

RIDUZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI DISPOSITIVI INDIVIDUALI DI PROTEZIONE UDITIVA NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

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

L’individuazione dei dispositivi individuali di protezione uditiva più adeguati richiede la conoscenza, da un lato dei livelli di esposizione dei lavoratori e, dall’altro, dell’attenuazione esercitata dai dispositivi stessi. Come è stato riportato nel primo lavoro di questa serie di relazioni, l’attenuazione viene stimata dai produttori rilevando la soglia uditiva, a dispositivi indossati e non indossati, di un gruppo di soggetti esposti ai segnali emessi da altoparlanti. Questi *test*, definiti dalla norma ISO 4869-1 [1], si basano su procedure che prevedono l’ottimizzazione della vestitura dei dispositivi; i dati dichiarati dai produttori si riferiscono quindi alle migliori prestazioni ottenibili dai dispositivi stessi.

Ma tali dati sono ben differenti da quelli riscontrabili negli ambienti di lavoro dove i dispositivi vengono impiegati!

In questo secondo lavoro vengono discussi gli aspetti che riducono le prestazioni dei dispositivi nelle reali condizioni d’uso. Tali aspetti rendono fuorvianti le attenuazioni fornite a corredo dei dispositivi: fuorvianti in quanto l’utente, costretto a basarsi su tali valori, è indotto in errore ritenendo che la protezione sia adeguata anche se in certi casi essa può non esserlo affatto.

Non va infatti dimenticato che le stime dell’esposizione dei lavoratori a dispositivi indossati, ottenute mediante i metodi OBM, HML e SNR definiti dalla norma ISO 4869-2 [2], si basano proprio sulle attenuazioni fornite dal produttore. Se tali attenuazioni sono irrealistiche, lo saranno pure i livelli di esposizione stimati a dispositivi indossati. Con la conseguenza che i programmi di conservazione dell’udito fondati sull’uso dei dispositivi diventano, di fatto, non attendibili.

Negli ultimi vent’anni questi problemi sono stati ampiamente evidenziati dalla comunità scientifica. Noi stessi, agli inizi degli anni ’90, abbiamo sottolineato i gravi inconvenienti derivanti, per l’ennesima volta, dall’uso improprio di dati di laboratorio per valutazioni sul campo [3].

2. RIDUZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI DISPOSITIVI

Come si è detto, la determinazione dell'attenuazione esercitata dai dispositivi si basa su prove eseguite in condizioni ideali che non prevedono alcuna simulazione delle effettive condizioni di impiego. Questi *test* vengono condotti, sotto l'attenta assistenza dell'esaminatore, su gruppi di soggetti motivati, ampiamente istruiti in merito alla vestitura dei dispositivi e posti nelle condizioni (ascoltando un rumore a banda larga) di regolare i dispositivi stessi in modo da ottenerne le massime prestazioni. Una volta che sono stati indossati nel modo migliore, la prova viene eseguita immediatamente, escludendo qualsiasi manipolazione dei dispositivi.

Non a caso, quindi, la stessa norma 4869-1 avverte che i dati così ottenuti si riferiscono alla massima attenuazione esercitata dai dispositivi.

Nei luoghi di lavoro le condizioni sono ben differenti da quelle ottenibili in laboratorio:

- i lavoratori non vengono generalmente istruiti sulle modalità di vestitura e sull'uso dei dispositivi;
- la vestitura non viene in genere ottimizzata ascoltando un rumore a banda larga;
- la taglia dei dispositivi impiegati può non essere adeguata;
- la conformazione dei condotti uditivi, dei padiglioni e della testa dei lavoratori può non rientrare negli *standard*;
- i dispositivi vengono indossati, non per pochi minuti come in laboratorio, ma per l'intero turno di lavoro (l'attenuazione dei dispositivi può essere influenzata dal tempo intercorso dall'inserimento);
- durante il lavoro le prestazioni diminuiscono a causa dello spostamento dei dispositivi determinato dai movimenti temporo-mandibolari (associati alle comunicazioni verbali, alla deglutizione, alla masticazione, ecc.);
- i dispositivi si spostano dalla loro sede ottimale anche a causa di altre attività fisiche (movimenti del capo, del corpo, ecc.);
- lo spostamento, inoltre, può essere indirettamente determinato dal *discomfort* prodotto dai dispositivi; prurito, fastidio, senso di occlusione del condotto uditivo, sensazione di compressione del capo, ecc. costringono il lavoratore a muovere il dispositivo;
- nel tempo le prestazioni dei dispositivi possono diminuire a causa della impregnazione di sudore e cerume, nonché a causa della riduzione di elasticità dei cuscinetti e dell'archetto di supporto (nei *test* i dispositivi sono ovviamente nuovi);
- gli inserti monouso non vengono sostituiti con la frequenza necessaria e le cuffie non vengono sottoposte a periodica manutenzione;
- non viene fatta attenzione alla presenza di capelli, barba, occhiali, orecchini, berretti, elmetti, ecc. che possono ridurre le prestazioni delle cuffie.

Come si è accennato, da circa vent'anni vengono svolte ricerche mirate a

quantificare la riduzione delle prestazioni dei dispositivi nelle condizioni reali di impiego. Lo stesso NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) si è fatto promotore di alcune ricerche in questo settore [4,5]. In questo lavoro vengono illustrate le esperienze più importanti.

3. DISPOSITIVI CONSIDERATI

Per gli scopi del presente lavoro i dispositivi individuali di protezione uditiva vengono classificati nel modo seguente:

- *cuffie*, costituite da due conchiglie collegate tra loro da un archetto di sostegno e rivestite internamente con materiale fonoassorbente; le conchiglie racchiudono e isolano i padiglioni; il contatto ermetico tra la cuffia e la testa dell'utente è assicurato da cuscinetti morbidi (sostituibili) contenenti materiale plastico espanso o sostanze allo stato liquido (glicerina, ecc.); le cuffie sono disponibili in taglia unica o in tre taglie (normale, piccola, grande); in genere più sono leggere, più sono confortevoli (ma meno attenuano);
- *archetti*, denominati anche inserti semiauricolari, costituiti da due piccoli tamponi in materiale plastico espanso o in gomma siliconica collegati tra loro da un archetto; i piccoli tamponi occludono l'ingresso dei condotti uditivi;
- *inserti auricolari*, da introdurre (con mani pulite) all'interno del condotto uditivo, in genere dopo aver tirato verso l'alto la sommità del padiglione in modo da raddrizzare il condotto; a seconda delle caratteristiche e dei materiali impiegati, gli inserti possono essere a loro volta distinti in:
 - *preformati*, realizzati in elastomero termoplastico o in gomma siliconica, a una o più flange curve e sottili; sono disponibili in più taglie e sono riutilizzabili (vanno lavati dopo ogni utilizzo);
 - *personalizzati*, realizzati in resina sulla base dello stampo in silicone del condotto uditivo dell'utente;
 - *malleabili*, realizzati in lana-piuma (microfibre sintetiche avvolte in un *film* di polietilene) in taglia unica o in due taglie, monouso; gli inserti vanno introdotti nel condotto con un leggero movimento avvitante. Possono essere realizzati anche in cotone-paraffina; in questo caso, prima dell'inserimento, devono essere modellati con le mani da parte dell'utente;
 - *espandibili*, realizzati in materiale plastico espanso (schiuma poliuretana) in taglia unica o in due taglie; monouso o utilizzabili per due, tre turni di lavoro; prima dell'introduzione vanno premuti e fatti girare tra i polpastrelli in modo da minimizzarne il diametro; una volta introdotti nel condotto, vanno trattenuti in sede per qualche minuto: durante questo periodo gli inserti si espandono garantendo l'occlusione del condotto; sono elastici ossia tendono a riportarsi alla forma originaria (cilindrica o conica).

4. METODOLOGIE DELLE PRINCIPALI RICERCHE

Generalmente l'attenuazione di un dispositivo di protezione uditiva (nella letteratura scientifica *Hearing Protection Device*, HPD) è valutata, frequenza per frequenza, misurando la soglia uditiva di un gruppo di soggetti, a dispositivo indossato e a dispositivo non indossato (*Real-Ear Attenuation at Threshold*, REAT). In genere i soggetti vengono esposti ai segnali emessi da altoparlanti, in campi sonori con caratteristiche determinate; nel caso degli inserti auricolari gli stimoli sonori possono essere prodotti anche da cuffie collegate ad un generatore di segnali.

Ovviamente la valutazione della soglia uditiva richiede che il locale destinato alle prove sia caratterizzato da livelli di rumore di fondo molto bassi. Per superare questo problema è possibile impiegare un metodo (*Bone Conduction Loudness Balance*, BCLB) che si basa su un segnale di riferimento trasmesso al soggetto per via ossea (ad esempio mediante un vibratore collocato sulla fronte) [6,7]. L'ampiezza dei segnali emessi per via aerea, tramite altoparlanti oppure tramite cuffie, viene quindi modulato sino a che il soggetto non avverte una sensazione uditiva analoga a quella provocata dal vibratore. Le prove vengono eseguite a dispositivo indossato e a dispositivo non indossato. Le correlazioni con il metodo REAT sono buone. La durata degli esami è leggermente inferiore a quella caratteristica del metodo REAT e le difficoltà per i soggetti sono minori.

