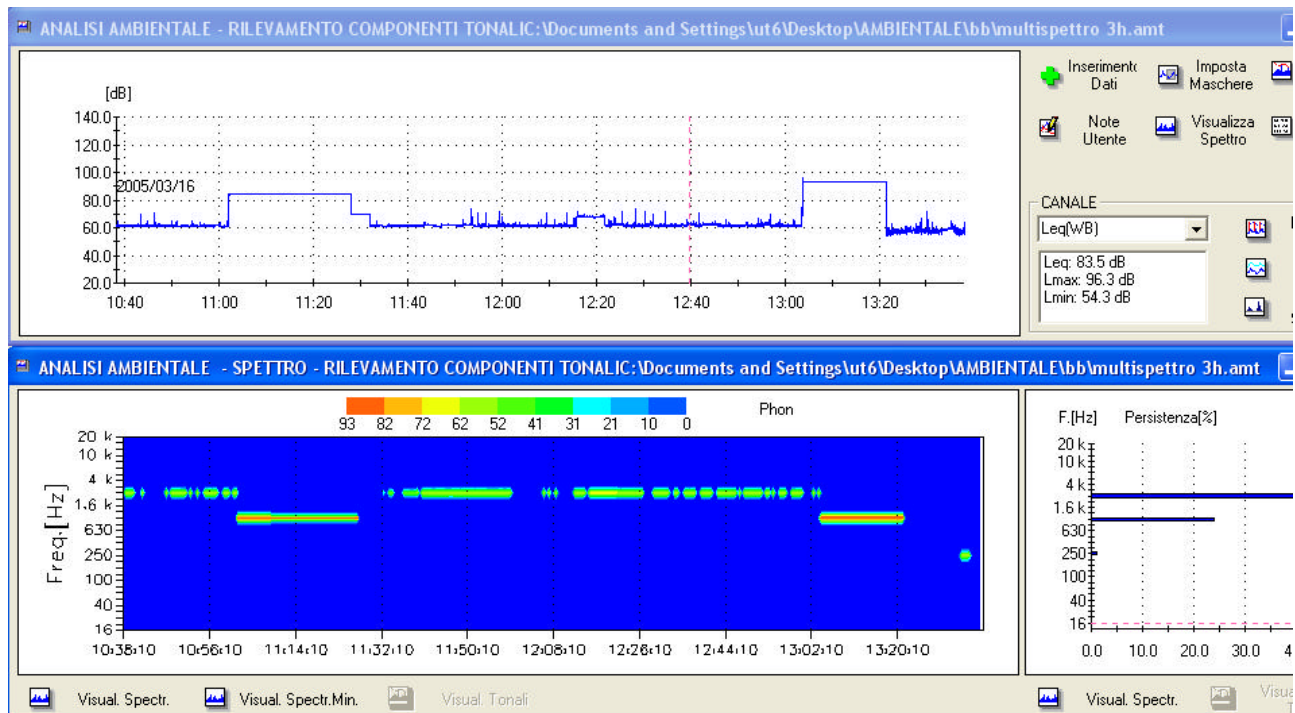
La sovrapposizione delle curve date dalla ISO 226 con lo spettro di rumore misurato può servire a livello qualitativo per avere un colpo d'occhio sull'andamento. Tuttavia il confronto si fa sui valori calcolati delle isofoniche, utilizzando le formule date dalla ISO.

In pratica:

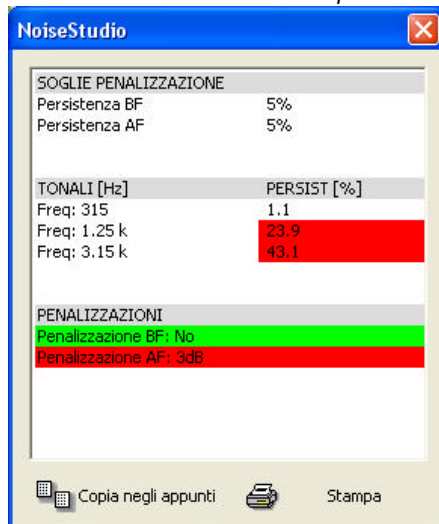
- si evidenzia nello spettro misurato la frequenza con componente tonale (differenza con le frequenze precedente e seguente di almeno 5 dB)
- si calcola il valore in phones della isofonica relativa a quella frequenza e a quel livello di dB
- si calcolano i valori in phones delle isofoniche relative a tutte le altre frequenze dello spettro
- si verifica che nessuno dei valori delle isofoniche calcolate in c) sia superiore a quello calcolato in b): in tale caso si applica il fattore correttivo KT (ed eventualmente anche KB, v. sotto)

Con la strumentazione moderna il riconoscimento della componente impulsiva e tonale sono fatti automaticamente o dal fonometro o dal software di elaborazione.

