

## **VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI DISPOSITIVI INDIVIDUALI DI PROTEZIONE Uditiva**

Alessandro Peretti (1,2), Francesca Pedrielli (3), Giacomo Strumia (4),  
Mauro Baiamonte (2)

- 1) Scuola di Specializzazione in Medicina del Lavoro, Università di Padova
- 2) Peretti e Associati sas, Padova
- 3) Cemoter, CNR (Ferrara)
- 4) Fenice SpA, Centro Servizi Ecologici, Orbassano (Torino)

### **1. INTRODUZIONE**

I dispositivi individuali di protezione uditiva costituiscono a volte l’unico mezzo di difesa nei riguardi del rumore. Non a caso gli obblighi di legge concernenti questi dispositivi sono ampi e articolati. Eppure le conoscenze in merito alle prestazioni di tali dispositivi sono generalmente del tutto insufficienti. Abbiamo quindi ritenuto opportuno proseguire in uno studio avviato nei primi anni '90 [1], teso a fornire un quadro il più possibile chiaro sul tema dell’efficacia di questi mezzi di protezione. Tale argomento troverà largo spazio in un volume di prossima pubblicazione.

La serie di relazioni che qui presentiamo si articola in tre lavori. Nel primo vengono rammentate le disposizioni di legge e le normative riguardanti i dispositivi e vengono illustrati i metodi di valutazione delle loro prestazioni. Nel secondo viene affrontato il problema della riduzione dell’efficacia dei dispositivi negli ambienti di lavoro. Nel terzo vengono riportate nuove procedure di valutazione delle loro prestazioni.

Nei tre lavori saranno presi in esame i principali mezzi di protezione uditiva: cuffie, archetti ed inserti auricolari. Nella trattazione non saranno invece considerati dispositivi particolari, quali gli elmetti acustici, le cuffie a controllo attivo, le cuffie dotate di dispositivi che consentono le comunicazioni, le cuffie caratterizzate da un’attenuazione dipendente dal livello sonoro, ecc..

### **2. DISPOSIZIONI DI LEGGE**

In termini generali l’impiego dei dispositivi di protezione individuale (DPI) è disciplinato da due decreti:

- il decreto legislativo 475/92 [2] che recepisce la direttiva europea 686 del 1989 e riguarda le categorie dei DPI, i requisiti essenziali di sicurezza, le norme armonizzate e nazionali, la certificazione CE, gli organismi di controllo e le sanzioni;

- il decreto legislativo 626/94 [3] il cui titolo IV concerne i requisiti dei DPI, gli obblighi del datore di lavoro e dei lavoratori, i criteri per l'individuazione e l'uso.

Per quanto riguarda specificamente la protezione dal rumore, è necessario far riferimento al già citato decreto legislativo 475/92 ed al decreto legislativo 277/91 [4].

Secondo il punto 3.5 dell'allegato 2 del decreto 475/92, i dispositivi devono poter attenuare il rumore in modo che i livelli sonori equivalenti, a dispositivi indossati, non superino mai i valori limite di esposizione giornaliera prescritti dalla direttiva europea 188 del 1986; su ogni dispositivo, o eventualmente sulla confezione, deve essere applicata un'etichetta in cui deve essere indicato il livello di attenuazione, nonché l'indice di comfort. Va osservato che la direttiva 188 è stata recepita dal decreto 277/91 e che il valore limite di esposizione a cui si riferisce il decreto 475/92 è pari a 90 dB(A) (per i commenti si veda più avanti).

Secondo il decreto 277/91, il datore di lavoro deve mettere a disposizione dei lavoratori mezzi individuali di protezione qualora i livelli di esposizione giornaliera possano verosimilmente superare gli 85 dB(A) (art. 43, comma 1).

La scelta dei mezzi di protezione deve essere fatta considerando le caratteristiche specifiche dei singoli lavoratori, le loro condizioni di lavoro, di salute e di sicurezza, nonché le loro esigenze (D.Lgs. 277/91, art. 43, commi 2 e 6).

Sono adeguati i mezzi che riducono il rischio ad un livello uguale o inferiore a quello derivante da un'esposizione a 90 dB(A) (D.Lgs. 277/91, art. 43, comma 3).

Fatto salvo quanto indicato nell'art. 41, comma 1, del decreto 277/91 circa l'obbligo a carico del datore di lavoro di ridurre al minimo i rischi da rumore, i lavoratori i cui livelli di esposizione sono superiori a 90 dB(A) devono impiegare i dispositivi individuali di protezione (D.Lgs. 277/91, art. 43, comma 4).

Qualora l'obbligo di indossare i mezzi individuali comporti rischi di incidenti, dovranno essere presi appropriati provvedimenti per ovviare a questo problema (D.Lgs. 277/91, art. 43, comma 5).

Su queste disposizioni vanno svolte tre osservazioni.

*Prima osservazione.* La soglia di rischio è posta dal decreto 277/91 a 80 dB(A) (non in termini formali, ma sostanziali): sarebbe bene quindi che i dispositivi di protezione venissero messi a disposizione dei lavoratori a partire da questo livello di esposizione (e non a partire da 85 dB(A)). Va osservato che livelli di esposizione giornaliera di 80-85 dB(A) possono comportare periodi di durata limitata ma significativa a livelli sonori molto elevati.

*Seconda osservazione.* Il fatto che il decreto 277/91 definisca adeguati i dispositivi che riducono il rischio ad un livello uguale o inferiore a quello derivante da un'esposizione a 90 dB(A) è del tutto incongruo per due motivi:

- il rischio associato a livelli di esposizione pari o leggermente inferiori a 90 dB(A) è elevato; ne è del resto consapevole lo stesso decreto che fissa, nel caso dei

lavoratori esposti a livelli compresi tra 85 e 90 dB(A), diversi obblighi tra cui quelli riguardanti il controllo sanitario. Il decreto entra quindi in contraddizione dato che considera l'esposizione a 85-90 dB(A) non soggetta a rischio in un caso, soggetta a rischio nell'altro;

- per ottenere livelli di esposizione a dispositivi (correttamente) indossati pari a 85-90 dB(A) si dovrebbe partire da livelli di esposizione a dispositivi non indossati superiori a 110 dB(A); è noto che l'esposizione a questi ultimi livelli non si verifica mai, se non in casi eccezionali. Il decreto fa quindi riferimento a livelli di esposizione del tutto irrealistici.

Ad avviso degli scriventi, un dispositivo di protezione può considerarsi adeguato qualora riduca il rischio ad un livello pari o inferiore a quello derivante da un'esposizione a 80 dB(A) (livello considerato da molti come soglia di rischio). L'attenuazione non deve comunque spingersi sotto i 65-70 dB(A), pena l'iperprotezione (cfr. par. 7.3).

*Terza osservazione.* Come si è detto, secondo il decreto 277/91 la scelta dei mezzi di protezione deve essere fatta considerando le caratteristiche specifiche dei singoli lavoratori, le loro condizioni di lavoro, di salute e di sicurezza, nonché le loro esigenze. Lo stesso decreto 626/94 (art. 42) sottolinea che i DPI devono essere adeguati ai rischi da prevenire senza comportare di per sé un rischio maggiore, essere adeguati alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro, tenere conto delle esigenze ergonomiche o di salute del lavoratore, poter essere adattati all'utilizzatore secondo le sue necessità; inoltre nel caso dei dispositivi di protezione dell'udito (art. 43, punto 5, lettera b), è indispensabile che il datore di lavoro assicuri uno specifico addestramento circa l'uso corretto e l'utilizzo pratico di tali mezzi.

Si tratta quindi di:

- considerare il singolo soggetto esposto (caratteristiche dei condotti uditivi, disturbi e malattie a carico dell'orecchio, ecc.);
- considerare il rumore (caratteristiche spettrali, impulsive, ecc.);
- considerare l'ambiente di lavoro e le attività svolte (condizioni microclimatiche, possibilità che si verifichino incidenti e infortuni, ecc.);
- fornire ai lavoratori non solo informazioni, ma anche l'addestramento all'uso dei dispositivi;
- fornire ai lavoratori la possibilità di scegliere i dispositivi che assicurano ad essi, singolarmente, il maggior comfort.

Sulla base dell'esperienza degli scriventi si può sottolineare che nella maggior parte degli ambienti di lavoro queste disposizioni non sono osservate.

### 3. NORMATIVE

I dispositivi individuali di protezione uditiva sono oggetto delle seguenti norme:

- ISO 4869-1 del 1990 [5], adottata dal CEN nel 1992 come EN 24869 parte 1 e tradotta dall'UNI nel 1993 [6];
- ISO 4869-2 del 1994 [7], adottata dal CEN nel 1995 come EN ISO 4869-2 e tradotta dall'UNI nel 1998 [8];
- ISO TR 4869-3 del 1989 [9], adottata dal CEN nel 1993 come EN 24869-3 e tradotta dall'UNI nel 1996 [10];
- ISO TR 4869/4 del 1998 [11];
- EN 458 del 1993, tradotta dall'UNI nel 1995 [12];
- EN 352-1 del 1993, tradotta dall'UNI nel 1995 [13];
- EN 352-2 del 1993, tradotta dall'UNI nel 1995 [14];
- EN 352-3 del 1996, tradotta dall'UNI nel 1998 [15].

Gli acronimi riportati si riferiscono a:

- International Organization for Standardization (ISO);
- Comitato Europeo di Normazione (CEN);
- Norma Europea (EN);
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI);
- Technical Report (TR).

La norma ISO 4869-1 è rivolta ai produttori e definisce il metodo di determinazione dell'attenuazione sonora esercitata dai dispositivi in laboratorio; la norma 4869-2 è rivolta agli utilizzatori e definisce i metodi di stima dei livelli di esposizione a dispositivi indossati; la norma 4869-3 è rivolta ai produttori e definisce un metodo semplificato per la determinazione della perdita di inserzione delle cuffie; la norma 4869-4 si riferisce alle cuffie caratterizzate da un'attenuazione dipendente dal livello sonoro.

La norma EN 458 riguarda la scelta, l'uso, la cura e la manutenzione dei dispositivi; nella norma vengono classificati i dispositivi stessi, ne vengono illustrati i requisiti e i problemi connessi al loro impiego; inoltre vengono esemplificati i metodi di stima dei livelli di esposizione a dispositivi indossati (definiti dalla norma ISO 4869-2) e vengono definiti i metodi da impiegarsi nel caso di rumore impulsivo.

Le norme 352-1, 352-2 e 352-3 si riferiscono ai requisiti costruttivi dei diversi dispositivi, alle loro prestazioni, ai metodi di prova, ai requisiti di marcatura e alle informazioni per l'utente. La prima riguarda le cuffie, la seconda gli inserti auricolari, la terza le cuffie montate su elmetto.

Sulle norme ISO 4869-1, ISO 4869-2 e EN 458 (in particolare sulla seconda) è focalizzato il presente lavoro.

#### **4. DETERMINAZIONE DELL'ATTENUAZIONE ESERCITATA DAI DISPOSITIVI SECONDO LA NORMA ISO 4869-1**

L'attenuazione sonora esercitata dai mezzi individuali di protezione uditiva va determinata, a cura del costruttore, sulla base del metodo definito dalla norma ISO 4869-1 [5,6].

L'esame va effettuato in un locale dotato di una serie di altoparlanti; l'ambiente deve possedere caratteristiche di campo diffuso. I tempi di riverberazione del locale devono essere inferiori ad un determinato valore. Il rumore di fondo deve essere molto basso, inferiore ai livelli sonori tabulati.

Tramite gli altoparlanti va inviato al soggetto in esame un segnale (modulabile in ampiezza) costituito da un rumore rosa filtrato in terzi di banda d'ottava (la frequenza di centrobanda è pari a 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz; la prova a 63 Hz è facoltativa). Va rilevata la soglia uditiva a dispositivo non indossato e a dispositivo indossato. La differenza tra le due soglie, frequenza per frequenza, esprime l'attenuazione esercitata dal dispositivo.

I risultati che si ottengono con questo metodo si riferiscono a bassi livelli sonori: essi tuttavia sono rappresentativi dell'attenuazione esercitata dai dispositivi agli elevati livelli sonori che contraddistinguono gli ambienti di lavoro. Ovviamente il metodo definito dalla norma non può essere applicato nel caso di dispositivi la cui attenuazione dipende dal livello sonoro.