Si può osservare che i metodi sopra illustrati si basano sulla percezione uditiva e che questa può essere parzialmente compromessa nel caso in cui i soggetti siano sottoposti all'esame subito dopo l'esposizione al rumore industriale. Tale deficit è comunemente denominato "spostamento temporaneo della soglia uditiva" (*Temporary Threshold Shift*, TTS). E' necessario quindi porre attenzione alla metodologia di indagine [8], in particolare alla successione delle prove e al tempo che intercorre tra le stesse. Se si effettuano più prove consecutive, la percezione migliora a causa del recupero [9]; nel caso l'esame a dispositivo indossato preceda quello a dispositivo non indossato, l'attenuazione del dispositivo viene sovrastimata [10,11]. Alcuni ricercatori [12] impiegano proprio la TTS quale parametro di misura dell'efficacia dei dispositivi.

L'attenuazione esercitata dai dispositivi può essere valutata anche non riferendosi alla percezione del soggetto; in questo caso i metodi, da soggettivi, diventano oggettivi.

Ad esempio l'attenuazione può essere determinata mediante un manichino dotato di orecchi artificiali a cui si fanno indossare, e non indossare, i dispositivi [12,13]. Si può osservare che in questo caso l'attenuazione si riferisce ad un orecchio del tutto standardizzato, mentre nei casi precedenti le attenuazioni variavano in misura significativa a causa delle differenze di conformazione dei condotti uditivi, dei padiglioni e della testa dei soggetti.

Nel caso delle cuffie, inoltre, l'attenuazione può essere rilevata mediante due microfoni miniaturizzati, uno posto all'interno, l'altro all'esterno del dispositivo [14].

Per quanto riguarda i criteri di selezione dei soggetti in esame, tra le diverse ricerche sussistono notevoli differenze riguardanti in particolare il numero dei soggetti, il sesso, l'età, il fatto che i soggetti possono essere persone comuni oppure lavoratori, che possono essere scelti a caso oppure essere volontari, che possono avere più o meno dimestichezza con i dispositivi di protezione o con i relativi *test*. I soggetti possono inoltre essere selezionati sulla base della conformazione dell'orecchio esterno, dei deficit uditivi relativi all'orecchio destro e/o sinistro, dei disturbi o delle malattie dell'orecchio, ecc.. Tutti questi aspetti hanno certamente una importanza notevole nel determinare le differenze tra i risultati dei diversi studi.

Anche per quanto attiene la informazione-formazione dei soggetti circa la vestitura dei dispositivi, le discordanze tra i diversi studi possono essere notevoli: si può passare da una assenza totale di istruzione ad un addestramento completo ed esaustivo. Tra questi due casi estremi, le condizioni possono essere molteplici, sia in termini quantitativi che qualitativi; ad esempio:

- lettura delle istruzioni del produttore;
- lettura di istruzioni più dettagliate;
- dimostrazione pratica dell'esaminatore;
- ottimizzazione della vestitura in presenza di un rumore a banda larga;
- controllo da parte dell'esaminatore.

In questo contesto la soggettività di chi assiste i soggetti può svolgere un ruolo non secondario. Anche nel caso dell'istruzione, quindi, le sfaccettature di condizioni apparentemente analoghe possono portare a risultati differenti.

Nel prosieguo vengono fornite indicazioni circa le metodologie adottate nelle ricerche più importanti. Si ritiene infatti che le procedure messe in atto siano molto interessanti e che i risultati di tali ricerche possano essere compiutamente compresi (anche per quanto riguarda la loro incertezza) solo dopo aver colto le difficoltà insite in questo tipo di indagini. Le indicazioni più sotto riportate vogliono inoltre costituire uno sprone perché anche nel nostro Paese vengano svolte ricerche in questo settore.

4.1 Studi riguardanti più aspetti

Nel 1983 Edwards et al. [10] e Lempert et al. [11] riportano i dati di due ricerche promosse dal NIOSH (cfr. par. 2), svolte complessivamente in 15 stabilimenti di tipologia differente, in ognuno dei quali viene impiegato un determinato tipo di inserto auricolare. Ne considerano otto: due preformati, due personalizzati, due malleabili e due espandibili. Per ciascuno dei 15 stabilimenti individuano 28 lavoratori, equamente distribuiti tra 4 gruppi definiti a seconda del livello di esposizione (alto o basso, ossia superiore o inferiore a 90 dB(A)) e a seconda delle attività fisiche (pesanti o leggere). Complessivamente esaminano 420 lavoratori. Su ogni lavoratore effettuano 5 prove in giorni differenti, senza preavviso, durante il turno di lavoro. Prestano particolare attenzione al fatto che il dispositivo, tra il momento in cui i soggetti sono avvertiti dell'effettuazione della prova e la prova

stessa, non venga toccato, né spostato. Le prove consistono nella misura della soglia uditiva a dispositivo indossato e, successivamente, a dispositivo non indossato, esponendo i soggetti ai segnali in terzi di ottava riprodotti in cuffia.

Nel 1985 Behar [8] riporta i dati di una ricerca svolta su 177 lavoratori di tre centrali elettriche che impiegano quotidianamente dispositivi di protezione (in genere da oltre due anni). Vengono considerati una cuffia tradizionale, due cuffie montate su elmetto, un archetto e tre inserti auricolari. Viene misurata la soglia uditiva esponendo i soggetti ai segnali emessi da altoparlanti, prima a dispositivo indossato (gli addetti vengono invitati a indossare il proprio dispositivo come di consueto) e, successivamente, a dispositivo non indossato.

Nel 1987 Edwards e Green [15] riportano i dati di una ricerca caratterizzata dalle stesse procedure impiegate da Edwards e Lempert nel 1983. Questa volta viene considerato un inserto espandibile indossato da 56 lavoratori equamente suddivisi tra due stabilimenti.

Nel 1988 Berger [16] riporta i dati di una ricerca relativa a tre dispositivi (una cuffia, un inserto preformato a tre flange e un inserto espandibile) indossati da 200 soggetti in laboratorio. La vestitura dei dispositivi si basa sulla sola lettura delle istruzioni fornite dal produttore (*subject fit*). Dapprima viene eseguita una audiometria e successivamente viene rilevata la soglia uditiva a dispositivo non indossato e indossato.

Nel 1990 Pawlas e Grzesik [12] riportano i dati di una ricerca svolta sia in laboratorio che negli ambienti di lavoro, attinente dieci dispositivi (sei cuffie e quattro inserti). Nel corso delle indagini impiegano i segnali emessi da altoparlanti. In laboratorio rilevano l'attenuazione delle cuffie e degli inserti valutando la soglia uditiva (a dispositivo indossato e non indossato) di un gruppo di soggetti ben istruiti sull'uso dei dispositivi; inoltre misurano l'attenuazione delle cuffie mediante un manichino. Sul campo esaminano 40 lavoratori addetti a 8 differenti attività, ai quali viene rilevata la soglia uditiva prima del turno di lavoro e dopo due minuti dalla cessazione delle attività, al fine di determinare (per differenza) lo spostamento temporaneo della soglia (TTS_2). Queste ultime prove vengono effettuate in giorni diversi (ma caratterizzati dalla stessa esposizione a rumore) facendo o meno indossare i dispositivi (sul cui impiego i soggetti sono stati ben istruiti); il valore di TTS_2 viene impiegato per valutare le prestazioni dei dispositivi.

Nel 1990 Hempstock e Hill [9] riportano i dati di una ricerca in cui si considerano 7 dispositivi (due cuffie, due cuffie su elmetto e tre inserti auricolari) normalmente impiegati da 262 lavoratori di 8 stabilimenti. Le prove consistono nella misura della soglia uditiva a dispositivo indossato e, successivamente, a dispositivo non indossato, durante l'esposizione dei soggetti ai segnali in terzi di ottava emessi da altoparlanti. I soggetti vengono chiamati alla prova senza preavviso; gli autori operano in modo di evitare la manipolazione dei dispositivi da parte dei lavoratori nel breve periodo che precede l'esame.

Nel 1991 Casali e Park [17-19] riportano i dati di due ricerche svolte, la prima, in laboratorio e, la seconda, negli ambienti di lavoro. In entrambi i casi, le prove

consistono nella misura della soglia uditiva durante l'esposizione dei soggetti ai segnali emessi da altoparlanti. In laboratorio vengono considerati quattro dispositivi (una cuffia, una cuffia associata ad un inserto espandibile, un inserto preformato a tripla flangia, un inserto espandibile) indossati ciascuno da 10 soggetti; la successione delle prove è la seguente: misura a dispositivo non indossato e indossato, misura a dispositivo indossato sia dopo un'ora che dopo due ore di attività fisiche (movimenti temporo-mandibolari una prima volta, movimenti del capo e del corpo una seconda volta), misura a dispositivo non indossato. Negli ambienti di lavoro vengono considerati quattro dispositivi (una cuffia, un archetto, un inserto preformato a tripla flangia, un inserto espandibile) indossati ciascuno da 10 lavoratori addetti a attività differenti; le prove vengono eseguite a dispositivo indossato (e, successivamente, non indossato) dopo una, due, tre settimane di attività lavorative; gli autori prestano attenzione al fatto che il lavoratore, avvertito della prova, non manipoli il dispositivo. Sia in laboratorio che negli ambienti di lavoro le prove vengono integralmente duplicate: dapprima il dispositivo viene fatto indossare sulla base della sola lettura delle istruzioni redatte dal produttore (*subject fit*); successivamente il dispositivo viene fatto indossare sulla base delle istruzioni impartite dall'esaminatore con ottimizzazione della vestitura del dispositivo in presenza di un rumore a banda larga (*trained fit*).