Componenti spettrali in bassa frequenza (fattore correttivo KB), applicabile esclusivamente nel tempo di riferimento notturno. Se l'indagine svolta con le modalità del punto precedente porta ad applicare il fattore correttivo KT nell'intervallo di frequenza compreso tra 20 Hz e 200 Hz, si applica anche la correzione KB.



Rilevamento delle tonali e loro persistenza.



Rapporto sulle tonali con penalizzazioni applicabili.

B) *Fattore correttivo in diminuzione:*

Rumore a tempo parziale (KP): solo per il periodo diurno, si prende in considerazione anche la possibilità di applicare al rumore ambientale un fattore correttivo in diminuzione se si è in presenza di rumore a tempo parziale, e precisamente:

- 3dB(A) per rumori di durata entro 1 ora
- 5 dB(A) per rumori di durata entro 15 minuti

Da notare che la legge non chiarisce se la durata del rumore deve essere continua o somma di intervalli di funzionamento anche se è pratica comune considerare la somma dei periodi di funzionamento

Nota sulla applicazione del rumore a tempo parziale (da "Documento ASSOACUSTICI N°3, 01/10/99"):

"La correzione prevista per la eventuale presenza di rumore a tempo parziale è applicabile solo nel caso in cui il livello di rumore ambientale LA si riferisca al tempo di misura TM (confronto con i limiti differenziali, all'interno di ambienti abitativi). Nel caso in cui LA sia riferito al tempo di riferimento TR (confronto con i limiti assoluti, all'esterno) infatti, la ponderazione del livello di rumore ambientale per l'effettivo tempo di funzionamento delle specifiche sorgenti inquinanti tiene già implicitamente conto di tale riduzione.

In altre parole, se le sorgenti inquinanti sono in funzione per un periodo di tempo inferiore a quello di riferimento, il valore di LA deve comunque essere misurato, o calcolato (se si utilizzano tecniche di campionamento) mediante integrazione sull'intera durata di TR."

Misure in ambiente interno (ambiente abitativo) - valore limite differenziale

E' la differenza aritmetica dei due livelli di rumore ambientale e residuo: $LD = (LA - LR)$

tale differenza non deve superare 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno, all'interno degli ambienti abitativi.

Per prima cosa si deve verificare la **applicabilità** del limite differenziale: infatti la legge (DPCM 14/11/97 - art. 4.2) dice che i valori limite differenziali non si applicano:

- nella classe VI;
- se il rumore misurato a **finestre aperte** è inferiore a 50 dB(A) durante il periodo diurno e 40 dB(A) durante il periodo notturno;
- se il livello del rumore ambientale misurato a **finestre chiuse** è inferiore a 35 dB(A) durante il periodo diurno e 25 dB(A) durante il periodo notturno.

In caso di applicabilità, il rumore ambientale e quello residuo (misure all'interno di ambiente abitativo) vengono misurati come livelli equivalenti riferiti al tempo di misura TM. I tempi di misura devono essere rappresentativi del fenomeno rumoroso che si vuole valutare e possono essere anche molto brevi, dovendo rappresentare la situazione più gravosa (cioè massimo di rumore ambientale e minimo di rumore residuo)

Osservazione: il livello per la valutazione dei limiti differenziali è riferito al tempo di misura (cioè un tempo breve); invece il livello per i limiti assoluti è riferito a TR: Ciò significa che un fenomeno rumoroso di durata limitata risulterà "diluito" in un tempo lungo per i limiti assoluti, mentre lo stesso fenomeno avrà un peso molto maggiore per la valutazione del criterio differenziale, in quanto riferito a TM.