Gli esami vanno effettuati su un gruppo di 16 soggetti, ampiamente informati sullo scopo dell'esame e sulle modalità che saranno adottate durante la prova.

La procedura di vestitura dei dispositivi è molto articolata:

- l'esaminatore deve istruire il soggetto sui modi di impiego del dispositivo;
- se i dispositivi presentano dimensioni diverse, l'esaminatore deve aiutare il soggetto ad individuare il dispositivo più adeguato;
- il soggetto deve evitare di indossare oggetti (occhiali, orecchini, ecc.) in grado di compromettere la vestitura del dispositivo;
- il soggetto deve leggere le istruzioni d'uso del dispositivo redatte dal produttore;
- l'esaminatore deve assistere il soggetto nella regolazione del dispositivo;
- quando l'esaminatore è certo che il soggetto sia in grado di regolare correttamente il dispositivo, quest'ultimo va tolto dalla sua sede;
- per l'esame definitivo nella camera di prova, il soggetto deve reindossare il dispositivo e regolarlo in modo da ottenere la massima attenuazione durante l'ascolto di un rumore a banda larga di livello compreso tra 60 e 70 dB;
- sempre ascoltando il rumore a banda larga, il soggetto deve ruotare ripetutamente la testa a sinistra e a destra, nonché abbassare e alzare completamente la testa stessa;

- sempre ascoltando il rumore a banda larga, il soggetto deve pronunciare varie volte ad alta voce alcune vocali (*a* e *i*) in modo da aprire e chiudere la bocca;
- qualora il soggetto notasse durante gli ultimi esercizi una riduzione della attenuazione esercitata dal dispositivo, esso sarà nuovamente regolato dal soggetto stesso;
- la sorgente di rumore a banda larga viene quindi disattivata;
- l'esaminatore deve assicurarsi che il soggetto abbia regolato il dispositivo in modo corretto;
- a questo punto è vietata qualsiasi manipolazione del dispositivo e inizia l'esame.

Come si è detto va rilevata la soglia uditiva a dispositivo non indossato e a dispositivo indossato: la differenza in dB esprime l'attenuazione sonora esercitata dal dispositivo, frequenza per frequenza.

L'attenuazione rilevata sui 16 soggetti non è ovviamente la stessa, a causa dei seguenti fattori:

- incertezza di misura della soglia uditiva, a dispositivo non indossato e a dispositivo indossato;
- variabilità nella regolazione dei dispositivi;
- differenze di conformazione dei condotti uditivi, dei padiglioni, della testa, ecc..

In termini più generali l'incertezza dei dati è dovuta anche alle differenze tra i laboratori di prova (caratteristiche delle camere, delle apparecchiature, ecc.).

Per tali motivi ogni dispositivo di protezione viene caratterizzato dall'attenuazione media, frequenza per frequenza, e dalle relative deviazioni standard (cfr. par. 5.4.1). Tali dati sono riportati nella documentazione illustrativa e nelle istruzioni redatte dai produttori.

La norma ISO 4869-1 evidenzia che il metodo consente di classificare e selezionare i diversi dispositivi, nonché di confrontarli tra loro. I valori di attenuazione sono ben riproducibili.

La norma sottolinea che i valori di attenuazione determinati con la procedura descritta sono prossimi a quelli massimi e che tali valori non vengono generalmente ottenuti in condizioni reali, ossia negli ambienti di lavoro. I valori di attenuazione sono quelli effettivi solo se i mezzi di protezione sono indossati con le stesse modalità che contraddistinguono le prove.

## 5. STIMA DELL'ESPOSIZIONE A DISPOSITIVI INDOSSATI SECONDO LA NORMA ISO 4869-2

### 5.1 Premessa

Se l'attenuazione esercitata dai dispositivi per bande di ottava fosse univoca e non dipendesse da diversi parametri (cfr. par. 4), il procedimento per determinare l'esposizione al rumore a dispositivi indossati sarebbe del tutto intuitivo:

- ad ogni componente dello spettro andrebbe dapprima sommata la quantità definita dal filtro di ponderazione A e successivamente sottratta l'attenuazione esercitata dal dispositivo;
- le componenti così ottenute andrebbero quindi sommate tra loro (ovviamente in termini energetici) al fine di determinare il livello sonoro ponderato A a cui i soggetti sono effettivamente esposti a dispositivi indossati.

Di fatto l'attenuazione esercitata dai dispositivi dipende da diversi fattori, per cui l'attenuazione stessa viene fornita in termini di attenuazione media e di deviazione standard. La questione si fa quindi più complessa ed è giustamente oggetto di definizione da parte della norma ISO 4869-2 [7,8], anche se la metodica da adottare per la determinazione dell'esposizione a dispositivi indossati (metodo OBM) è ampiamente prevedibile e si sovrappone al procedimento sopra indicato.

Il problema nasce nel caso non siano noti i livelli sonori per bande di ottava (che richiedono la disponibilità di analizzatori di frequenza), ma solo i livelli sonori complessivi (che possono essere rilevati mediante fonometri). In questo caso è necessario ricorrere a metodi semplificati, validati sperimentalmente. La norma ISO 4869-2, raccogliendo l'esperienza di alcuni ricercatori [16,17], ha normalizzato anche questi metodi (HML e SNR).

### 5.2 Tre metodi

Come si è accennato, la norma ISO 4869-2 consente di stimare i livelli sonori ponderati A a cui sono effettivamente esposti i lavoratori che indossano i dispositivi di protezione.

La norma propone tre metodi. Questi si fondano, da un lato sulle caratteristiche dei dispositivi, dall'altro sulle caratteristiche del rumore in esame.

I tre metodi considerano allo stesso modo i dati attinenti l'attenuazione esercitata dai dispositivi: tutti e tre infatti si riferiscono in egual misura ai valori medi dell'attenuazione e alle relative deviazioni standard determinati per bande di ottava su gruppi di soggetti sottoposti alla prova definita dalla norma ISO 4869-1 (cfr. par. 4).

I tre metodi si differenziano invece a seconda dei livelli sonori disponibili che caratterizzano l'ambiente di lavoro:

- il metodo OBM (*Octave Band Method*) si basa sui livelli per bande di ottava;
- il metodo HML (*High Medium Low Frequency Method*) considera i livelli sonori

ponderati A e C;

- il metodo SNR (*Single Number Rating*) si fonda solo sul livello ponderato C.

Il metodo OBM è completo; il metodo HML e ancor più il metodo SNR sono semplificati e forniscono quindi risultati approssimati.

Come si è detto, tutti e tre i metodi si basano allo stesso modo sui dati statistici riguardanti l'attenuazione esercitata dai dispositivi su una popolazione campione: le ampie deviazioni standard lasciano prevedere errori non trascurabili nel caso, come quello in questione, in cui si considerino singoli lavoratori. L'inaccuratezza è quindi insita nei dati di base su cui i metodi OBM, HML e SNR si fondano; in altre parole è la variabilità delle attenuazioni determinate sul campione di soggetti che non consente di prevedere accuratamente il grado di protezione esercitato dai dispositivi sul singolo lavoratore in esame. Da queste premesse sviluppate dalla norma ISO 4869-2, la norma stessa trae le seguenti conclusioni: i tre metodi sono nella maggior parte dei casi quasi equivalenti in termini di accuratezza; anche il metodo più semplificato (SNR) consente una stima ragionevolmente valida; solo in casi particolari, per tipologie di rumore caratterizzate da componenti di alta o bassa frequenza, sarà necessario adottare il metodo completo (OBM), oppure il metodo meno semplificato (HML).

Secondo gli scriventi il problema degli aspetti statistici va invece nettamente disgiunto dal problema degli errori attinenti ai diversi metodi. Il problema degli aspetti statistici può infatti essere correttamente gestito, rammentando che le attenuazioni che si ottengono impiegando i diversi metodi sono attenuazioni minime per la frazione prescelta di popolazione; nel corso della trattazione questo tema sarà oggetto di ampie discussioni. Rimane il problema degli errori riguardanti i diversi metodi: a questo proposito va sottolineato che le approssimazioni sono insite solo nei metodi semplificati e non nel metodo completo. Per cui, dove possibile, va sempre applicato il metodo OBM e non i metodi HML e SNR a cui sono associati, a volte, errori non indifferenti.

Sussiste, comunque, sempre il problema dei dati di base, ottenuti mediante i *test* definiti dalla norma ISO 4869-1. La norma ISO 4869-2 sottolinea che le stime dei livelli di esposizione a dispositivi indossati sono valide soltanto quando:

- i dispositivi sono portati correttamente dai lavoratori, nello stesso modo in cui sono stati indossati dai soggetti sottoposti ai *test*;
- i dispositivi sono oggetto di un'attenta manutenzione;
- le caratteristiche (conformazione dei condotti uditivi, ecc.) dei soggetti sottoposti ai *test* sono rappresentative dei lavoratori in esame.

### 5.3 Livelli sonori

Per quanto riguarda la descrizione del rumore (in bande di ottava, oppure in termini complessivi impiegando i filtri *A* e *C*), la norma ISO 4869-2 osserva che possono essere utilizzati, sia i livelli sonori istantanei nel caso di rumore di livello costante, che i livelli sonori equivalenti nel caso di rumore di livello variabile. Ovviamente l'impiego di strumenti integratori è comunque sempre da preferire.

A proposito del filtro *C*, va osservato che esso attenua le componenti prossime agli estremi del campo di udibilità (20-20000 Hz). Come vedremo (cfr. par. 5.4.3.1 e 5.4.4.1), in assenza di frequenze molto basse è possibile adottare la procedura di misura *lineare* al posto della ponderazione *C*.

Secondo la norma ISO 4869-2 i tre metodi possono essere impiegati anche in presenza di componenti impulsive; non vanno comunque utilizzati i livelli di picco. Per il rumore impulsivo si veda il paragrafo 6.3.

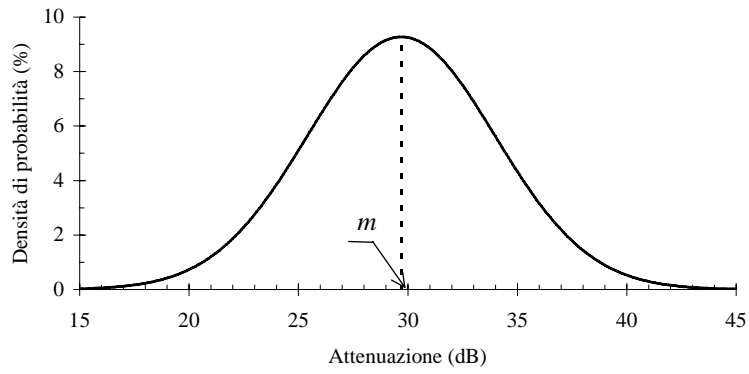
### 5.4 Procedure di calcolo

#### 5.4.1 Elaborazioni di base comuni ai tre metodi

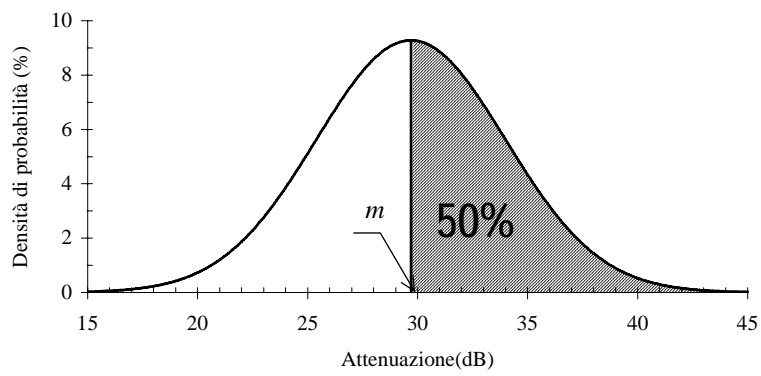
Come si è visto, l'attenuazione esercitata da un determinato dispositivo non è univoca, ma dipende da diversi parametri, in primo luogo dalla conformazione dei condotti uditivi, dei padiglioni e della testa dei soggetti esaminati in base alla norma 4869-1. Si pone quindi il problema di quale valore di attenuazione considerare.