4.2 Studi riguardanti la informazione-formazione dei soggetti

Nel 1986 Casali e Epps [20] riportano i dati di una ricerca mirata a valutare l'effetto dell'istruzione inerente la vestitura dei dispositivi sulle prestazioni di 5 inserti auricolari (un preformato in gomma a doppia flangia, un preformato in materiale plastico a singola flangia, un malleabile in lana-piuma, un malleabile in cotone-paraffina, un inserto espandibile). Le prove vengono condotte in laboratorio su un gruppo di 50 soggetti esposti ai segnali emessi da altoparlanti; viene misurata la soglia uditiva a dispositivo non indossato e, successivamente, a dispositivo indossato. Per quanto riguarda l'istruzione e le modalità di vestitura vengono considerate le seguenti cinque condizioni: (a) viene semplicemente chiesto ai soggetti di indossare i dispositivi (in pratica è il caso in cui i lavoratori non leggono le istruzioni a corredo); (b) viene semplicemente chiesto ai soggetti di indossare i dispositivi in presenza di un rumore di fondo e di ottimizzarne l'attenuazione; (c) viene chiesto ai soggetti di leggere le istruzioni fornite dal produttore (procedura maggiormente diffusa negli stabilimenti); (d) vengono fornite ai soggetti istruzioni scritte dettagliate in merito alle diverse fasi della vestitura (elaborate dall'esaminatore e corredate da figure); (e) prima l'esaminatore legge le istruzioni dettagliate mentre indossa i dispositivi; poi il soggetto viene invitato a indossare i dispositivi durante la rilettura delle istruzioni effettuata dall'esaminatore; successivamente il soggetto si toglie i dispositivi e discute con l'esaminatore sulla corretta tecnica di vestitura; infine il soggetto si inserisce nuovamente i dispositivi (procedura ottimale). Per evitare che un grado di istruzione influisca su un altro ("effetto memoria"), i soggetti vengono divisi in 5 gruppi, ognuno dei quali viene sottoposto ad una sola delle 5 procedure di vestitura.

4.3 Studi riguardanti i movimenti temporo-mandibolari e le attività fisiche

Nel 1986 Abel e Rokas [21] riportano i dati di una ricerca mirata a valutare l'effetto dei movimenti temporo-mandibolari sull'efficacia di tre tipi di inserti (un preformato a doppia flangia, un malleabile in lana-piuma e un espandibile). Le prove vengono eseguite in laboratorio su 12 soggetti esposti ai segnali emessi da una cuffia. Viene misurata la soglia uditiva a inserto non indossato e, successivamente, a inserto accuratamente indossato; in quest'ultimo caso la rilevazione viene effettuata sia prima che dopo la pausa del pranzo.

Nel 1989 Casali e Grenell [22] riportano i dati di una ricerca mirata a valutare gli effetti di una moderata attività fisica sulle prestazioni di una cuffia caratterizzata da differenti forze di pressione sul capo e da cuscinetti riempiti con materiale plastico espanso o sostanza allo stato liquido. Le prove vengono eseguite in laboratorio valutando la soglia di udibilità di 24 soggetti esposti ai segnali emessi da altoparlanti. La procedura prevede nell'ordine: esame a dispositivo non indossato, esame a dispositivo indossato con cura, giudizio sul comfort offerto dalla cuffia (dopo 25 minuti), svolgimento di attività fisiche (i soggetti sono invitati a camminare, parlare, sedersi, alzarsi, chinarsi, ecc.), esame a dispositivo ancora indossato, esame a dispositivo non indossato.

Nel 1989-90 Cluff [23,24] riporta i dati di una ricerca mirata a valutare gli effetti della masticazione sulle prestazioni di cinque inserti auricolari (un preformato a tripla flangia, un malleabile in lana-piuma e tre espandibili con superfici diverse). Le prove vengono eseguite in laboratorio su 23 soggetti esposti ai segnali emessi da altoparlanti. Viene misurata la soglia uditiva a dispositivo indossato con cura, sia prima che dopo la masticazione di *chewing-gum* per 30 minuti.

4.4 Studi riguardanti il deterioramento dei dispositivi

Nel 1987 Rawlinson e Wheeler [25] riportano i dati di una ricerca mirata a valutare gli effetti del deterioramento nel tempo di due tipologie di cuffie. Viene misurata la soglia uditiva di soggetti (ben istruiti) esposti ai segnali emessi da altoparlanti. Le prove vengono eseguite a dispositivi indossati e non indossati, dopo che le cuffie sono state utilizzate in ambiente di lavoro per un mese o per un anno.

4.5 Studi riguardanti l'umidità dell'aria

Nel 1983 Smith et al. [13] riportano i dati di una ricerca mirata a valutare l'effetto dell'umidità dell'aria sull'attenuazione esercitata dagli inserti espandibili (in alcuni comparti produttivi, ad esempio in alcuni stabilimenti tessili, l'umidità deve rimanere elevata per esigenze produttive). Gli autori esaminano 45 inserti espandibili che vengono esposti per 12 ore in laboratorio a diversi livelli di umidità relativa (5, 50, 80 %). Le prove vengono eseguite utilizzando un manichino dotato di orecchi artificiali esposto al rumore emesso da altoparlanti; le misure vengono eseguite sia a inserti indossati che non indossati.

5. RISULTATI DELLE RICERCHE

5.1 Attenuazioni in funzione della frequenza

Come si è visto, diversi sono i ricercatori che hanno esaminato le attenuazioni effettivamente esercitate dai dispositivi negli ambienti di lavoro. In letteratura, i modelli di dispositivi maggiormente studiati sono i seguenti:

- cuffia Bilsom UF-1 [17,26,27];
- archetto Willson Sound Ban 20 [8,17];
- inserto preformato a singola flangia PlasMed V-51R [11,28-32];
- inserto preformato a doppia flangia Willson EP 100 [21,26,29,31,33-35];
- inserto preformato a tripla flangia EAR [16];
- inserto personalizzato [10,11];
- inserto malleabile in lana-piuma EAR [10,11];
- inserto espandibile EAR Classic [8-11,15-17,21,26,27,31,33,35-37].

Sulla base delle indagini sopra citate sono state costruite le figure 1-8 in cui sono riportate le attenuazioni medie e le relative deviazioni standard, frequenza per frequenza. Nel caso della cuffia (figura 1), dell'inserto preformato a singola flangia (figura 3), dell'inserto preformato a doppia flangia (figura 4) e dell'inserto espandibile (figura 8), gli studi sono numerosi per cui sono riportate le curve caratterizzate dalla massima e dalla minima attenuazione riscontrata sul campo. Nel caso dell'archetto (figura 2), dell'inserto preformato a tripla flangia (figura 5), dell'inserto personalizzato (figura 6) e dell'inserto malleabile (figura 7), i dati disponibili sono esigui per cui si è fatto necessariamente riferimento ad un autore specifico.

Come emerge chiaramente dalle figure, l'attenuazione media rilevata negli ambienti di lavoro è sempre nettamente inferiore a quella fornita dal produttore. Considerando le diverse frequenze, la differenza tra le due attenuazioni è relativamente elevata (0-10 dB) nel caso dell'inserto personalizzato e elevata (5-20 dB) nel caso della cuffia e dell'archetto. Nel caso dei tradizionali inserti auricolari la differenza è molto elevata (10-30 dB).

Se si esclude l'inserto personalizzato, la riduzione dell'attenuazione negli ambienti di lavoro, rispetto a quella dichiarata dal produttore, è drammatica.

Nelle figure 1-8 vi è un altro aspetto da sottolineare: le deviazioni standard rilevate negli ambienti di lavoro sono sempre più elevate di quelle dichiarate dal produttore. La variabilità dei dati sul campo è quindi molto maggiore. Ne consegue che l'attenuazione esercitata dai dispositivi su percentuali non indifferenti di lavoratori è nulla o quasi, in particolare alle basse frequenze [11].

Tra tutti i ricercatori vi è un totale accordo su queste conclusioni.