Posizionamento microfono: il microfono deve essere posizionato a 1,5 dal pavimento ed almeno ad 1 m da superfici riflettenti: Il rilevamento in ambiente abitativo deve essere eseguito sia a finestre aperte che chiuse, al fine di individuare la situazione più gravosa. Nella misura a finestre aperte il microfono deve essere posizionato ad 1 m dalla finestra; in presenza di onde stazionarie il microfono deve essere posto in corrispondenza del massimo di pressione sonora più vicino alla posizione indicata precedentemente. Nella misura a finestre chiuse, il microfono deve essere posto nel punto in cui si rileva il maggior livello di pressione acustica.

Nota sulla verifica dell'applicazione del limite differenziale (da "Documento ASSOACUSTICI N°3, 01/10/99"):

"Durante la verifica dell'applicazione del limite differenziale di immissione (DPCM 14/11/97, art. 4.2), le soglie minime specificate per l'applicazione nelle condizioni di finestre chiuse e/o aperte, in periodo diurno e/o notturno, si riferiscono al valore misurato del livello ambientale LA. Se LA - e non LC [livello corretto da eventuali fattori correttivi], quindi - misurato è inferiore ai valori specificati nel decreto, non si applica il limite differenziale d'immissione per la condizione di misura a cui si riferisce". Tale interpretazione si attiene a quanto già specificato dall'art. 3.2, allegato B, del DPCM 01/03/91, dove si afferma che ogni effetto di disturbo del rumore viene ritenuto trascurabile se il livello di rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore alle soglie minime di applicabilità del criterio differenziale.

RELAZIONE TECNICA

Nella relazione tecnica si dovranno presentare almeno i seguenti dati:

a) DATI DI RIFERIMENTO

- Oggetto della misura
- Luogo
- Data
- Ora

b) PERSONALE ADDETTO ALLE MISURE

- Tecnico competente che ha eseguito le misure
- Altri osservatori presenti

c) CONDIZIONI AMBIENTALI

- Condizioni meteo

d) STRUMENTAZIONE DI MISURA

- elencazione strumenti utilizzati con citazione dei dati identificativi degli stessi e della ultima verifica metrologica (dove applicabile)

e) DESCRIZIONE AMBIENTE ACUSTICO

- Classe di destinazione d'uso del territorio per il sito in esame
- Descrizione della sorgente
- Descrizione del ricettore

e) MISURE

- planimetrie ed individuazione punti di misura
- modalità effettuazione misure
- presentazione misure con eventuali commenti
- evidenziazione dei risultati
- confronto con i limiti di legge

f) CONCLUSIONI

- valutazione finale sul disturbo in esame
- eventuali proposte di misure correttive

g) FIRMA DEL TECNICO COMPETENTE

SUNTO SCHEMATICO VERIFICHE PER IL LIVELLO DI IMMISSIONE

Misure all'esterno

- Parametro da misurare: L_A = livello di rumore ambientale riferito a T_R , eventualmente corretto L_C
- Da confrontare con: limiti di assoluti di immissione di tabella C (DPR 14/11/97)

Misure all'interno

per verifica applicabilità criterio differenziale:

- parametro da misurare: L_A riferito a T_M , eventualmente corretto L_C
- da confrontare con: minimi di applicabilità del DPR 14/11/97- art.4

per verifica limiti differenziali : $L_D = L_A - L_R$ (eventualmente corretti)

- parametri da misurare:
 L_A = livello di rumore ambientale riferito a T_M (eventualmente corretto)
 L_R = livello di rumore residuo riferito a T_M (eventualmente corretto)
- da confrontare con i limiti: + 5dB (periodo diurno) e + 3 dB (periodo notturno)

4.9 D.P.C.M. 05/12/1997 “Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici”

Il presente decreto determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera (ossia le caratteristiche acustiche “minime” che le partizioni devono possedere indipendentemente dall'area in cui l'immobile è inserito), al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.

Vengono definiti componenti degli edifici le partizioni orizzontali e verticali. Inoltre vengono indicati come servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria. Mentre servizi a funzionamento continuo sono gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.

Per quanto attiene all'indice di fonoisolamento proprio dei componenti murari viene determinato mediante una differenza energetica del livello di pressione sonora rilevato tra i due ambienti separati dalla partizione in esame. La pressione sonora da misurare viene solitamente prodotta tramite opportune sorgenti di rumore calibrate con le quali vengono diffusi dei particolari tipi di segnale sonoro denominati “rumore bianco” e “rumore rosa” (v. paragrafo 1.11). Tali segnali vengono utilizzati in modo alterno a seconda delle condizioni di misura.