Inizialmente si fa l'ipotesi che le attenuazioni rilevate sul gruppo di soggetti si distribuiscano, frequenza per frequenza, in modo "normale", ossia che la curva di distribuzione delle attenuazioni possa essere rappresentata da una gaussiana. Nella figura 1 è riprodotta una ipotetica distribuzione delle attenuazioni ad una determinata frequenza. Anche se la figura è solo esemplificativa, i dati riportati sono del tutto verosimili: la curva infatti rappresenta mediamente la distribuzione delle attenuazioni a 1000 Hz dichiarate dai produttori nel caso dei 40 dispositivi maggiormente impiegati nel nostro Paese. In ascissa è riportata l'attenuazione in dB esercitata dal dispositivo, in ordinata la densità di probabilità espressa in percentuale (la percentuale di soggetti è data dall'area sottesa dalla curva). Si può osservare che l'attenuazione media  $m$  è circa pari a 30 dB e che nel caso dei soggetti peggiori l'attenuazione scende sotto i 25 dB, mentre nel caso dei soggetti migliori si eleva sopra i 35 dB.

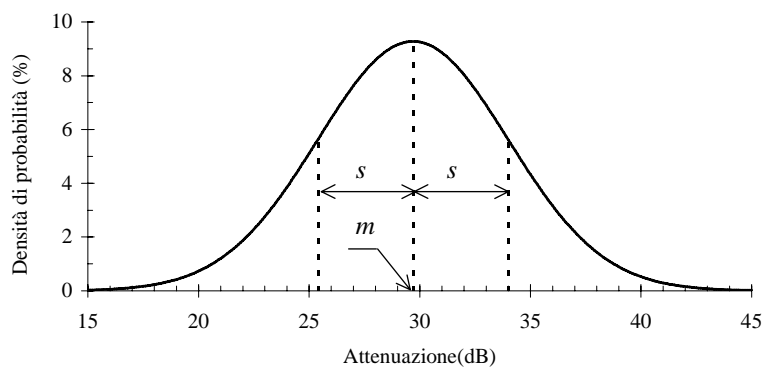
Se considerassimo come attenuazione del dispositivo l'attenuazione media  $m$ , proteggeremmo il 50 % dei soggetti esposti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o superiore all'attenuazione media (figura 2). Ma non proteggeremmo l'altra metà dei soggetti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o inferiore all'attenuazione media. Per la prima metà della popolazione l'attenuazione considerata sarebbe quella minima; per la seconda metà quella massima.



**Figura 1:** distribuzione delle attenuazioni per una data banda di ottava



**Figura 2:** popolazione a cui è associata un'attenuazione superiore a quella media



**Figura 3:** deviazione standard ( $s$ )

Come si è detto, per ogni dispositivo il produttore fornisce, oltre all'attenuazione media, anche la deviazione standard  $s$  (figura 3). E' noto che la deviazione standard è un indice della dispersione dei dati intorno al valore medio. In pratica essa fornisce informazioni circa l'ampiezza dell'intervallo di fluttuazione dei dati: nel caso di una distribuzione normale (gaussiana), all'interno dell'intervallo compreso tra  $m - s$  e  $m$  oppure dell'intervallo compreso tra  $m$  e  $m + s$  ricade il 34 % dei dati (figura 4). Ad una deviazione standard piccola corrisponde quindi una gaussiana alta e stretta (piccola variabilità); ad una deviazione standard elevata corrisponde una gaussiana bassa e larga (elevata variabilità).

Se considerassimo come attenuazione del dispositivo l'attenuazione media meno la deviazione standard (figura 5), proteggeremo l'84 % dei soggetti esposti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o superiore a  $m - s$ . Ma non proteggeremo il 16 % dei soggetti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o inferiore a  $m - s$ . Per l'84 % della popolazione l'attenuazione considerata sarebbe quella minima; per il 16 % quella massima.

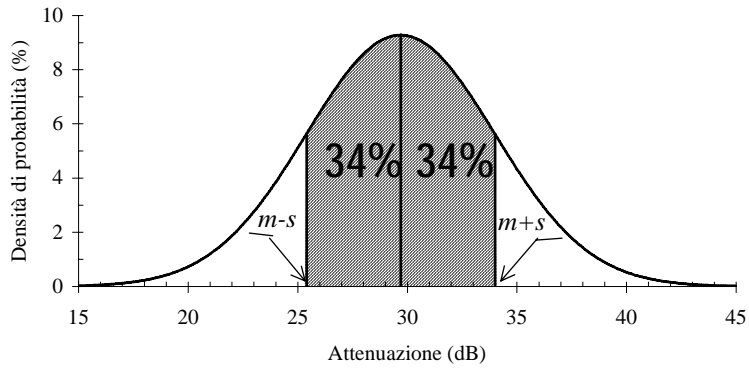
Se considerassimo come attenuazione del dispositivo l'attenuazione media meno due volte la deviazione standard (figura 6), proteggeremo il 98 % dei soggetti esposti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o superiore a  $m - 2s$ . Ma non proteggeremo il 2 % dei soggetti, ossia quelli per i quali l'attenuazione è pari o inferiore a  $m - 2s$ . Per il 98 % della popolazione l'attenuazione considerata sarebbe quella minima; per il 2 % quella massima.

La norma 4869-2 lascia all'utente la possibilità di definire la percentuale di persone di cui si vuole assicurare la protezione. In termini più rigorosi, l'utente deve definire la *Protection Performance*, ovvero la percentuale di soggetti per i quali l'attenuazione è quella minima. La *Protection Performance*, indicata con  $x$ , viene riportata al pedice dei diversi simboli.

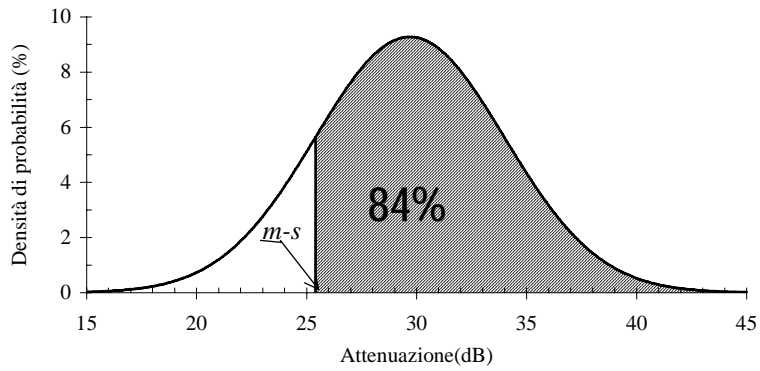
Scelta la percentuale di soggetti da proteggere, va determinato *APV* (*Assumed Protection Value*), ovvero l'attenuazione da considerare per quel determinato dispositivo. Tale valore va calcolato per ciascuna banda di ottava nell'intervallo tra 63 e 8000 Hz (nel caso non siano disponibili i valori a 63 Hz si parte da 125 Hz) impiegando la relazione:

$$1) \quad APV_{fx} = m_f - \alpha s_f$$

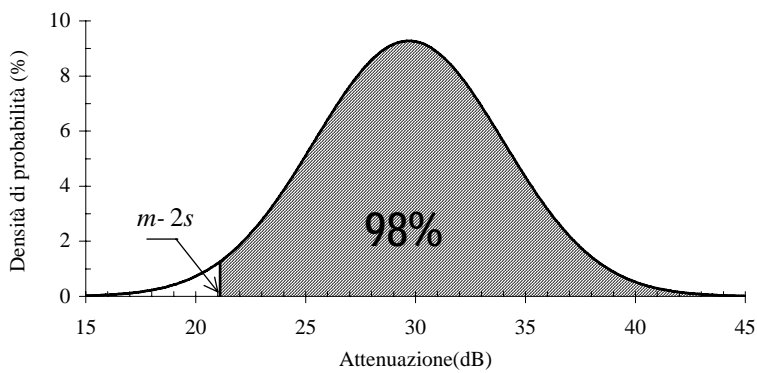
dove  $f$  rappresenta la frequenza centrale delle otto bande di ottava; come già detto  $x$  rappresenta la percentuale di soggetti da proteggere,  $m$  l'attenuazione media esercitata dal dispositivo ed  $s$  la relativa deviazione standard. Per quanto riguarda  $\alpha$ , esso è il fattore che va moltiplicato per la deviazione standard al fine di proteggere una data percentuale di persone. Assumendo che la distribuzione delle attenuazioni sia normale, i valori di  $\alpha$  per diverse percentuali di persone da proteggere sono riportati nella tabella 1.



**Figura 4:** popolazione compresa entro una deviazione standard



**Figura 5:** popolazione a cui è associata un'attenuazione superiore a  $m-s$



**Figura 6:** popolazione a cui è associata un'attenuazione superiore a  $m-2s$

**Tabella 1:** valori del fattore  $\alpha$  da impiegare per diverse percentuali di popolazione da proteggere

$x$ Percentuale di popolazione da proteggere ( <i>Protection Performance</i> )	$\alpha$
50	0.00
75	0.67
80	0.84
84	1.00
85	1.04
90	1.28
95	1.64
98	2.00

A termine si può osservare che:

- la percentuale di persone protette  $x$  corrisponde all'area percentuale sottesa dalla curva di distribuzione a partire dal valore  $m_f - \alpha s_f$  (cfr. figure 2, 5 e 6);
- il valore di  $APV_{fx}$  può quindi essere considerato come la attenuazione *minima* esercitata dal dispositivo su tutta la percentuale  $x$  di soggetti in esame;
- se i dati dell'attenuazione sono definiti in termini statistici, anche il livello di esposizione a dispositivo indossato, stimato in base ai metodi OBM, HML e SNR, sarà definito in termini statistici. Ad esempio nel caso considerassimo come attenuazione del dispositivo  $m - s$ , ossia considerassimo l'attenuazione minima per l'84 % dei soggetti, stimeremmo il livello di esposizione *massimo* per questa percentuale di soggetti esposti (la quasi totalità di questi soggetti sarà quindi esposta a livelli più o meno inferiori al livello calcolato).

#### 5.4.2 OBM (Octave Band Method)

Questo metodo (non semplificato) richiede la conoscenza dei livelli sonori per bande di ottava dello specifico rumore in esame.

Inizialmente va determinato il livello ponderato  $A$  ( $L_A$ ), che come è noto va calcolato sommando ad ognuna delle componenti per bande di ottava la quantità definita dal filtro di ponderazione  $A$  e, successivamente, sommando in termini energetici le componenti stesse. In altre parole va impiegata la relazione 2 dove  $L_f$  è il livello sonoro per bande di ottava del rumore in esame e  $A_f$  è la quantità definita dal filtro di ponderazione  $A$  secondo la norma IEC 651 [18] (tabella 2); se non è disponibile il livello della banda di ottava a 63 Hz, l'operazione di sommatoria può cominciare da 125 Hz:

$$2) \quad L_A = 10 \log \sum_{f=63}^{8000} 10^{0.1(L_f + A_f)}$$

**Tabella 2:** quantità definite dal filtro di ponderazione A

$f$ (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$A_f$ (dB)	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1.0	-1.1

Per la percentuale  $x$  di soggetti, il livello di esposizione ponderato A massimo a dispositivo indossato ( $L'_{Ax}$ ) è dato da:

$$3) \quad L'_{Ax} = 10 \log \sum_{f=63}^{8000} 10^{0.1(L_f + A_f - APV_{fx})}$$

Nota il livello ponderato A del rumore in esame ( $L_A$ ), può essere calcolato il valore di  $PNR_x$  (*Predicted Noise Level Reduction*), ovvero l'attenuazione minima esercitata dal dispositivo in esame sulla percentuale  $x$  di soggetti che lo indossano:

$$4) \quad PNR_x = L_A - L'_{Ax}$$

### 5.4.3 HML (*High Medium Low Frequency Method*)

#### 5.4.3.1 Impiego usuale del metodo

Questo metodo semplificato richiede la conoscenza dei livelli sonori ponderati A ( $L_A$ ) e C ( $L_C$ ) dello specifico rumore in esame. In assenza di componenti di frequenza molto bassa, può essere utilizzato il livello non ponderato ( $L_{in}$ ) al posto del livello ponderato C.

Generalmente i produttori riportano le attenuazioni esercitate dai dispositivi nel caso di tre tipologie standardizzate di rumore di alta, media e bassa frequenza: tali attenuazioni sono denominate  $H_x$  (*High frequency attenuation value*),  $M_x$  (*Medium frequency attenuation value*) e  $L_x$  (*Low frequency attenuation value*). Altrettanto generalmente i produttori dimenticano di rammentare che questi valori si riferiscono all'attenuazione minima esercitata dai dispositivi sull'84 % delle persone esposte (cfr. appendice A norma EN 458). Ad avviso degli scriventi, questa carenza di informazioni è grave, in quanto induce gli utenti a credere che l'attenuazione sia la stessa per tutti i soggetti che indossano i dispositivi.