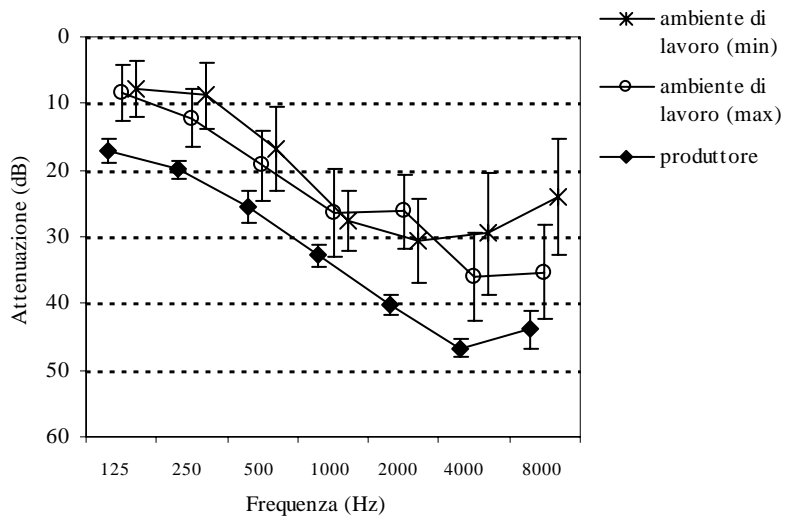


Figura 1: cuffia Bilson UF-1: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [17,26,27]

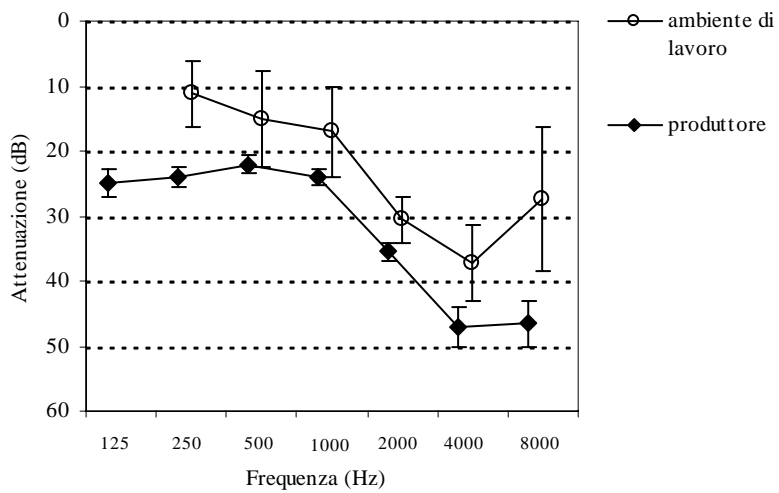


Figura 2: archetto Willson Sound Ban 20: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [8,17]

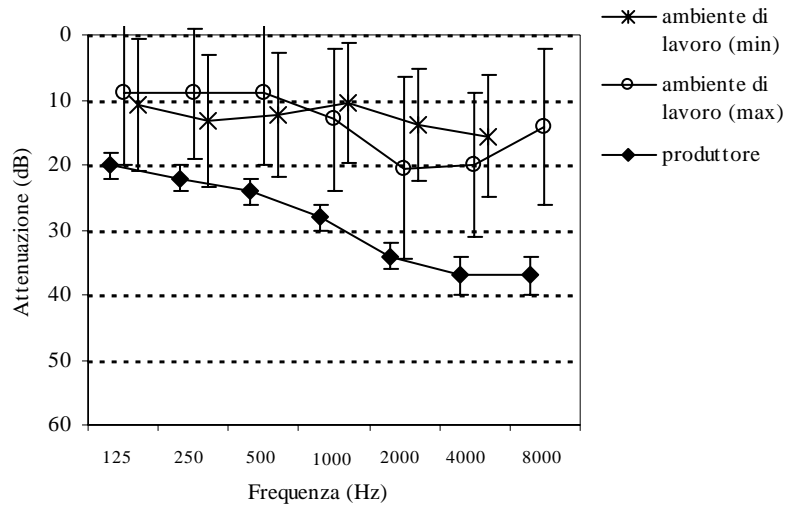


Figura 3: inserto preformato a singola flangia PlasMed V-51R: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [26,29,31]

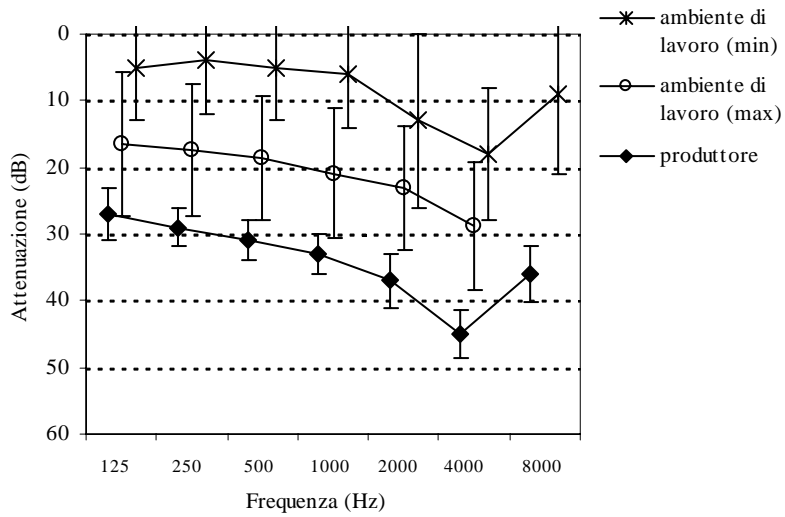


Figura 4: inserto preformato a doppia flangia Willson EP 100: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [26,29,31]

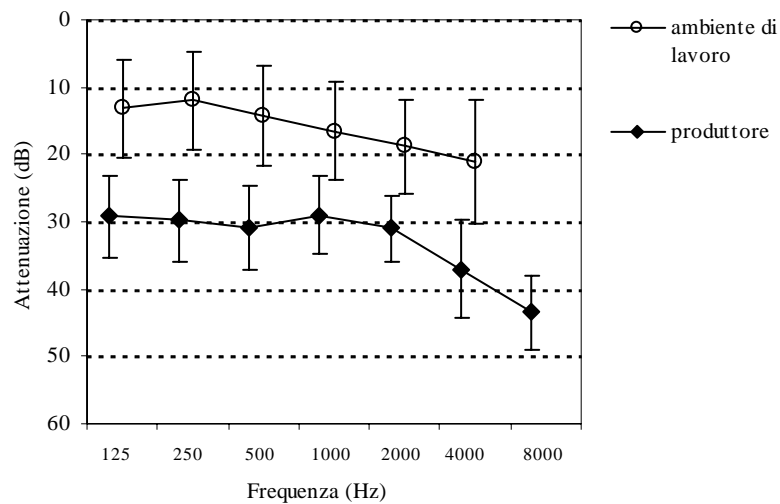


Figura 5: inserto preformato a tripla flangia EAR: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [16]

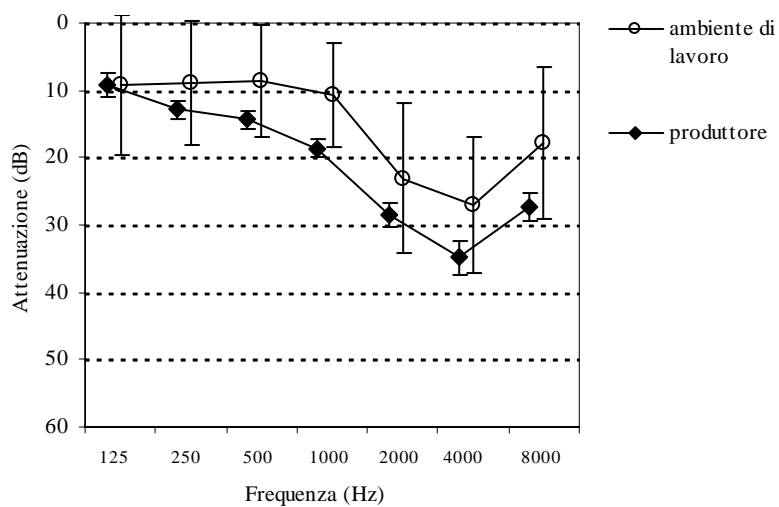


Figura 6: inserto personalizzato: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [11]

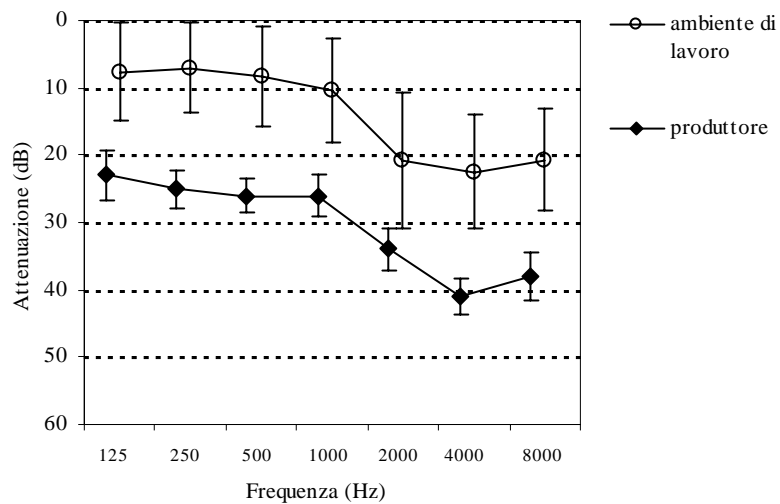


Figura 7: inserto malleabile in lana-piuma EAR: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [11]