Per quanto riguarda la determinazione dell'indice di fonoisolamento dei solai viene utilizzato un apparecchio denominato “macchina da calpestio” il quale, posizionato sul piano pavimento, tramite la caduta di pesi calibrati di cui è provvisto, simula il battere sulla soletta mediante una frequenza normalizzata di funzionamento. La misura fonometrica effettuata nella stanza al piano inferiore rispetto a quella in cui è posta la macchina da calpestio in funzione è necessaria per la valutazione dell'indice.

Inoltre per ottenere l'indice di fonoisolamento corretto è opportuno misurare anche il “tempo di riverbero” proprio della stanza di cui si sta valutando l'elemento di partizione. Il tempo di riverbero indica il tempo di decadimento di un suono (solitamente un impulso) ossia il tempo (in secondi) che un determinato suono impiega a diminuire la propria energia di 60 dB rispetto all'energia posseduta inizialmente (v. paragrafo 1.11).

La metodologia di misura accennata sopra viene esaurientemente riportata nelle norme tecniche della serie UNI EN ISO 140; mentre la procedura di calcolo per ottenere i vari coefficienti di fonoisolamento sia ai rumori aerei che al calpestio viene indicata nelle norme della serie UNI EN ISO 717.

Il D.P.C.M. riporta inoltre le seguenti tabelle dove, a seguito della tipologia di edificio in esame vengono definiti i limiti dei vari indici di fonoisolamento che devono essere rispettati

TABELLA A - CLASSIFICAZIONI DEGLI AMBIENTI ABITATIVI

categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;

categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;

categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;

categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;

categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;

categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

TABELLA B: REQUISITI ACUSTICI PASSIVI DEGLI EDIFICI, DEI LORO COMPONENTI E DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI

Categorie di cui alla Tab. A	<u>R_w</u> (*)	<u>D_{2m,nT,w}</u>	<u>Parametri</u> <u>L_{n,w}</u>	<u>L_{ASmax}</u>	<u>L_{Aeq}</u>
1. D	55	45	58	35	25
2. A, C	50	40	63	35	35
3. E	50	48	58	35	25
4. B, F, G	50	42	55	35	35

(*) Valori di R_w riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Dove:

R_w : indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti

$D_{2m,nT,w}$: indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

$L_{n,w}$: indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato

L_{ASmax} : livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow (limite a cui devono sottostare gli impianti a funzionamento discontinuo)

L_{Aeq} : livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A (limite a cui devono sottostare gli impianti a funzionamento continuo).

E' opportuno precisare come la tabella B riporti un errore: il limite L_{Aeq} per le categorie di edifici A, C non è di 35 dB bensì di 25 dB come avvalorato da diverse sentenze emesse in anni passati.

4.10.1 D.Lgs. 19 Agosto 2005 n° 194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”

Il decreto definisce le competenze e le procedure di presentazione degli elaborati tecnici (quali ad esempio la mappatura acustica) al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, compreso il fastidio. Esso elabora un piano operativo a cui devono sottostare regioni, province e comuni oltre che gestori di infrastrutture di trasporto il cui scopo è quello di definire la “situazione” acustica/sonora a cui i cittadini sono esposti nell'obiettivo di un continuo miglioramento della stessa.

Vengono fissati termini temporali per la presentazione di elaborati tecnici (con termine ultimo al 2012) e vengono definiti i parametri descrittivi del rumore di cui gli elaborati devono essere corredati.

I descrittori sono:

Lden (=day-evening-night level) livello giorno-sera-notte: il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», determinato sull'insieme dei periodi delle giornate di un anno solare;

Lday: il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno solare;

Levening: il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno solare;

Lnight: il livello continuo equivalente a lungo termine ponderato «A», definito alla norma ISO 1996-2: 1987, determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno solare.