Sulla base delle attenuazioni denominate  $H$ ,  $M$  e  $L$  fornite dai produttori (in realtà

$H_{84}$ ,  $M_{84}$  e  $L_{84}$ ), l'attenuazione minima esercitata dai dispositivi sull'84 % dei soggetti a dispositivo indossato ( $PNR_{84}$ ) è data, per un dato valore di  $L_C - L_A$ , da:

$$5) \quad PNR_{84} = M_{84} - (H_{84} - M_{84}) (L_C - L_A - 2) / 4 \quad (\text{per } L_C - L_A \leq 2 \text{ dB})$$

$$6) \quad PNR_{84} = M_{84} - (M_{84} - L_{84}) (L_C - L_A - 2) / 8 \quad (\text{per } L_C - L_A > 2 \text{ dB})$$

Dato che  $PNR_{84}$  rappresenta l'attenuazione minima esercitata dal dispositivo nel caso di esposizione al livello sonoro  $L_A$ , il livello massimo di esposizione per l'84 % dei soggetti a dispositivo indossato ( $L'_{A84}$ ) è dato da:

$$7) \quad L'_{A84} = L_A - PNR_{84}$$

#### 5.4.3.2 Spiegazione e generalizzazione del metodo

Il metodo HML è stato ideato da Lundin nel 1986 [17,19]. Il ricercatore prende in esame gli spettri di 100 tipologie rappresentative di rumore industriale. Per ogni spettro determina la differenza fra i livelli ponderati C e A ( $L_C - L_A$ ). Inoltre, per ogni spettro impiega il metodo OBM e calcola i valori di  $PNR_x$  ossia i valori dell'attenuazione minima per una determinata percentuale di soggetti ( $x$ ) relativa ad un determinato dispositivo di protezione. Riporta su un grafico i punti definiti dalle coppie di dati ( $L_C - L_A$ ) e  $PNR_x$ . Ottiene una nube di punti che si distribuisce sostanzialmente lungo una curva (figura 7).

Dallo studio di Lundin emerge quindi che c'è correlazione tra ( $L_C - L_A$ ) e  $PNR_x$ : nota la differenza fra i livelli ponderati C e A del rumore in esame, si potrà determinare l'attenuazione minima  $PNR_x$ .

Questo risultato può essere generalizzato a qualsiasi dispositivo, anche se, ovviamente, cambierà la forma della curva.

Si tratta ora di definire quantitativamente la correlazione tra ( $L_C - L_A$ ) e  $PNR_x$ .

Per semplificare la procedura di calcolo, Lundin suddivide i 100 spettri in 8 classi a seconda dei valori di  $L_C - L_A$ . Per ogni classe determina lo spettro medio. Modula i livelli delle componenti di ciascun spettro medio in modo che il livello complessivo ponderato A sia pari, per semplicità, a 100 dB(A). Ottiene quindi 8 spettri di riferimento.

Gli 8 spettri sono riportati nella tabella 3. Il primo è nettamente caratterizzato dalle alte frequenze; negli spettri successivi tale caratterizzazione gradualmente si riduce

sino ad invertirsi e giungere nel caso dell'ottavo spettro alla netta presenza delle basse frequenze.

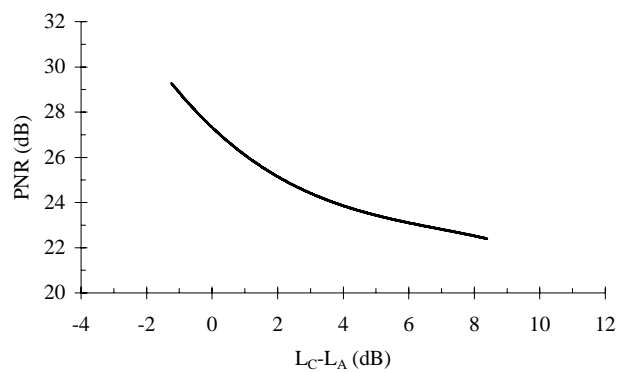
Nella tabella sono riportate anche le differenze tra i livelli ponderati  $C$  e  $A$ : si può osservare che passando dalle alte alle basse frequenze, tali differenze crescono gradualmente. In pratica si considerano differenze inferiori o pari a 2 dB caratteristiche degli spettri di alta frequenza e differenze superiori a 2 dB caratteristiche degli spettri di bassa frequenza.

A proposito del fatto che le caratteristiche spettrali di un rumore possono essere descritte dalla differenza fra i livelli ponderati  $C$  e  $A$ , può essere utile rammentare che:

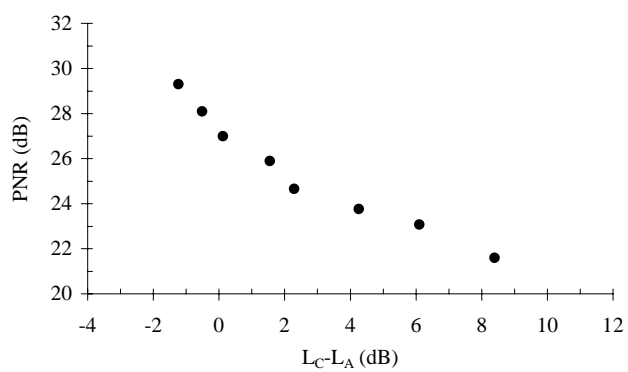
- nel caso degli spettri di alta frequenza, le basse frequenze sono ovviamente poco significative; il fatto che queste ultime siano molto attenuate dal filtro  $A$  incide poco o nulla. Sono invece presenti le alte frequenze: queste sono leggermente attenuate dal filtro  $C$ , ancor meno dal filtro  $A$ . Il livello ponderato  $C$  sarà quindi di poco inferiore o sostanzialmente analogo al corrispondente livello ponderato  $A$ ;
- nel caso degli spettri di bassa frequenza, queste ultime componenti sono ovviamente preponderanti e vengono attenuate in misura notevole dal filtro  $A$ . Il livello ponderato  $C$  sarà quindi nettamente superiore al corrispondente livello ponderato  $A$ .

**Tabella 3:** livelli in bande di ottava degli otto spettri di riferimento ( $L_{fi}$ ); vengono inoltre riportati i valori della differenza tra i livelli complessivi  $L_{Ci}$  e  $L_{Ai}$ , nonché la costante  $d_i$  (l'indice  $i$  identifica lo spettro di riferimento)

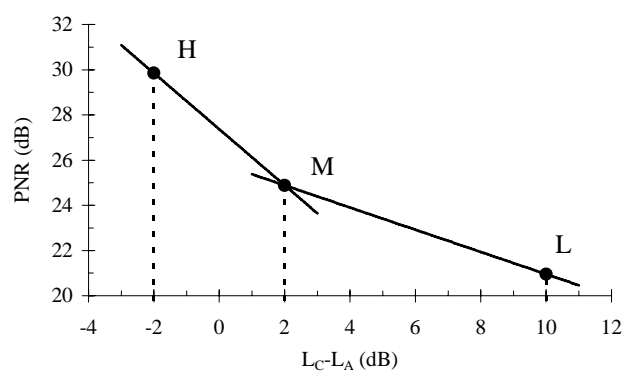
$i$		Frequenza (Hz)								$L_{Ci} - L_{Ai}$ (dB)	$d_i$
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	alte frequenze	77.6	78.7	79.4	84.2	90.4	95.0	93.7	93.4	-1.2	-1.20
2		85.7	85.0	86.9	87.5	92.8	95.1	93.0	91.1	-0.5	-0.49
3		86.0	87.2	89.4	91.2	95.0	93.2	93.1	90.1	0.1	0.14
4		91.6	93.3	93.1	93.0	95.5	93.1	91.5	89.9	1.6	1.56
5		91.5	93.5	95.1	95.7	96.4	91.8	89.4	84.8	2.3	-2.98
6		96.9	98.1	97.9	96.5	95.6	91.8	89.1	84.1	4.3	-1.01
7		101.8	100.3	98.7	96.8	96.2	90.1	86.9	83.0	6.1	0.85
8	basse frequenze	103.8	104.1	102.0	97.0	94.2	90.2	86.9	81.0	8.4	3.14



**Figura 7:** curva sperimentale



**Figura 8:** punti corrispondenti agli otto spettri di riferimento



**Figura 9:** rette interpolanti

A questo punto l'utente applica il metodo OBM agli otto spettri di riferimento.

Scelta una determinata percentuale  $x$  di soggetti da proteggere, note le attenuazioni medie e le deviazioni standard del dispositivo in esame, si calcolano i valori  $APV_{fx}$  (relazione 1). Ad ogni componente di ciascun spettro di riferimento si somma la quantità definita dal filtro di ponderazione  $A$  e si sottrae la quantità  $APV_{fx}$ ; si sommano infine le componenti così ottenute (relazione 3).

Calcolato  $L'_{Ax}$ , si determina  $PNR_x$  (relazione 4), rammentando che nel caso di tutti gli spettri di riferimento  $L_A$  è pari a 100 dB(A). Come si è detto, il valore  $PNR_x$  rappresenta l'attenuazione minima esercitata dal dispositivo in esame sulla percentuale  $x$  di persone che lo indossano.

Per ognuno degli otto spettri di riferimento si hanno quindi otto coppie di dati: da un lato i valori di  $L_C - L_A$  riportati nella tabella 3 e dall'altro i valori di  $PNR_x$  appena calcolati.

Ad ogni spettro di riferimento si fa corrispondere un punto le cui coordinate sono  $L_C - L_A$  in ascissa e  $PNR_x$  in ordinata. Nella figura 8 sono riportati gli otto punti nel caso della percentuale di soggetti e del dispositivo considerati inizialmente da Lundin. Si può osservare che questi punti giacciono sulla curva elaborata sulla base dei 100 spettri (figura 7): per descrivere tale curva possono quindi essere considerati gli 8 spettri di riferimento anziché i 100 spettri iniziali.

La curva può essere rappresentata da due rette che si intersecano in corrispondenza del valore  $L_C - L_A = 2$  dB (figura 9). La retta caratteristica delle alte frequenze è descritta da  $PNR_x$  per valori di  $L_C - L_A$  inferiori a 2 dB; la retta caratteristica delle basse frequenze è descritta da  $PNR_x$  per valori di  $L_C - L_A$  superiori a 2 dB.

In pratica, la retta delle alte frequenze è individuata dai 4 punti di sinistra; la retta delle basse frequenze è individuata dai 4 punti di destra. Applicando il metodo dei minimi quadrati ai 4 punti di sinistra e ai 4 punti di destra, è possibile determinare l'equazione delle due rette. Tramite queste equazioni è possibile calcolare  $PNR_x$ , ovvero l'attenuazione minima esercitata dal dispositivo in esame sulla percentuale  $x$  di persone che lo indossano, nel caso di un qualsiasi rumore di cui si conosca la differenza  $L_C - L_A$ .

Per quanto riguarda i valori  $H_x$ ,  $M_x$ ,  $L_x$ , la norma ne dà la definizione in termini geometrici (figura 9):

- il valore  $H_x$  è dato da  $PNR_x$ , per  $L_C - L_A = -2$  dB;
- il valore  $M_x$  è dato da  $PNR_x$ , per  $L_C - L_A = 2$  dB;
- il valore  $L_x$  è dato da  $PNR_x$ , per  $L_C - L_A = 10$  dB.

Si comprende quindi che i valori  $H_x$  (*High frequency attenuation value*),  $M_x$  (*Medium frequency attenuation value*) e  $L_x$  (*Low frequency attenuation value*), di cui si parlava nel paragrafo 5.4.3.1, rappresentano la minima riduzione esercitata dal dispositivo in esame sulla percentuale  $x$  di soggetti nel caso di tre tipologie standardizzate di rumore di alta, media e bassa frequenza, ossia caratterizzate, da

differenze  $L_C - L_A$  pari, rispettivamente, a - 2, 2 e 10 dB.

La norma fornisce le relazioni per determinare direttamente i valori di  $H$ ,  $M$ ,  $L$  per qualsiasi valore di  $x$ :

$$8) \quad H_x = 0.25 \sum_{i=1}^4 PNR_{xi} - 0.48 \sum_{i=1}^4 d_i PNR_{xi}$$

$$9) \quad M_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} - 0.16 \sum_{i=5}^8 d_i PNR_{xi}$$

$$10) \quad L_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} + 0.23 \sum_{i=5}^8 d_i PNR_{xi}$$

dove l'indice  $i$  identifica lo spettro di riferimento; i valori della costante  $d_i$  sono riportati nella tabella 3.