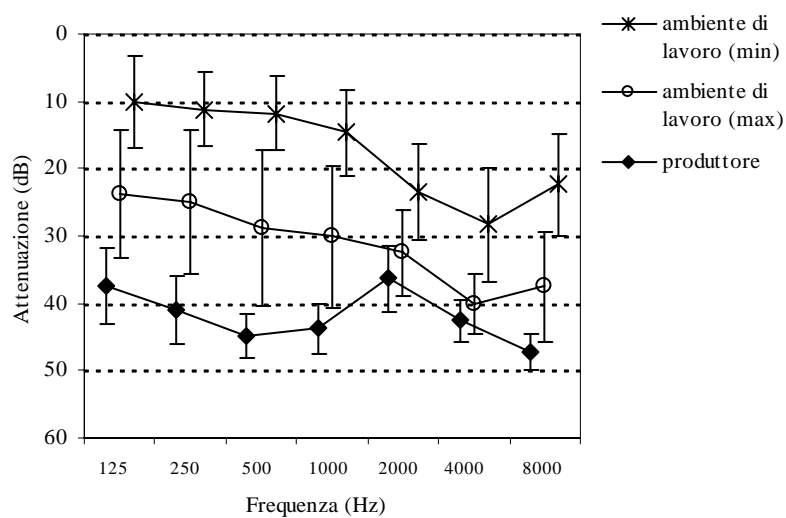


Figura 8: inserto espandibile EAR Classic: attenuazioni medie e deviazioni standard dichiarate dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [26,27,37]

5.2 Attenuazioni di determinate tipologie di rumore

Alcuni ricercatori elaborano i dati di attenuazione raccolti, frequenza per frequenza, negli ambienti di lavoro e stimano le attenuazioni esercitate dai dispositivi nel caso di alcune tipologie di rumore con determinate caratteristiche spettrali.

Nella tabella 1 vengono riportate le attenuazioni mediane esercitate da alcuni dispositivi su un rumore rosa [11]. Negli ambienti di lavoro l'attenuazione mediana si riduce in misura estremamente rilevante nel caso degli inserti preformati (dai 29 dB(A) dichiarati dal produttore si scende a 7 dB(A)) ed in misura rilevante nel caso degli inserti malleabili (da 26 a 10 dB(A)) ed espandibili (da 36 a 20 dB(A)). Solo nel caso degli inserti personalizzati la riduzione è contenuta (da 20 a 14 dB(A)).

A parte quest'ultimo caso, la riduzione di attenuazione è di 16-22 dB(A). Si osservi che errori di 20 dB(A) sulla stima dell'attenuazione si ripercuotono in misura devastante nel campo dei programmi di protezione uditiva. Il livello di esposizione stimato può essere pari a 70 dB(A) e quello effettivo di 90 dB(A): si crede che la protezione sia adeguata, mentre non lo è affatto.

Nel caso di soggetti partecipanti ad un programma di conservazione dell'udito e quindi maggiormente istruiti nell'uso dei dispositivi, le prestazioni dei dispositivi stessi possono essere migliori. Facendo riferimento agli inserti espandibili è stato riscontrato che l'attenuazione negli ambienti di lavoro raggiunge i 24-27 dB(A) [15], mentre era pari a 20 dB(A) nella tabella precedente.

Nella tabella 2 vengono riportate le attenuazioni minime esercitate da alcuni dispositivi su un rumore di media frequenza ($L_C - L_A = 2.1$ dB) [9]. Tali attenuazioni vengono espresse in termini di PNR_{84} ossia in termini di attenuazione minima per l'84 % delle persone esposte. Si può osservare che la riduzione di attenuazione è contenuta nel caso delle cuffie (da 21-22 a 17 dB), è più elevata nel caso dell'inserto malleabile (da 14 a 7 dB), molto più elevata nel caso dell'inserto espandibile (da 24 a 13 dB).

Le attenuazioni minime esercitate dai dispositivi sono considerate anche da altri ricercatori: tali attenuazioni vengono espresse mediante un unico valore (*Noise Reduction Rating*, NRR) [38] concettualmente analogo al valore *SNR*, che come è noto rappresenta la differenza tra il livello ponderato *C* del rumore in esame (nei casi seguenti si tratta del rumore rosa) e il livello ponderato *A* a dispositivo indossato. L'attenuazione minima si riferisce al 98 % della popolazione esposta.

Nella tabella 3 sono riportate le attenuazioni minime NRR_{98} determinate su soggetti che indossano i dispositivi sulla base delle istruzioni impartite dall'esaminatore con ottimizzazione della vestitura del dispositivo in presenza di rumore a banda larga (istruiti) e che indossano i dispositivi sulla base della sola lettura delle istruzioni redatte dal produttore (non istruiti) [17]. Le attenuazioni minime riferite al 98 % delle persone riscontrate negli ambienti di lavoro sono nettamente inferiori a quelle corrispondenti dichiarate dai produttori nel caso dei soggetti istruiti: enormemente inferiori nel caso dei soggetti non istruiti. Le riduzioni di attenuazione sono elevatissime per l'archetto, l'inserto preformato e l'inserto espandibile, relativamente contenute nel caso della cuffia.

Tabella 1: Attenuazioni mediane espresse in dB(A) esercitate da alcuni dispositivi su un rumore rosa, fornite dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [11]

Inseri	Produttore	Ambienti di lavoro	Riduzione dell'attenuazione
Preformati a singola e doppia flangia	29	7	22
Malleabili in lana piuma	26	10	16
Personalizzati	20	14	6
Espandibili	36	20	16

Tabella 2: Attenuazioni minime espresse in dB riferite all'84 % delle persone, esercitate da alcuni dispositivi su un rumore caratterizzato dalle medie frequenze ($L_C-L_A=2.1$ dB), fornite dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [9]

Dispositivi	PNR_{84} produttore	PNR_{84} ambienti di lavoro	Riduzione dell'attenuazione
Cuffie	21.2	16.8	4.4
Cuffie su elmetto	22.2	17.3	4.9
Insero malleabile	14.0	7.4	6.6
Insero espandibile	24.3	12.7	11.6

Tabella 3: Attenuazioni minime espresse in dB riferite al 98 % delle persone, esercitate da alcuni dispositivi su un rumore rosa, fornite dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro su soggetti istruiti e non istruiti [17]

Dispositivi	Produttore NRR_{98}	Ambienti di lavoro			
		Soggetti istruiti		Soggetti non istruiti	
		NRR_{98}	Riduzione dell'attenuazione	NRR_{98}	Riduzione dell'attenuazione
Cuffia	25.0	16.6	8.4	11.0	14.0
Archetto	22.0	5.8	16.2	prossima a zero	quasi totale
Insero preformato	29.0	15.2	13.8	prossima a zero	quasi totale
Insero espandibile	27.0	12.2	14.8	prossima a zero	quasi totale

Tabella 4: Attenuazioni minime espresse in dB riferite al 98 % delle persone, esercitate da alcuni dispositivi su un rumore rosa, fornite dal produttore e rilevate negli ambienti di lavoro [8]

Dispositivi	<i>NRR</i> ₉₈ produttore	<i>NRR</i> ₉₈ ambienti di lavoro	Riduzione dell'attenuazione
Cuffia	22.0	17.0	5.0
Cuffia su elmetto	23.0	7.0	16.0
Insero in lana piuma	22.0	2.0	20.0
Insero espandibile	29.0	5.5	23.5

Nella tabella 4 sono riportate le attenuazioni minime *NRR*₉₈ di altri dispositivi [8]. Anche in questo caso le attenuazioni minime riferite al 98 % delle persone riscontrate sul campo sono nettamente inferiori a quelle corrispondenti dichiarate dal produttore. Le riduzioni di attenuazione sono molto elevate per la cuffia su elmetto, l'insero in lana piuma e l'insero espandibile; relativamente contenute nel caso della semplice cuffia.

5.3 Considerazioni sui singoli tipi di dispositivi

5.3.1 Cuffie

La riduzione di attenuazione delle cuffie, passando dai dati dichiarati dal produttore a quelli riscontrati negli ambienti di lavoro, è elevata sulla base di alcune esperienze (figura 1 e tabella 3), relativamente contenuta nel caso di altre (tabelle 2, 4), minima nel caso di altre ancora [16].

Ad esclusione di alcuni modelli particolari che richiedono un attento posizionamento, generalmente le cuffie sono facilmente indossabili. La ottimizzazione della vestitura non ha quindi particolare influenza sull'attenuazione [17]. Ne consegue che la formazione-informazione in merito all'applicazione delle cuffie gioca un ruolo limitato [16].

Le attività fisiche hanno una scarsa influenza sull'attenuazione delle cuffie. Secondo prove di laboratorio la riduzione di attenuazione è di 1-3 dB, frequenza per frequenza; la deviazione standard aumenta invece anche di 5 dB a sostegno di una prevedibile maggiore variabilità dei dati [17]. Altri ricercatori confermano queste considerazioni (riduzioni di 0-2 dB a seconda delle frequenze) riferite ad attività fisiche moderate, anche se prospettano l'ipotesi che la riduzione di attenuazione (determinata dalle fessurazioni che si creano tra i cuscinetti e la testa) si elevi con l'aumentare dell'entità delle attività [22].