Per tener conto delle condizioni sociologiche, climatiche ed economiche presenti sul territorio nazionale, i periodi vengono fissati in:

periodo giorno-sera-notte: dalle 6.00 alle 6.00 del giorno successivo, a sua volta così suddiviso:

1) **periodo diurno**: dalle 06.00 alle 20.00;

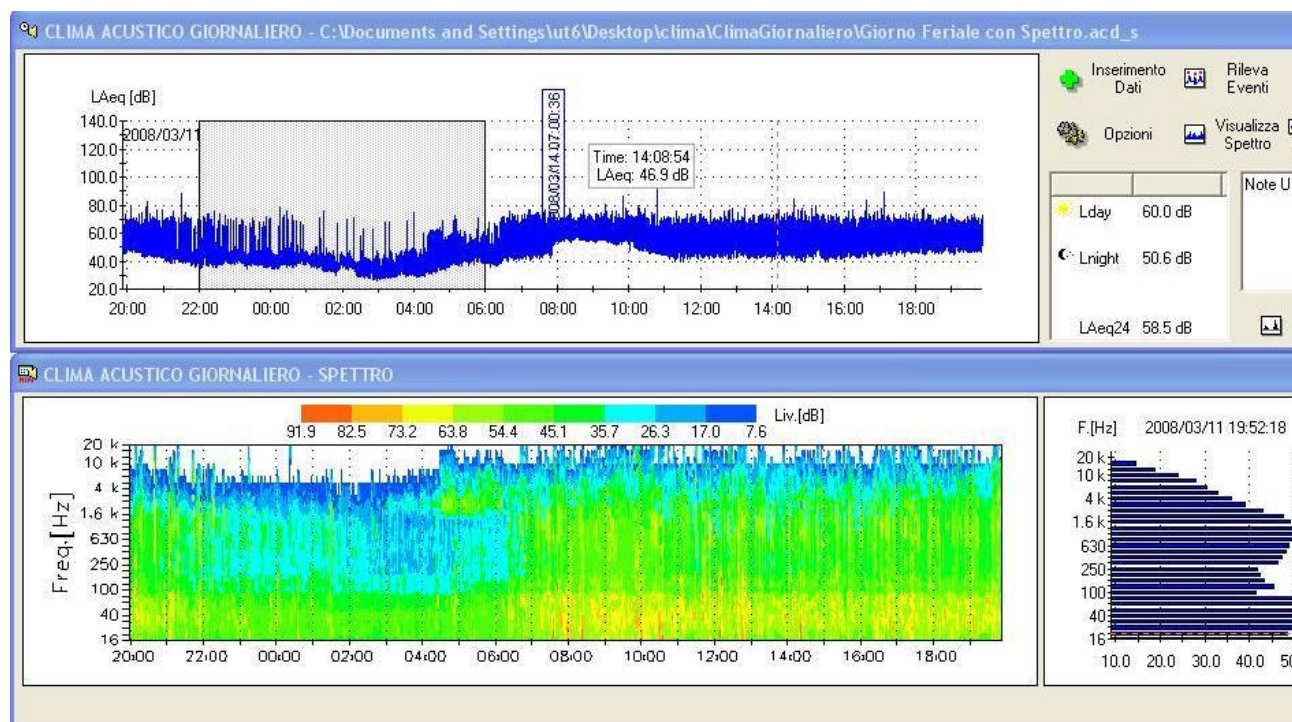
2) **periodo serale**: dalle 20.00 alle 22.00;

3) **periodo notturno**: dalle 22.00 alle 06.00;

l'anno è l'anno di osservazione per l'emissione acustica e un anno medio sotto il profilo meteorologico.

La determinazione di Lday, Levening, Lnight sull'insieme dei periodi diurni, serali e notturni potrà avvenire attraverso l'applicazione di tecniche previsionali e/o di campionamento statistico.

Per quanto riportato, si evince che le misure fonometriche eseguite in ottemperanza al D.Lgs.194 dovranno essere condotte per periodi temporali discretamente lunghi e solitamente per integrazione continua per più ore consecutive. Da qui la necessità di possedere strumentazione in grado di sopprimere alle molte ore di attività (al limite con ausilio di batterie esterne atte a fornire l'alimentazione necessaria) oltre che di software applicativi in grado di definire e confinare correttamente i 3 distinti periodi temporali la cui elaborazione grafica può presentarsi come l'immagine sotto riportata:



ORIONE DI BISTULFI srl
Via Moscova, 27 - 20121 MILANO
tel: 026596553-4 Fax: 026595968
info@orionesrl.it - www.orionesrl.it