Dato che la retta delle alte frequenze passa per i punti (- 2 dB,  $H$ ) e (2 dB,  $M$ ) e che la retta delle basse frequenze passa per i punti (2 dB,  $M$ ) e (10 dB,  $L$ ), è possibile determinare  $PNR_x$  mediante le equazioni delle due rette definite proprio in base a questi punti:

$$11) \quad PNR_x = M_x - (H_x - M_x) (L_C - L_A - 2) / 4 \quad (\text{per } L_C - L_A \leq 2 \text{ dB})$$

$$12) \quad PNR_x = M_x - (M_x - L_x) (L_C - L_A - 2) / 8 \quad (\text{per } L_C - L_A > 2 \text{ dB})$$

Le relazioni 11 e 12 costituiscono la versione generale delle relazioni 5 e 6 (ossia la versione valida per qualsiasi valore di  $x$ ).

Va osservato che gli otto punti sono stati determinati considerando le attenuazioni medie e le deviazioni standard relative allo specifico dispositivo in esame. Cambiando dispositivo, cambieranno i valori di  $PNR_x$  (ossia le ordinate dei punti), non i valori  $L_C - L_A$  (ossia le ascisse dei punti), dato che questi ultimi sono riferiti solo ed esclusivamente agli otto spettri di riferimento. Cambiando le ordinate dei punti, cambierà ovviamente l'inclinazione delle due rette; esse però si intersecheranno sempre in corrispondenza del valore  $L_C - L_A$  pari a 2B, dato che presentano questo punto (di coordinate 2 dB,  $M_x$ ) in comune.

Dato che  $PNR_x$  rappresenta l'attenuazione minima esercitata dal dispositivo sulla percentuale  $x$  di persone che lo indossano, il livello di esposizione  $L'_{Ax}$  massimo

(sempre per la percentuale  $x$  di soggetti che lo indossano) è dato da:

$$13) \quad L'_{Ax} = L_A - PNR_x$$

La relazione 13 è la versione generale della relazione 7 (ossia la versione valida per qualsiasi valore di  $x$ ).

Lundin [17] ha verificato la validità del metodo HML per 56 dispositivi e 100 tipologie di rumore industriale. Nel 1990 Behar [19] ne ha confermato la correttezza per complessive 144 coppie di dispositivi-spettri.

#### 5.4.4 SNR (*Single Number Rating*)

##### 5.4.4.1 Impiego usuale del metodo

Questo metodo molto semplificato richiede la conoscenza del solo livello sonoro ponderato  $C$  ( $L_C$ ) dello specifico rumore in esame.

In assenza di componenti di frequenza molto bassa, al posto del livello ponderato  $C$  può essere utilizzato il livello non ponderato ( $L_{in}$ ). Secondo Behar [19] e Giardino e Durkt [20], al posto del livello ponderato  $C$  può essere utilizzato anche il livello ponderato  $A$  a cui vanno sommati 7 dB.

Generalmente i produttori riportano l'attenuazione esercitata dai dispositivi nel caso di un rumore rosa: tale valore è denominato *SNR* (*Single Number Rating*). Altrettanto generalmente i produttori dimenticano di rammentare che questo valore si riferisce alla minima attenuazione esercitata dai dispositivi sull'84 % delle persone esposte. Come già detto, questa carenza di informazioni è grave, in quanto induce gli utenti a credere che l'attenuazione sia la stessa per tutti i soggetti che indossano i dispositivi.

Sulla base dell'attenuazione denominata *SNR* fornita dai produttori (in realtà  $SNR_{84}$ ), il livello massimo di esposizione per l'84 % dei soggetti ( $L'_{A84}$ ) è dato da:

$$14) \quad L'_{A84} = L_C - SNR_{84}$$

##### 5.4.4.2 Spiegazione e generalizzazione del metodo

Il metodo *SNR* (*Single Number Rating*) si basa sulla conoscenza di un solo valore di attenuazione (*SNR*, appunto), anziché dei diversi valori (attenuazioni per bande di ottava; attenuazioni  $H$ ,  $M$ ,  $L$ ) richiesti dai precedenti metodi OBM e HML, per

questo noti come metodi *multi-number* [16].

Il metodo SNR considera lo spettro di riferimento di un rumore rosa contraddistinto da componenti per bande di ottava (da 63 a 8000 Hz) di livello pari a 91.5 dB (è stato considerato questo valore in modo che il livello complessivo ponderato  $C$  fosse uguale a 100 dB(C)). Come è noto la caratteristica di un rumore rosa è proprio quella di presentare uguali componenti per bande percentuali costanti (come le bande di ottava).

Si applica il metodo OBM allo spettro di riferimento. Scelta una determinata percentuale  $x$  di soggetti da proteggere, note le attenuazioni medie e le relative deviazioni standard del dispositivo in esame, si calcolano i valori  $APV_{fx}$  (relazione 1). Ad ogni componente dello spettro (pari a 91.5 dB) si somma la quantità definita dal filtro di ponderazione  $A$  e si sottrae la quantità  $APV_{fx}$ ; si sommano infine le componenti così ottenute (relazione 3). Si ottiene  $L'_{APNx}$  ( $PN$  è l'acronimo di *Pink Noise*), ossia il livello massimo di esposizione per la percentuale  $x$  di soggetti che indossano il dispositivo.

La grandezza  $SNR_x$  è definita come la differenza tra il livello ponderato  $C$  del rumore rosa ( $L_{CPN}=100$  dB(C)) e il livello ponderato  $A$  ( $L'_{APNx}$ ) appena calcolato:

$$15) \quad SNR_x = L_{CPN} - L'_{APNx}$$

La grandezza  $SNR_x$ , differenza tra un livello sonoro a dispositivo non indossato e un livello a dispositivo indossato, rappresenta quindi l'attenuazione esercitata dal dispositivo (più correttamente l'attenuazione minima per la percentuale  $x$  dei soggetti).

$SNR_x$  è però definito come differenza tra due livelli contraddistinti da ponderazioni differenti ( $L_C - L_A'$ ). Ciò può sembrare una incongruenza, ma rappresenta in realtà la caratteristica del metodo. Le giustificazioni che seguono si devono a Waugh [16] che si riferisce in generale ai metodi *single-number*.

L'attenuazione non può essere descritta nella forma  $L_A - L_A'$  dato che questa dipende fortemente dalle caratteristiche spettrali del rumore in esame: per un determinato rumore di livello  $L_A$ ,  $L_A'$  sarà basso nel caso di rumore caratterizzato da alte frequenze (dato che alle alte frequenze i dispositivi attenuano molto), mentre  $L_A'$  sarà alto nel caso di rumore caratterizzato da basse frequenze (dato che alle basse frequenze i dispositivi attenuano poco). Poiché il metodo si propone di descrivere l'efficacia di un dispositivo, indipendentemente dallo spettro del rumore, è chiaro che la differenza  $L_A - L_A'$  non può essere utilizzata come tale.

L'attenuazione descritta come  $L_C - L_A'$  rimane invece abbastanza costante a prescindere dalle caratteristiche spettrali. Ciò è facilmente intuibile considerando la differenza tra  $L_C$  e  $L_A'$  come somma di due differenze:

$$16) \quad L_C - L'_A = (L_C - L_A) + (L_A - L'_A)$$

Si è visto che il termine  $(L_A - L'_A)$  dipende dalla frequenza; anche il termine  $(L_C - L_A)$  dipende dalla frequenza, ma in modo opposto. I due termini quindi si bilanciano. Infatti, generalmente:

- per uno spettro caratterizzato dalle alte frequenze il termine  $(L_A - L'_A)$  è elevato (i dispositivi attenuano molto alle alte frequenze:  $L'_A$  è basso), mentre il termine  $(L_C - L_A)$  è piccolo (le alte frequenze vengono leggermente attenuate sia dal filtro  $C$ , che dal filtro  $A$ );
- per uno spettro caratterizzato dalle basse frequenze, viceversa, il termine  $(L_A - L'_A)$  è piccolo (i dispositivi attenuano poco alle basse frequenze:  $L'_A$  è alto), mentre il termine  $(L_C - L_A)$  è elevato (le basse frequenze vengono leggermente attenuate dal filtro  $C$ , molto attenuate dal filtro  $A$ ).

In conclusione la differenza  $L_C - L'_A$  rimane pressoché costante. Il valore  $SNR_x$ , che è proprio definito come  $L_C - L'_A$ , descrive quindi bene l'attenuazione esercitata da un dispositivo, a prescindere dalle caratteristiche spettrali del rumore.

Una volta calcolato  $SNR_x$ , al posto del rumore rosa si considera il rumore in esame caratterizzato dal livello  $L_C$ . In analogia alla relazione 15 si può scrivere:

$$17) \quad SNR_x = L_C - L'_{Ax}$$

da cui:

$$18) \quad L'_{Ax} = L_C - SNR_x$$

dove  $L'_{Ax}$  è il livello massimo di esposizione ponderato  $A$  per la percentuale  $x$  di persone che indossano il dispositivo. La relazione 18 è la versione generale della relazione 14, ossia la versione valida per qualsiasi valore di  $x$ .

A termine può essere interessante svolgere tre osservazioni.

In riferimento alla relazione 15, si può notare che, cambiando il dispositivo, cambiano ovviamente i valori di  $L'_{APN_x}$  ( $L'_{APN_x}$  è stato determinato elaborando lo spettro di riferimento proprio in funzione dei dati di attenuazione del dispositivo) e quindi cambiano i valori di  $SNR_x$ .

La scelta del rumore rosa come spettro di riferimento deriva da dati sperimentali. Nel 1984 Waugh [16] applica i metodi *single-number* a 30 dispositivi e a 300 tipi di rumore industriale, impiegando diversi spettri di riferimento. Evidenzia che la

massima accuratezza per il maggior numero possibile di tipi di rumore, si ottiene utilizzando come riferimento proprio il rumore rosa.

Nel caso di rumore ad alta o bassa frequenza, è preferibile, secondo la norma ISO 4869-2, impiegare i metodi OBM e HML al posto del metodo SNR.

## **6. STIMA DELL'ESPOSIZIONE A DISPOSITIVI INDOSSATI SECONDO LA NORMA EN 458**

### **6.1 Generalità**

Come si è visto nel paragrafo 3, la norma EN 458 del 1995 [12] riguarda la scelta, l'uso, la cura e la manutenzione dei dispositivi individuali di protezione uditiva. Quindi essa entra nel merito delle questioni trattate in precedenza.

Secondo la norma, il grado di protezione che dovrebbero offrire i dispositivi va riferito al livello di azione. Nel punto 3.1 la norma definisce tale livello come quello oltre il quale vanno indossati o resi disponibili i dispositivi; nell'appendice A la stessa norma sottolinea che il livello di azione è il livello oltre il quale va imposto l'uso dei dispositivi. La norma non è quindi univoca. Va inteso come livello di azione quello oltre il quale sussiste l'obbligo di impiego dei dispositivi, oppure quello oltre il quale vanno messi a disposizione i dispositivi? Come è noto, nel nostro Paese i due livelli sono posti, rispettivamente, a 90 e 85 dB(A).

La norma riporta una graduatoria riferita al livello di azione.

Considerando come livello di azione 90 dB(A), il grado di protezione è:

- *insufficiente* nel caso il livello di esposizione a dispositivi indossati sia superiore a 90 dB(A);
- *accettabile* nel caso il livello sia compreso tra 85 e 90 dB(A);
- *buono* nel caso il livello sia compreso tra 80 e 85 dB(A);
- *accettabile* nel caso il livello sia compreso tra 75 e 80 dB(A);
- *troppo elevato* (iperprotezione, par. 7.3) nel caso il livello sia inferiore a 75 dB(A).

Considerando come livello di azione 85 dB(A), il grado di protezione è:

- *insufficiente* nel caso il livello di esposizione a dispositivi indossati sia superiore a 85 dB(A);
- *accettabile* nel caso il livello sia compreso tra 80 e 85 dB(A);
- *buono* nel caso il livello sia compreso tra 75 e 80 dB(A);
- *accettabile* nel caso il livello sia compreso tra 70 e 75 dB(A);
- *troppo elevato* (iperprotezione) nel caso il livello sia inferiore a 70 dB(A).