Le cuffie si degradano poco nel tempo. L'attenuazione esercitata da questi dispositivi non subisce variazioni nel corso di tre settimane di lavoro [17]. Dopo un anno di impiego, la riduzione di attenuazione è inferiore a 5 dB, frequenza per frequenza [25]. I cuscinetti devono però rimanere integri; se subiscono lacerazioni,

la riduzione di attenuazione può raggiungere i 15 dB [25].

Diversi ricercatori esaminano la forza esercitata dalle conchiglie sui padiglioni auricolari. Nel caso di cuffie in uso da almeno due anni, la forza è inferiore a quella riportata dal produttore [8]. Essa non sembra però influire sull'efficacia delle cuffie stesse [9]. Tuttavia, se da un lato un'alta compressione esercitata sul capo dell'utente ha un'influenza limitata sull'attenuazione della cuffia (1-4 dB, frequenza per frequenza), dall'altro determina un notevole decremento del grado di comfort [22].

Nel caso le cuffie premano troppo sul capo dell'utente, quest'ultimo è indotto a togliersele [12]; anche se ciò si verifica per brevi periodi di tempo, l'efficacia della protezione può risultare seriamente compromessa. Invece, qualora la pressione sia contenuta, le cuffie tendono a non aderire perfettamente alla testa e a scivolare creando fessurazioni che ne riducono l'efficacia [12]. L'entità della compressione dipende comunque dalla conformazione del capo [22].

Il materiale di riempimento dei cuscinetti ha lieve influenza sull'attenuazione della cuffia (± 4 dB): ad alcune frequenze è maggiormente efficace il materiale plastico espanso, ad altre la sostanza allo stato liquido [22].

Nel caso si indossino occhiali, le prestazioni dipendono dal tipo di cuffia impiegata: è stata riscontrata una riduzione di attenuazione di 0-5 dB, frequenza per frequenza [9].

5.3.2 Archetti

Sugli archetti i dati di letteratura sono molto scarsi. Gli scriventi ritengono che dovrebbero essere oggetto di maggiore attenzione, anche in considerazione del fatto che sono graditi a percentuali non indifferenti di lavoratori. Questi dispositivi, particolarmente utili nel caso l'esposizione al rumore sia saltuaria, vengono spesso preferiti alle cuffie negli ambienti con condizioni microclimatiche pesanti.

Dai dati disponibili in letteratura emerge che la riduzione di attenuazione, passando dai dati forniti dal produttore a quelli rilevati negli ambienti di lavoro, è molto elevata (figura 2 e tabella 3).

5.3.3 Inserti auricolari

Mentre la vestitura delle cuffie è semplice, l'applicazione degli inserti auricolari presenta alcune difficoltà che richiedono un certo addestramento da parte dei lavoratori. Nei paragrafi successivi si vedrà come il grado di informazione-formazione degli addetti influisca sull'attenuazione esercitata dai singoli tipi di inserti (preformati, malleabili e espandibili).

La prima cosa che va evidenziata riguarda le istruzioni fornite dal produttore: esse sono esigue a causa degli spazi limitati ad esse destinati [20] e la loro lettura non consente generalmente una vestitura corretta [17].

Solo istruzioni dettagliate accompagnate dalla dimostrazione di un esperto

garantiscono la massima attenuazione da parte di tutti gli inserti [20]. Nei luoghi di lavoro, la dimostrazione diretta da parte di un tecnico potrebbe far avvicinare le attenuazioni a quelle dichiarate dal produttore [20].

La presenza di un rumore di fondo per l'aggiustamento degli inserti costituisce certo un aiuto, ma richiede comunque istruzioni [20].

La formazione in merito alla vestitura degli inserti deve essere periodicamente rinnovata. La mancata ripetizione dell'addestramento per un periodo di 6 mesi è responsabile di una riduzione di attenuazione, alle varie frequenze, di 0-10 dB, con un incremento della deviazione standard di 0-5 dB [9].

L'assenza di istruzioni costituisce la causa principale per cui gli inserti non sono correttamente indossati. Essenzialmente essi non vengono sospinti sino in fondo e sono portati quasi completamente al di fuori del condotto uditivo. E' sufficiente fare un giro per uno stabilimento industriale per accorgersi quanto sia generalizzata questa realtà.

Alcuni ricercatori ritengono che gli inserti non vengano introdotti completamente nel condotto, perché la loro estrazione a termine dell'uso può risultare difficoltosa [12].

Comunque, anche nel caso di inserti ben indossati, i movimenti temporo-mandibolari e le attività fisiche provocano generalmente lo spostamento degli inserti stessi con conseguente riduzione dell'attenuazione. Si porrebbe quindi l'esigenza di aggiustare il loro posizionamento, ma ciò è problematico per due motivi: per avvertire questa esigenza è necessario accorgersi della caduta di attenuazione (cosa difficile se la riduzione è graduale nel tempo) [23]; per manipolare gli inserti è necessario avere le mani libere e pulite (cosa difficile negli ambienti industriali).

5.3.3.1 Preformati

La riduzione di attenuazione degli inserti preformati (a una, due o tre flange), passando dai dati dichiarati dal produttore a quelli riscontrati negli ambienti di lavoro, è molto elevata (figure 3, 4, 5 e tabelle 1, 3).

Le prestazioni di questo tipo di inserti vengono spesso compromesse dalla scelta erronea effettuata dai lavoratori in merito alla loro taglia [11].

Inoltre questi dispositivi non aderiscono adeguatamente al condotto uditivo [11]. A questo proposito va rammentato che i condotti sono uno diverso dall'altro e che inserti semirigidi e di dimensioni standard possono mal adattarsi ad ogni condotto.

L'attenuazione esercitata dagli inserti preformati dipende molto dal grado di informazione-formazione dei soggetti (figura 9). L'attenuazione esercitata dagli inserti è sostanzialmente la stessa (almeno sino a 1000 Hz) , sia in assenza di qualsiasi istruzione, che con la sola lettura delle istruzioni fornite dal produttore; nel caso della lettura di istruzioni dettagliate accompagnate dalla dimostrazione di un esperto, l'attenuazione migliora notevolmente (di 10-15 dB). L'attenuazione dichiarata dal produttore rimane comunque ancora più elevata [20].

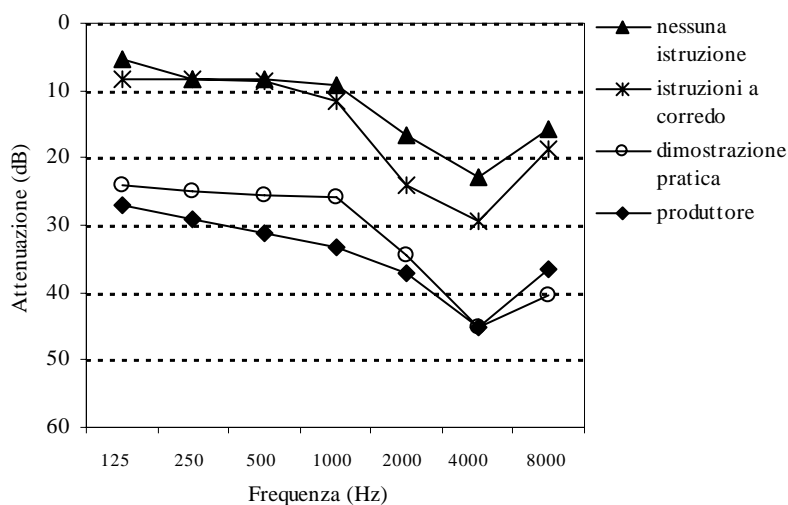


Figura 9: inserto preformato a doppia flangia: attenuazioni medie dichiarate dal produttore e ottenute in laboratorio per diversi gradi di istruzione [20]

L'assistenza dell'esaminatore e l'aggiustamento dell'inserto effettuato ascoltando un rumore a banda larga migliorano le prestazioni del dispositivo: l'incremento di attenuazione alle diverse frequenze è modesto (3-5 dB) in laboratorio, ma è rilevante (7-13 dB) negli ambienti di lavoro [17].

Negli stabilimenti, l'efficacia degli inserti preformati è molto influenzata dal grado di istruzione iniziale. Nel caso della sola lettura delle istruzioni fornite dal produttore, l'efficacia si riduce gradualmente nel giro di qualche settimana, mentre questo fatto non si verifica nel caso di un serio addestramento [17]. Probabilmente informazioni superficiali tendono ad essere dimenticate con facilità.

Le prestazioni degli inserti preformati sono influenzate dai movimenti temporo-mandibolari. Dopo il pranzo l'attenuazione esercitata dagli inserti si riduce di 6 dB alle diverse frequenze [21]. La masticazione di *chewing-gum* per 30 minuti comporta una riduzione di attenuazione di 4 dB, frequenza per frequenza, con un'ampia deviazione standard (7 dB) [23].

Le attività fisiche comportano riduzioni di attenuazione certamente significative; in laboratorio sono state riscontrate riduzioni di 3-7 dB, frequenza per frequenza [17].