A prescindere dai dubbi sollevati dalle definizioni della norma, ad avviso degli

scriventi le due graduatorie sono comunque incongrue; a questo proposito si veda il commento sulle disposizioni del decreto legislativo 277/91 riportate nel paragrafo 2. Secondo gli scriventi i valori riportati nelle due graduatorie dovrebbero essere traslati di 5-10 dB: il livello di esposizione a dispositivi indossati dovrebbe essere compreso tra 65-70 e 80 dB(A).

Per quanto riguarda la stima dell'esposizione a dispositivi indossati, la norma prevede quattro procedure: le prime due (*metodi* OBM e HML) e l'ultima (*metodo* SNR) sono analoghe a quelle definite dalla norma ISO 4869-2 e illustrate nel paragrafo 5, la terza (*controllo* HML, cfr. par. 6.2) costituisce una semplificazione del metodo HML.

Secondo la norma, il metodo da preferire è l'OBM, seguito nell'ordine dal metodo HML, dal controllo HML e dal metodo SNR.

La norma sottolinea che i livelli per bande di ottava nonché i livelli ponderati *A* e *C* vanno intesi come livelli istantanei nel caso di rumore costante e come livelli equivalenti nel caso di rumore fluttuante o impulsivo (cfr. par. 5.3). (Ovviamente la adozione dei livelli equivalenti è comunque sempre da preferire.) Per il rumore impulsivo la norma propone anche un metodo specifico (cfr. par. 6.3).

## 6.2 Controllo HML

Come si è detto, il controllo HML costituisce una semplificazione del metodo HML. Anziché basarsi sulla conoscenza dei livelli ponderati *C* e *A*, questa procedura si fonda su un riscontro soggettivo della tipologia spettrale del rumore e sul livello ponderato *A*.

La norma fornisce due liste di esempi. La prima (tabella 4) si riferisce al rumore di frequenza medio-alta (classe *HM*, *High Medium*) caratterizzato da  $(L_C - L_A) \leq 5$  dB; la seconda (tabella 5) si riferisce al rumore di bassa frequenza (classe *L*, *Low*) caratterizzato da  $(L_C - L_A) > 5$  dB.

Qualora il rumore sia di *frequenza medio-alta*, vanno considerati il livello del rumore in esame  $L_A$  ed il valore  $M$  (cfr. 5.4.3.1). Il livello di esposizione a dispositivo indossato  $L'_A$  è dato da:

$$19) \quad L'_A = L_A - M$$

**Tabella 4:** dispositivi, macchine o lavorazioni che producono un rumore di frequenza medio-alta

taglio alla fiamma	presse rotative ad alta velocità alimentate da bobine
motori diesel	formatrici a scossa e compressione
macchine per il rivestimento dello zucchero	utensili a impatto
ugello ad aria compressa	rettificatrici
chiodatrici pneumatiche	magli per fucinatura
piegatrici-bordatrici	filatoi
sbavatrici	macchine per maglieria
macchine per finitura	troncatrici con mola
macchine per la lavorazione del legno	telai meccanici
pompe idrauliche	centrifughe
levigatrici	

**Tabella 5:** dispositivi, macchine o lavorazioni che producono un rumore di bassa frequenza

escavatori	gruppi compressori a pistone
forni di fusione elettrici	convertitori
forni a combustione	cubilotti
forni di ricottura	macchine per pressofusione
altoforni	macchine movimento terra
frantumatori meccanici	macchine per pulitura a getto

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 19 è inferiore al livello di azione (cfr. par. 6.1), la protezione è sufficiente; se  $L'_A$  è superiore alla differenza (livello di azione - 15 dB), la protezione è probabilmente accettabile o buona.

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 19 è superiore al livello di azione va considerato il valore di H (cfr. 5.4.3.1) e va nuovamente calcolato  $L'_A$  tramite la relazione 20:

$$20) \quad L'_A = L_A - H$$

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 20 è inferiore al livello di azione (cfr. par. 6.1), il dispositivo può essere appropriato; una conferma può essere ottenuta utilizzando i metodi OBM, HML o SNR.

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 20 è superiore al livello di azione, la protezione è insufficiente; si deve quindi ricercare un dispositivo con protezione maggiore.

Qualora il rumore sia di *bassa frequenza*, vanno considerati il livello del rumore in esame  $L_A$  ed il valore  $L$  (cfr. 5.4.3.1). Il livello di esposizione a dispositivo indossato  $L'_A$  è dato da:

$$21) \quad L'_A = L_A - L$$

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 21 è inferiore al livello di azione, la protezione è sufficiente; se  $L'_A$  è superiore alla differenza (livello di azione - 15 dB), la protezione è accettabile o buona.

Se  $L'_A$  di cui alla relazione 21 è superiore al livello di azione, la protezione è insufficiente; si deve quindi ricercare un dispositivo con protezione maggiore.

Si rammenti che i valori  $H$ ,  $M$  e  $L$  si riferiscono alla minima attenuazione esercitata dai dispositivi sull'84 % delle persone esposte (cfr. par. 5.4.3.1):  $L'_A$  rappresenta quindi il livello massimo di esposizione a dispositivo indossato per l'84 % dei soggetti.

### 6.3 Rumore impulsivo

Nel caso di un rumore impulsivo, va determinato il livello di picco ( $L_{peak}$ ), nonché le caratteristiche spettrali del rumore in esame rilevando i livelli massimi ponderati  $C$  e  $A$  con costante di tempo *fast* ( $L_{fast,max}$ ).

Nella tabella 6 sono riportati livelli sonori esemplificativi di alcune sorgenti.

**Tabella 6:** livelli relativi al rumore impulsivo

<i>Sorgente sonora</i>	$L_{peak}$ (dB)	$L_{C,fast,max} - L_{A,fast,max}$ (dB)
fuochi di artificio	168	1
fucile automatico	160	1
pistola	160	0
pistola scaccia cani	159	-1
pistola chiodatrice	159	-1
dispositivo di raddrizzatura	152	1
maglio per fucinatura pesante	144	-1

Qualora la differenza tra i livelli ponderati  $C$  e  $A$  rilevati in *fast* sia inferiore a 5 dB (il rumore in questo caso è di frequenza medio-alta), vanno considerati il livello del

rumore in esame ( $L_{peak}$ ) ed il valore  $M$  (cfr. 5.4.3.1). Il livello a dispositivo indossato ( $L'_{peak}$ ) è dato da:

$$22) \quad L'_{peak} = L_{peak} - M$$

La protezione esercitata dal dispositivo può essere considerata sufficiente se  $L'_{peak}$  è inferiore al livello massimo di picco consentito (140 dB secondo il decreto legislativo 277/91).

Nel caso di rumore impulsivo generato da armi di grosso calibro e da cariche esplosive, non esiste attualmente un metodo affidabile per la valutazione della protezione esercitata dai dispositivi, anche se sembra che le cuffie e gli inserti (o loro combinazioni) possano offrire una protezione adeguata anche in questi casi.

Si rammenti che il valore  $M$  si riferisce alla minima attenuazione esercitata dai dispositivi sull'84 % delle persone esposte (cfr. par. 5.4.3.1):  $L'_{peak}$  rappresenta quindi il livello massimo di picco a dispositivo indossato per l'84 % dei soggetti.

Nel caso di rumore impulsivo ripetitivo, vanno impiegate le procedure indicate nel paragrafo 6.1. Nelle misure vanno considerati i livelli equivalenti e nelle valutazioni il livello di azione (riferito al rumore non impulsivo).

## 7. OSSERVAZIONI

### 7.1 Esposizione al rumore in più condizioni e in più posizioni

Per la stima dei livelli di esposizione a dispositivi indossati, il rumore costante o variabile a cui i lavoratori sono esposti (a prescindere dai dispositivi) va rilevato, secondo le norme ISO 4869-2 e EN 458, in termini di livelli, rispettivamente, istantanei o equivalenti. (Ovviamente la misura dei livelli equivalenti è comunque sempre da preferire.)

Le norme in esame (e con loro molteplici pubblicazioni) dimenticano di evidenziare che nella quasi totalità dei casi l'esposizione complessiva è costituita dalla somma di più esposizioni. Il rumore infatti varia generalmente a seconda delle condizioni operative della macchina a cui il lavoratore è addetto e a seconda del funzionamento delle altre macchine presenti nel reparto. Ciò vale per una posizione di lavoro; nel caso, più che frequente, che il lavoratore operi in più posizioni, il numero di esposizioni parziali si moltiplica.

Come impiegare allora i metodi definiti dalle norme? Ossia come stimare l'esposizione a dispositivo indossato quando si siano rilevati più livelli sonori (associati alle diverse condizioni lavorative e alle differenti posizioni di lavoro) e si conoscano le rispettive durate?

Gli scriventi ritengono che nella pratica igienistica possano sussistere i due casi sotto illustrati. Per ogni lavoratore e/o per ogni ambiente di lavoro si dovrà quindi individuare quale delle due procedure è la più congrua.

### 7.1.1 Unico dispositivo per ciascun lavoratore

Qualora i lavoratori operino con continuità in ambienti rumorosi caratterizzati da molteplici sorgenti, si dovrà adottare necessariamente un unico dispositivo per ciascun addetto. Il dispositivo dovrà essere sostanzialmente adeguato a tutte le situazioni. Si dovrà quindi considerare il rumore a cui il soggetto è mediamente esposto. I livelli sonori rilevati, associati alle diverse condizioni e posizioni, andranno quindi pesati in funzione della loro durata e sommati tra loro in termini energetici.

In pratica, nel caso del metodo OBM (cfr. par. 5.4.2), si dovrà determinare lo spettro medio, impiegando, per ogni banda di ottava, la relazione:

$$23) \quad L_f = 10 \log \frac{\sum_i t_i \cdot 10^{0.1 L_{fi}}}{\sum_i t_i}$$

dove  $t_i$  e  $L_{fi}$  sono, rispettivamente, la durata e il livello sonoro per bande di ottava associati alla condizione  $i$ -esima.

Nel caso del metodo HML (cfr. par. 5.4.3) si dovranno determinare i livelli medi ponderati A e C, impiegando le relazioni:

$$24) \quad L_A = 10 \log \frac{\sum_i t_i \cdot 10^{0.1 L_{Ai}}}{\sum_i t_i}$$

$$25) \quad L_C = 10 \log \frac{\sum_i t_i \cdot 10^{0.1 L_{Ci}}}{\sum_i t_i}$$

dove  $t_i$ ,  $L_{Ai}$  e  $L_{Ci}$  sono, rispettivamente, la durata, il livello ponderato A e il livello ponderato C associati alla condizione  $i$ -esima.

Nel caso del metodo SNR (cfr. par. 5.4.4) si dovrà determinare il livello medio ponderato  $C$ , impiegando la relazione 25.

Ovviamente nelle tre relazioni non andranno considerate le condizioni e le posizioni caratterizzate da livelli ponderati  $A$  inferiori a 80 dB(A), dato che queste non richiedono l'uso dei dispositivi di protezione.

Nel caso del metodo SNR, dove sono disponibili solo i livelli ponderati  $C$ , si escluderanno le condizioni e le posizioni contraddistinte dalla differenza ( $L_C - 7$ ) inferiore a 80 dB, dato che tale differenza costituisce una stima del livello ponderato  $A$  (cfr. par. 5.4.4.1).

### **7.1.2 Più dispositivi per ciascun lavoratore**

Qualora l'esposizione al rumore sia saltuaria e si riferisca a macchine o lavorazioni specifiche con caratteristiche sonore differenti (in termini spettrali e di livello), si potranno adottare più dispositivi per ciascun lavoratore. In questo caso andranno individuati i dispositivi più adeguati per ogni macchina o lavorazione. Per quanto riguarda i calcoli non sussistono problemi: si utilizzerà uno dei metodi illustrati in precedenza impiegando i livelli sonori relativi alla specifica sorgente sonora. I dispositivi saranno quindi posti a corredo della macchina o della lavorazione e andranno indossati dai lavoratori nei periodi in cui essi opereranno presso quella macchina o svolgeranno quella lavorazione.

Ovviamente è necessario garantire l'igiene: ogni lavoratore dovrà avere il proprio dispositivo e i dispositivi non dovranno essere scambiati tra gli addetti. Per cui presso la macchina o la postazione di lavoro andranno posti più dispositivi (ovviamente in un sito protetto): nel caso degli inserti auricolari (monouso), non vi sono problemi; nel caso delle cuffie, esse dovranno essere distinte mediante una etichetta con il nome del lavoratore.

### **7.2 Attenuazione minima e livello di esposizione massimo**

Si è detto più volte che l'attenuazione esercitata da un determinato dispositivo non è univoca, ma dipende da diversi parametri, in primo luogo dalla conformazione dei condotti uditivi, dei padiglioni e della testa dei soggetti; ne consegue che i dati dei dispositivi vengono forniti dai produttori in termini statistici ossia in termini di attenuazione media e di deviazione standard.

Impiegando l'attenuazione media meno la deviazione standard (metodo OBM), oppure i valori  $H$ ,  $M$ ,  $L$  o  $SNR$  (così come riportati dai produttori), si ottiene necessariamente l'attenuazione minima esercitata dai dispositivi sull'84 % delle persone esposte. Sottraendo questa attenuazione minima al livello del rumore in esame, si stima il livello massimo di esposizione a dispositivo indossato sempre per l'84 % delle persone.

Qualunque sia il metodo impiegato, si otterrà sempre una attenuazione minima ed un livello massimo di esposizione. Il fatto che i produttori dimentichino di

rammentare questo aspetto (e con loro molteplici pubblicazioni) e che la stessa norma EN 458 (che si propone come documento guida) dia a questo aspetto una rilevanza irrisoria, è, come già ricordato, grave. Grave in quanto questa carenza di informazioni induce gli utenti a credere che l'attenuazione esercitata da un dispositivo sia la stessa per tutti i soggetti che lo indossano.

Si potrebbe pensare che gli effetti derivanti da questa semplificazione siano di scarso peso in un programma di conservazione dell'udito. Non è affatto così.

Nella figura 10 è riportata l'attenuazione esercitata da un dispositivo su un rumore rosa (l'esempio richiede che si parta necessariamente da un determinato spettro; per semplicità si è scelto un rumore rosa, ma qualsiasi spettro poteva andare ugualmente bene). La curva riportata nella figura 10 è più che verosimile in quanto è stata costruita mediando i dati (forniti dal produttore) attinenti a 40 dispositivi più noti nel nostro Paese.

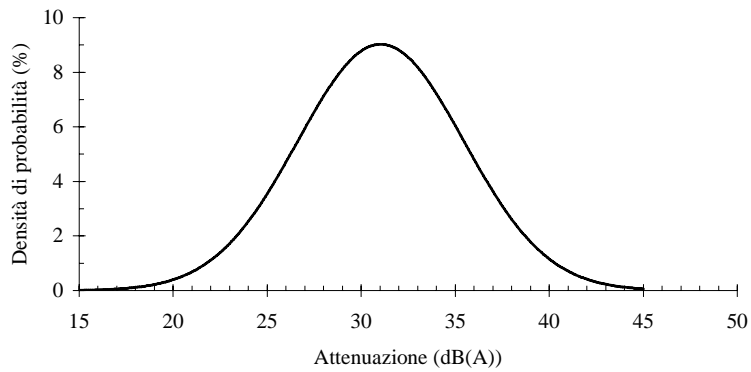
Si faccia ora l'ipotesi che il rumore rosa presenti un livello di 111 dB(A). Utilizzando il metodo OBM (nelle condizioni sopra indicate) si otterrà un livello di esposizione a dispositivo indossato di 84.4 dB(A) (impiegando i metodi HML e SNR si otterranno livelli analoghi). Secondo la semplificazione sopra richiamata, questo livello potrebbe essere considerato congruo da coloro che considerano 85 dB(A) come livello da non superare (cfr. par. 6.1).

E' necessario però far riferimento agli aspetti statistici. Nella figura 11 è riportato il livello di esposizione a dispositivo indossato nel caso del rumore rosa di 111 dB(A). Si può osservare che 84.4 dB(A) è il livello massimo di esposizione per l'84% dei soggetti e che nel contempo è il livello minimo di esposizione per il 16 % dei soggetti. Nel caso in esame il livello di esposizione del 12.5 % dei soggetti è superiore a 85 dB(A) e quello dell'1.1 % è superiore a 90 dB(A). L'approccio statistico può quindi indurre il tecnico a considerare non adeguato il dispositivo selezionato.

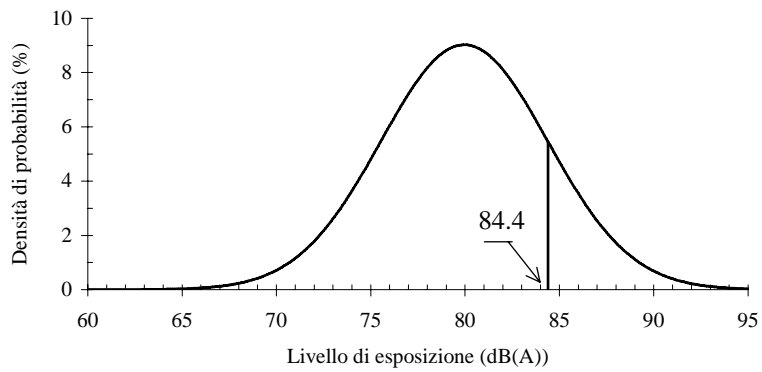
Ma gli errori di valutazione determinati dalla semplificazione del problema, sono evidenti, non tanto nel caso della protezione quanto della iperprotezione (cfr. par. 7.3).

Si faccia ora l'ipotesi che il rumore rosa presenti un livello di 97 dB(A). Utilizzando il metodo OBM (nelle condizioni sopra indicate) si otterrà un livello di esposizione a dispositivo indossato di 70.4 dB(A). Per scongiurare l'iperprotezione, questo livello può essere considerato congruo, in quanto superiore a 70 dB(A) (cfr. par. 6.1). Ma se si considera che 70.4 dB(A) è il livello massimo di esposizione per l'84 % dei soggetti (figura 12), il dispositivo in esame può essere considerato incongruo dato che per ben l'81.7 % dei soggetti il livello di esposizione risulta inferiore a 70 dB(A) e che per l'8.7 % risulta inferiore a 60 dB(A).

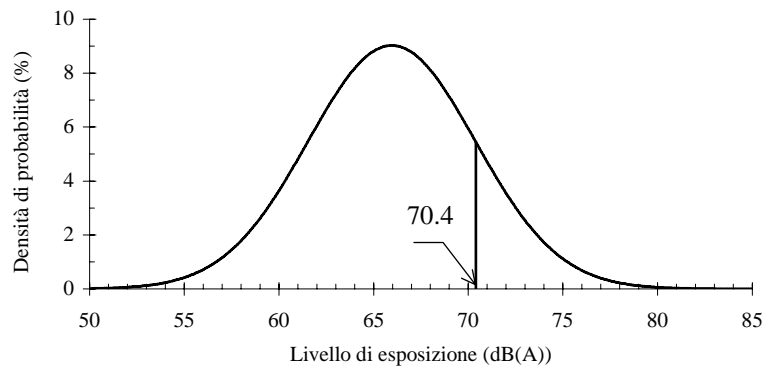
Per avere una corretta e esaustiva visione del problema è quindi necessario considerare non solo il livello massimo di esposizione riferito, ad esempio, all'84 % dei soggetti, ma anche il livello minimo riferito, ad esempio, sempre all'84 %. Il primo livello dovrà essere inferiore, ad esempio, a 80 dB(A), il secondo dovrà essere superiore, ad esempio, a 65 dB(A). Nel caso delle figure 13 e 14, relative ad un rumore rosa di 105 dB(A), queste condizioni esemplificative sono soddisfatte.



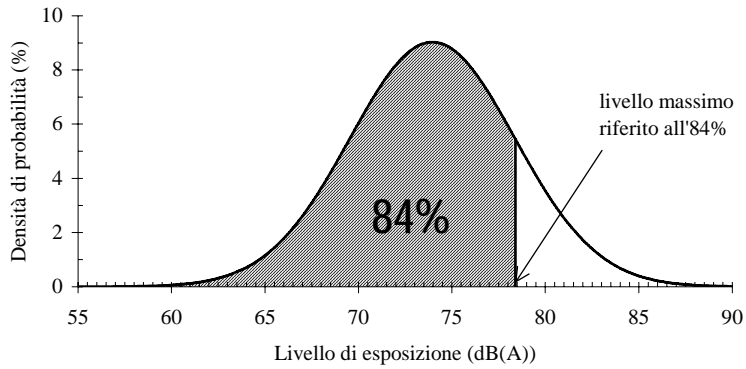
**Figura 10:** attenuazione esercitata da un dispositivo su un rumore rosa



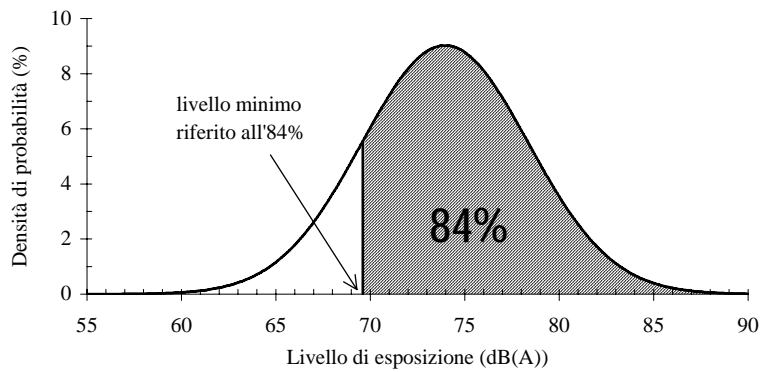
**Figura 11:** livello di esposizione a dispositivo indossato nel caso di un rumore rosa di 111 dB(A) (il valore di 84.4 dB(A) si riferisce al livello massimo per l'84% dei soggetti)



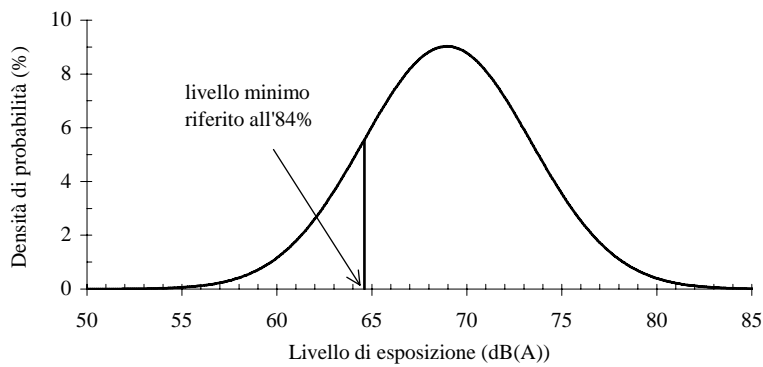
**Figura 12:** livello di esposizione a dispositivo indossato nel caso di un rumore rosa di 97 dB(A) (il valore di 70.4 dB(A) si riferisce al livello massimo per l'84% dei soggetti)



**Figura 13:** livello massimo di esposizione a dispositivo indossato riferito all'84%, nel caso di un rumore rosa di 105 dB(A)



**Figura 14:** livello minimo di esposizione a dispositivo indossato riferito all'84%, nel caso di un rumore rosa di 105 dB(A)



**Figura 15:** livello minimo di esposizione a dispositivo indossato riferito all'84%, nel caso di un rumore rosa di 100 dB(A)

Il livello massimo di esposizione riferito all'84 % e il livello minimo riferito sempre all'84 % possono essere calcolati impiegando il metodo OBM e considerando  $\alpha$  dapprima uguale 1 e poi uguale a -1.

A margine si può osservare che il dispositivo considerato negli esempi, definito mediando i dati relativi ai 40 dispositivi più noti nel nostro Paese, esercita una attenuazione troppo elevata. In presenza di un rumore rosa di 100 dB(A) (molto elevato) il livello minimo riferito all'84 % dei soggetti risulta inferiore ai 65 dB(A) (figura 15).

Si può quindi concludere che, in genere, i dispositivi attenuano sempre più che sufficientemente. Il problema sta nel fatto che attenuano troppo.

### 7.3 Iperprotezione

I dispositivi di protezione possono ridurre la percezione di rumore indicativo di cattivo funzionamento delle macchine oppure la percezione di segnali di allarme. Inoltre, l'intelligibilità delle comunicazioni verbali può essere compromessa. Il mondo che circonda il soggetto può apparire lontano e distaccato per cui l'attenzione nei suoi confronti si riduce. Ne consegue che l'impiego dei dispositivi può favorire il verificarsi di incidenti e infortuni.