A proposito dei movimenti temporo-mandibolari e delle attività fisiche, in letteratura si sottolinea che lo spostamento di questo tipo di inserto all'interno del condotto uditivo è minimo; l'attenuazione si basa però solo sull'effetto schermo (e non sul fono-assorbimento), per cui anche un minimo spostamento può far venir meno l'ermeticità della barriera con conseguente caduta dell'attenuazione [24].

5.3.3.2 Personalizzati

Sugli inserti personalizzati i dati di letteratura sono molto scarsi. Dai dati disponibili emerge che la riduzione di attenuazione, passando dai dati forniti dal produttore a quelli rilevati negli ambienti di lavoro, è abbastanza contenuta (figura 6 e tabella 1). Questo fatto può essere giustificato dall'attenzione con cui i lavoratori trattano e indossano i *loro* dispositivi.

Ovviamente l'efficacia degli inserti personalizzati dipende dalla competenza di chi realizza gli stampi e i dispositivi stessi [11].

5.3.3.3 Malleabili

La riduzione di attenuazione degli inserti malleabili (in lana-piuma o in cotone-paraffina), passando dai dati dichiarati dal produttore a quelli riscontrati negli ambienti di lavoro, è elevata (tabella 2) o molto elevata (figura 7 e tabella 1).

Come nel caso degli inserti preformati, l'attenuazione esercitata dagli inserti malleabili dipende molto dal grado di informazione-formazione dei soggetti (figura 10). Nel caso di questi inserti l'attenuazione migliora gradualmente passando attraverso i diversi gradi di istruzione (nessuna istruzione, lettura delle istruzioni fornite dal produttore, lettura di istruzioni dettagliate accompagnate dalla dimostrazione di un esperto). Tuttavia l'attenuazione dichiarata dal produttore rimane ancora notevolmente maggiore, anche se confrontata con quella ottenuta con tecniche di vestitura accurate [20]. Si può quindi comprendere sino in fondo quanto irrealistici [17] siano i dati forniti dal produttore.

Gli inserti malleabili in lana-piuma risentono in fortissima misura dei movimenti temporo-mandibolari. Durante il pranzo in 3 casi su 12 fuoriescono dal condotto uditivo; negli altri 9 casi la masticazione riduce l'attenuazione esercitata dagli inserti di 10 dB alle diverse frequenze [21]. La masticazione di *chewing-gum* per 30 minuti riduce l'attenuazione, frequenza per frequenza, di 8 dB con un'ampia deviazione standard (8 dB) [23].

A proposito dei movimenti temporo-mandibolari, in letteratura si sottolinea che lo spostamento degli inserti malleabili in lana-piuma all'interno del condotto uditivo è rilevante e va addebitato principalmente alla scarsa forza di espansione ed alla superficie liscia del *film* che avvolge il materiale; il diametro dell'inserto si può inoltre ridurre nel tempo. Ne consegue che l'effetto schermo diminuisce vistosamente. L'attenuazione viene quindi esercitata grazie alle proprietà fon-assorbimenti della lana-piuma [24].

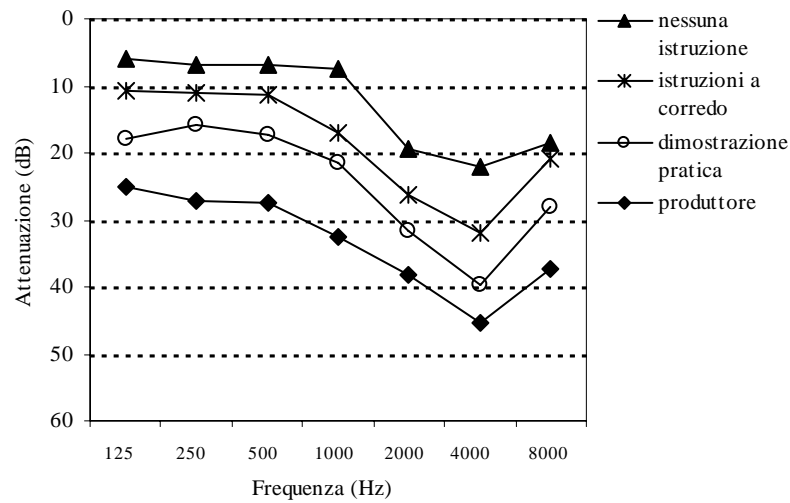


Figura 10: inserto malleabile in cotone-paraffina: attenuazioni medie dichiarate dal produttore e ottenute in laboratorio per diversi gradi di istruzione [20]

5.3.3.4 Espandibili

La riduzione di attenuazione degli inserti espandibili (in schiuma), passando dai dati dichiarati dal produttore a quelli riscontrati negli ambienti di lavoro, è molto elevata (figura 8 e tabelle 1, 2, 3, 4).

Rispetto agli inserti preformati e malleabili, l'inserto espandibile garantisce sempre l'attenuazione più elevata a tutte le frequenze (tranne che a 8000 Hz), a patto che i soggetti abbiano almeno letto le istruzioni del produttore [20]. Negli ambienti di lavoro gli inserti espandibili sono caratterizzati dall'attenuazione migliore, anche se essa è di gran lunga inferiore a quella dichiarata dal produttore [16].

Gli inserti espandibili devono essere inseriti seguendo scrupolosamente le apposite procedure, in particolare devono essere sospinti sino in fondo [17]: spesso, invece, tali dispositivi vengono inseriti solo parzialmente e non vengono mantenuti fermi nella loro posizione durante la fase di espansione [11].

Come nel caso degli inserti preformati e malleabili, l'attenuazione esercitata dagli inserti espandibili dipende molto dal grado di informazione-formazione dei soggetti (figura 11). Nel caso degli inserti espandibili, l'attenuazione migliora notevolmente passando attraverso i diversi gradi di istruzione (nessuna istruzione, lettura delle istruzioni del produttore, lettura delle istruzioni dettagliate accompagnate dalla dimostrazione dell'esperto); l'attenuazione relativa all'ultimo grado di istruzione è sostanzialmente analoga a quella dichiarata dal produttore [20].

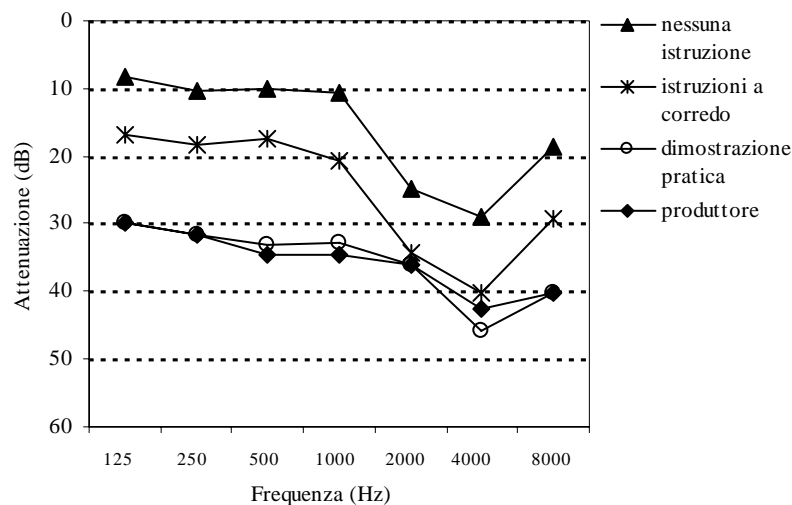


Figura 11: inserto espandibile cilindrico in schiuma: attenuazioni medie dichiarate dal produttore e ottenute in laboratorio per diversi gradi di istruzione [20]

L'ottimizzazione della vestitura, ottenuta mediante l'assistenza dell'esaminatore e l'ascolto di un rumore a banda larga, svolge un ruolo determinante. Sia in laboratorio che negli ambienti di lavoro l'incremento delle prestazioni è notevole: per frequenze inferiori a 1000 Hz è di 12-14 dB; alle alte frequenze l'incremento è di 3-5 dB in laboratorio e di 8-10 dB negli ambienti di lavoro [17].

Qualora i lavoratori siano stati seriamente istruiti, l'efficacia dei dispositivi aumenta nelle prime due settimane di impiego grazie all'esperienza, per poi mantenersi costante [17].

Gli inserti espandibili sono poco o nulla sensibili ai movimenti temporo-mandibolari; mantengono quindi la loro efficacia. Dopo il pranzo l'attenuazione esercitata dagli inserti si riduce di soli 2 dB alle diverse frequenze [21]. A termine della masticazione di *chewing-gum* per 30 minuti l'attenuazione dal dispositivo rimane pressoché invariata ($\pm 1-2$ dB) [23].

Attività fisiche svolte in laboratorio non riducono assolutamente l'attenuazione esercitata dagli inserti [17].

A proposito dei movimenti temporo-mandibolari e delle attività fisiche, in letteratura si sottolinea che la stabilità di questi inserti è determinata essenzialmente dalle forze di espansione (che li fanno aderire al condotto). La stabilità può essere influenzata dalla superficie (meglio ruvida che liscia) e dalla forma (meglio cilindrica che conica) del dispositivo. Comunque, anche se lo spostamento all'interno del condotto può essere significativo, l'elevata forza di espansione garantisce l'effetto schermo. L'attenuazione è inoltre determinata dalle proprietà fono-assorbenti del materiale [24].