Queste considerazioni non vanno però generalizzate.

Merluzzi e Di Credico [21] rammentano che gli effetti dei dispositivi sulla percezione dipendono dall'attenuazione del dispositivo frequenza per frequenza nonché dalle caratteristiche (di livello e spettrali) del rumore da attenuare e dei segnali da percepire. Nel caso che il livello del segnale sia leggermente superiore al livello del rumore e nel caso (generale) che l'attenuazione del dispositivo aumenti con la frequenza, si possono presentare tre situazioni per un soggetto normoudente: se il rumore è di bassa frequenza e il segnale di alta frequenza, il dispositivo (intervenendo maggiormente sul segnale) ridurrà la percezione del segnale stesso; se il rumore è di alta frequenza e il segnale di bassa frequenza, il dispositivo (intervenendo maggiormente sul rumore) migliorerà la percezione del segnale; se il rumore ed il segnale presentano caratteristiche spettrali analoghe, la percezione del segnale non muterà a dispositivo indossato.

I due ricercatori sottolineano che, qualora il segnale sia costituito dalla voce (la cui frequenza è compresa tra 250 e 3000 Hz) e qualora il rumore sia a banda larga con componenti maggiori a frequenze medio-basse (caso che si presenta spesso negli ambienti di lavoro), l'effetto dei dispositivi sulla intelligibilità della parola non sarà significativo. Alcuni studi hanno individuato, caso mai, miglioramenti nella percezione della voce a causa del fatto che i dispositivi si comportano come filtri passa-basso. Ciò vale per i soggetti normoudenti.

Nel caso dei soggetti ipoacusici, gli effetti dei dispositivi sulla percezione della voce possono invece essere molto negativi a causa del fenomeno del *recruitment*. L'entità della riduzione della intelligibilità della parola dipende in questo caso dalla tipologia dei deficit.

Non rientra negli scopi del presente lavoro entrare nel merito di questi argomenti, per altro di notevole importanza. Si rammenta comunque che Merluzzi e Di Credico forniscono indicazioni circa i dispositivi da impiegare a seconda della classificazione degli esami audiometrici. Per cui in alcuni casi non pongono limitazioni nella scelta dei dispositivi, in altri propongono dispositivi con attenuazione minima, in altri ancora ne escludono tassativamente l'impiego, in altri infine non ne ravvisano la necessità.

Da queste considerazioni emerge come la figura del medico competente sia essenziale al momento dell'adozione dei dispositivi di protezione.

#### **7.4 Continuità nell'impiego dei dispositivi e inconvenienti dei dispositivi stessi**

Assunta la decisione di impiegare i dispositivi di protezione, questi vanno indossati con continuità nel corso dell'esposizione al rumore. Altrimenti il dispositivo non assicura la dovuta protezione.

Si faccia riferimento ad un gruppo di lavoratori esposti per otto ore ad un rumore di 95 dB(A). Si ammetta che l'attenuazione minima del dispositivo esercitata sull'84 % dei soggetti sia, nel caso in esame, di 30 dB(A).

Il livello massimo di esposizione giornaliera per l'84 % dei soggetti sarà pari a 65 dB(A) qualora il dispositivo venga impiegato per l'intero turno di lavoro.

Qualora invece l'uso del dispositivo sia limitato a 4 ore il livello massimo di esposizione giornaliera sarà pari a 92 dB(A). Infatti per 4 ore il gruppo sarà esposto a 95 dB(A) e per le rimanenti 4 sarà esposto ad un livello di 65 dB(A), mille volte più basso del precedente e quindi non significativo in termini additivi. Il nuovo livello massimo di esposizione giornaliera sarà quindi determinato dalla dose di 95 dB(A) per 4 ore. Questa dose andrà distribuita sulle 8 ore di riferimento. Il livello massimo di esposizione giornaliera si ridurrà quindi di 3 dB, scendendo a 92 dB(A).

Seguendo un'analogha procedura si può calcolare il livello massimo di esposizione giornaliera per un impiego del dispositivo tale che la durata a dispositivo non indossato progressivamente si dimezzi; ad ogni passo il livello di esposizione si ridurrà di 3 dB.

Riprendendo i dati iniziali, il livello massimo di esposizione giornaliera sarà quindi pari a:

- 95 dB(A) nel caso il dispositivo non venga mai impiegato nell'arco delle 8 ore;
- 92 dB(A) nel caso il dispositivo non venga impiegato per 4 ore al giorno;
- 89 dB(A) nel caso il dispositivo non venga impiegato per 2 ore al giorno;
- 86 dB(A) nel caso il dispositivo non venga impiegato per un'ora al giorno;
- 83 dB(A) nel caso il dispositivo non venga impiegato per 30 minuti al giorno;
- 80 dB(A) nel caso il dispositivo non venga impiegato per 15 minuti al giorno.

Nel caso in esame, è sufficiente quindi che i lavoratori non indossino il dispositivo

per oltre 15 minuti al giorno (complessivamente) perché il dispositivo non garantisca più la necessaria protezione.

Nel corso del turno di lavoro, non sempre i dispositivi devono essere impiegati. Durante la pausa di esposizione al rumore, ossia durante gli intervalli di tempo in cui i soggetti sono esposti a meno di 80 dB(A), i dispositivi non vanno indossati in quanto la loro protezione non è necessaria. Non devono essere indossati per non creare possibili condizioni di pericolo determinati dall'iperprotezione (cfr. par. 7.3). Questa indicazione, ovvia dal punto di vista igienistico, deve essere messa in pratica qualunque sia il livello di esposizione giornaliero dei lavoratori; e quindi anche quando esso supera i 90 dB(A) e corre l'obbligo di indossare i dispositivi.

Si è detto che i dispositivi vanno impiegati con continuità. Eppure i lavoratori tendono a toglierseli. Inoltre tendono a indossarli in modo non corretto (classico l'esempio dell'insero auricolare quasi totalmente all'esterno del condotto uditivo). Tutto ciò dipende dai possibili inconvenienti legati all'uso dei dispositivi: le cuffie comprimono le aree del capo attorno al padiglione e surriscaldano l'orecchio in particolare in estate o negli ambienti di lavoro caratterizzati da microclima caldo-umido; gli inserti favoriscono la comparsa di disturbi in corrispondenza del condotto uditivo (irritazioni, microescoriazioni, dermatiti, ecc.).

La norma 4869-2 sottolinea che i dispositivi di attenuazione troppo elevata possono essere meno confortevoli di altri dispositivi caratterizzati da una attenuazione minore: per tali motivi essi saranno indossati per tempi inferiori (e ciò va scongiurato). A tali conclusioni giungono anche Merluzzi et al. [21-23].

La tendenza da parte dei lavoratori a togliersi i dispositivi o a indossarli in modo non corretto, oltre ad essere motivata dalla necessità di ridurre al massimo i disturbi, può essere compresa facendo riferimento al fatto che i lavoratori non sono spesso, né formati, né informati sui diversi aspetti del problema.

## 8. CONCLUSIONI

I metodi di stima dei livelli di esposizione a dispositivi indossati sono estremamente semplici: chiunque può costruirsi al calcolatore un *data-base* delle attenuazioni dei dispositivi e impostare i relativi calcoli.

La scelta del metodo da adottare dipende dai livelli sonori disponibili.

Qui non si tratta di individuare a quale fascia di rischio (80-85, 85-90, >90 dB(A)) iscrivere i lavoratori, ma di svolgere un'attività che concorre a ridurre il rischio. Si può quindi auspicare che i tecnici rilevino il rumore anche in termini spettrali. Per inciso non si comprende il motivo per cui il *disturbo da rumore* debba richiedere tecniche di valutazione sofisticate (volte a individuare problematiche tonali o impulsive), mentre per il *rischio uditivo* ci si debba accontentare di misure semplicistiche.

Le misure andrebbero quindi effettuate frequenza per frequenza. Non tanto e non

solo per individuare i dispositivi più congrui, quanto per acquisire dati fondamentali per avviare una politica di controllo del rumore.

Stimati i livelli di esposizione dei lavoratori a dispositivi indossati, si dovrà verificare che essi, non solo siano inferiori alla soglia di rischio, ma anche siano superiori ai livelli sotto i quali si verifica l'iperprotezione. Cosa facile da fare, se non fosse che i livelli stimati sono statistici e mal si prestano ad essere impiegati per i singoli lavoratori. Percentuali non secondarie di lavoratori potranno quindi trovarsi, necessariamente, o in condizioni di rischio, o in condizioni di iperprotezione. Questo fatto non è eludibile ed è giustificato dall'ampia variabilità delle attenuazioni esercitate dallo stesso dispositivo su soggetti diversi. Si tratta quindi di appropriarsi del problema e calibrare le scelte.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Peretti, A., Focella. G., Strumia, G., *Prestazioni dei dispositivi individuali di protezione sonora*, Atti del Convegno Nazionale "dBA 94 - Rumore e vibrazioni: valutazione, prevenzione e bonifica in ambiente di lavoro", Modena 20-22 ottobre 1994, 51-70
- [2] Decreto Legislativo n. 475 del 4 dicembre 1992, *Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989, in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuali*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 289 del 9/12/92
- [3] Decreto Legislativo n. 626 del 19 settembre 1994, *Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 265 del 12/11/94
- [4] Decreto Legislativo n. 277 del 15 agosto 1991, *Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212*, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 200 del 27/8/91
- [5] ISO 4869-1, *Acoustics - Hearing protectors - Part. 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation*, 1990
- [6] UNI EN 24869-1, *Acustica - Protettori auricolari - Metodo soggettivo per la misura dell'attenuazione sonora*, 1993
- [7] ISO 4869-2, *Acoustics - Hearing protectors - Part. 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn*, 1994
- [8] UNI EN ISO 4869-2, *Acustica - Protettori auricolari - Stima dei livelli di pressione sonora ponderati A quando i protettori auricolari sono indossati*,

1998

- [9] ISO TR 4869-3, *Acoustics - Hearing protectors - Part. 3: Simplified method for the measurement of insertion loss of ear-muff type protectors for quality inspection purposes*, 1989
- [10] UNI EN 24869-3, *Acustica - Protettori auricolari - Metodo semplificato per la misurazione della perdita di inserzione di cuffie afoniche ai fini del controllo di qualità*, 1996
- [11] ISO TR 4869-4, *Acoustics - Hearing protectors - Part. 4: Measurement of effective sound pressure levels for level-dependent sound-restoration ear-muffs*, 1998
- [12] UNI EN 458, *Protettori auricolari - Raccomandazioni per la selezione, l'uso, la cura e la manutenzione - Documento guida*, 1995
- [13] UNI EN 352-1, *Protettori auricolari - Requisiti di sicurezza e prove – Cuffie*, 1995
- [14] UNI EN 352-2, *Protettori auricolari - Requisiti di sicurezza e prove – Inserti*, 1995
- [15] UNI EN 352-3, *Protettori auricolari - Requisiti di sicurezza e prove - Cuffie montate su un elmetto di protezione per l'industria*, 1998
- [16] Waugh, R., *Simplified hearing protector ratings – An international comparison*, J. Sound Vib. 93(2):289-305, 1984
- [17] Lundin, R., *New nordic draft standard for calculation of three attenuation parameters for a hearing protector and how to use them in practice*. Proceedings InterNoise 86: 553-558, 1986
- [18] IEC 651, *Sound level meters*; 1979
- [19] Behar, A., *The High, Medium, and Low method – A better noise reduction rating?*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 51(12): 659-662, 1990
- [20] Giardino, D. A., Durkt, G., *Evaluation of muff-type hearing protectors as used in a working environment*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57: 264-271, 1996
- [21] Merluzzi, F., Di Credico, N., *Determinazione dei criteri per la scelta e la utilizzazione dei mezzi personali di protezione acustica*, Med. Lav. 84(2):108-114, 1993
- [22] Merluzzi, F., Orsini, S., Di Credico, N., *La protezione personale da rumore*, Atti del XIV Congresso Nazionale della Associazione Italiana di Acustica, Milano 28-30/3/1988, 30-48
- [23] Merluzzi, F., Orsini, S., Di Credico, N., Moyen D., *La valutazione dell'efficacia dei mezzi personali di protezione*, Cap. 8 in “La protezione individuale: un contributo alla prevenzione” a cura di Grieco A. e Di Credico N, Franco Angeli Editore, 1990