L'umidità dell'aria non ha effetto sull'attenuazione degli inserti espandibili. Solo per alcuni modelli l'elevata umidità crea dei problemi in quanto rende difficoltosa la compressione dell'inserto oppure ne rende troppo rapida l'espansione [13]

6. CONCLUSIONI

Le attenuazioni effettivamente esercitate nei luoghi di lavoro da parte dei dispositivi individuali di protezione uditiva sono enormemente inferiori a quelle dichiarate dai produttori. Questo fatto rende del tutto irrealistici i livelli di esposizione dei lavoratori, stimati, a dispositivi indossati, proprio a partire dai dati forniti dai produttori. Con la conseguenza che i programmi di conservazione dell'udito fondati sull'uso dei dispositivi risultano, di fatto, del tutto inattendibili.

E' necessario quindi avvicinare dati contrapposti.

Certamente si dovrà incrementare l'attenuazione esercitata dai dispositivi negli ambienti di lavoro, essenzialmente agendo sulla informazione-formazione dei lavoratori. Ma tale obiettivo (primario) va perseguito comunque, a prescindere dalla contrapposizione dei dati.

E' necessario quindi rendere realistici i dati di attenuazione a corredo dei dispositivi, definendo nuove procedure di prova. Questi metodi sono disponibili già da alcuni anni [39], si tratta ora di applicarli.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 4869-1, *Acoustics, Hearing protectors - Part.1: Subjective method for the measurement of sound attenuation*, 1990.
- [2] ISO 4869-2, *Acoustics, Hearing protectors - Part.2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn*, 1994.
- [3] 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.
- [4] Michael, P.L., Kerlin, R.L., Bienvenue, G.R., Prout, J.H., Shampan, J.I., *A real-ear field method for the measurement of the noise attenuation of insert-type hearing protectors*, HEW Publication No. NIOSH 76-181, Cincinnati, OH, 1976.
- [5] Edwards, R.G., Hauser, W.P., Moiseev, N.A., Broderson, A.B., Green, W.W., *A field investigation of noise reduction afforded by insert-type hearing protectors*, Rapporto finale, NIOSH Contract No. 210-76-0139, 1977.
- [6] Rimmer, T.W., Ellenbecker, M.J., *Hearing protector attenuation measurement by bone conduction loudness balance compared with real ear attenuation at threshold in a sound field*, Appl. Occup. Environ. Hyg., 12(1):62-68, 1997.

- [7] Rimmer, T.W., Ellenbecker, M.J., *Feasibility assessment of a new method for measurement of hearing protector attenuation: bone conduction loudness balance*, Appl. Occup. Environ. Hyg., 12(1):69-75, 1997.
- [8] Behar, A., *Field evaluation of hearing protectors*, Noise Control Engineering Journal, 24(1):13-18, 1985.
- [9] Hempstock, T.I., Hill, E., *The attenuations of some hearing protectors as used in the workplace*, Ann. Occup. Hyg., 34(5):453-470, 1990.
- [10] Edwards, R.G., Broderson, A.B., Green, W.W., Lempert, B.L., *A second study of the effectiveness of earplugs as worn in the workplace*, Noise Control Engineering Journal, 20(1):6-15, 1983.
- [11] Lempert, B.L., Edwards, R.G., *Field investigations of noise reduction afforded by insert-type hearing protectors*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 44(12):894-902, 1983.
- [12] Pawlas, K., Grzesik, J., *Efficiency of ear protectors in laboratory and real life tests*, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 62:323-327, 1990.
- [13] Smith, C.R., Broughton Jr., R.M., Wilmoth, J.N., Mozo, B.T., *The effect of relative humidity on the noise attenuation of foam earplugs*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 44(11):814-818, 1983.
- [14] Giardino, D.A., Durkt Jr., G., *Evaluation of muff-type hearing protectors as used in a working environment*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 57(3):264-271, 1996.
- [15] Edwards, R.G., Green, W.W., *Effect of an improved hearing conservation program on earplug performance in the workplace*, Noise Control Engineering Journal, 28(2):55-65, 1987.
- [16] Berger, E.H., *Can real-world hearing protector attenuation be estimated using laboratory data?*, Sound and Vibration, 22(12):26-31, 1988.
- [17] Casali, J.G., Park, M.-Y., *Laboratory versus field attenuation of selected hearing protectors*, Sound and Vibration, 25(10):28-38, 1991.
- [18] Casali, J.G., Park, M.-Y., *Attenuation performance of four hearing protectors under dynamic movement and different user fitting conditions*, Human Factors, 32(1):9-25, 1990.
- [19] Casali, J.G., Park, M.-Y., *Effects of work conditions simulated in a laboratory environment and wearer fit on attenuation of slow-recovery foam earplugs*, Journal of Sound and Vibration, 143(1):153-165, 1990.
- [20] Casali, J.G., Epps, B.W., *Effects of user insertion/donning instructions on noise attenuation of aural insert hearing protectors*, Human Factors, 28(2):195-210, 1986.
- [21] Abel, S.M., Rokas, D., *The effect of wearing time on hearing protector attenuation*, The Journal of Otolaryngology, 15(5):293-297, 1986.
- [22] Casali, J.G., Grenell, J.F., *An exploratory study of moderate physical activity and selected design attribute effects on earmuffs attenuation*, Am. Ind. Hyg.

Assoc. J., 50(9):480-485, 1989.

- [23] Cluff, G.L., *Insert-type hearing protector stability as a function of controlled jaw movement*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 50(3):147-151, 1989.
- [24] Cluff, G.L., *Positional stability of five insert-type hearing protectors as a function of controlled jaw movement*, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 51(10):531-533, 1990.
- [25] Rawlinson, R.D., Wheeler, P.D., *The effects of industrial use on the acoustical performance of some earmuffs*, Ann. Occup. Hyg., 31(3):291-298, 1987.
- [26] Berger, E.H., Franks, J.R., Behar, A., Casali, J.G., Dixon-Ernst, C., Kieper, R.W., Merry, C.J., Mozo, B.T., Nixon, C.W., Ohlin, D., Royster, J.D., Royster, L.H., *Development of a new standard laboratory protocol for estimating the field attenuation of hearing protection devices. Part III. The validity of using subject-fit data*, Journal of the Acoustical Society of America, 103(2):665-672, 1998.
- [27] Hackey, G.A., Roberts, J.T., *Real world effectiveness of hearing protection*, Abstract #462, Am. Ind. Hyg. Conf., Philadelphia, PA, 1983. (citato in [26])
- [28] Padilla, M., *Ear plug performance in the industrial field conditions*, Sound and Vibration, 10(5):33-36, 1976. (citato in [26])
- [29] Edwards, R.G., Hauser, W.P., Moiseev, N.A., Broderson, A.B., Green, W.W., *Effectiveness of earplugs as worn in the workplace*, Sound and Vibration, 12(1):12-22, 1978. (citato in [26])
- [30] Fleming, R.M., *A new procedure for field testing of earplugs for occupational noise reduction*, Tesi di Dottorato, Harvard School of Public Health, Boston, MA, 1980. (citato in [26])
- [31] Abel, S.M., Alberti, P.W., Riko, K., *User fitting of ear protectors: Attenuation results*, in "Personal Hearing Protection in Industry", edito da P.W. Alberti, Raven, New York, 315-322, 1982. (citato in [26])
- [32] Royster, J.D., Ostendorf, J.S., Royster, L.H., Berger, E.H., *Comunicazione personale*, 1991. (citata in [26])
- [33] Crawford, D.R., Nozza, R.J., *Field performance evaluation of wearer-molded ear inserts*, Abstract #398, Am. Ind. Hyg. Conf., Portland, OR, 1981. (citato in [26])
- [34] Smoorenburg, G.F., ten Raa, B.H., Mimpfen, A.M., *Real-world attenuation of hearing protectors*, 12th Int. Congr. on Acoustics, Toronto, Vol.1, Paper B9-6, 1986. (citato in [26])
- [35] Passchier-Vermeer, W., van den Berg, R., Crijns, H., *Development of a simplified attenuation test method for personal hearing protection devices and for determining the attenuation values in real working situation*, TNO, NIPG Pub. No. 93.004, Olanda, 1993. (citato in [26])
- [36] Pfeiffer, B.H., Kuhn, H-D., Specht, U., Knipfer, C., *Sound attenuation by*

hearing protectors in the real world, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Report 5/89, Germania, 1989. (citato in [26])

- [37] Berger, E.H., Kieper, R.W., *Measurement of the real-world attenuation of E-A-R® foam and Ultrafit® brand earplugs on production employees*, E-A-R Tec. Rep., 91-30/HP, Indianapolis, IN, 1991. (citato in [26])
- [38] Environmental Protection Agency (EPA), *Noise labelling requirements for hearing protectors*, Federal Register 42(190), 40CFR Part 211, 56139-56147, 1979.
- [39] ANSI S12.6-1997, *American National Standard: Methods for measuring the real-ear attenuation of hearing protectors*, American National Standards Institute, New York, 1997.