

Carlo Giordano¹, Marco Cociglio², Juri Nadalin¹, Fabrizio Bronuzzi³, Luca Raimondo¹, Giuseppe Riva¹, Enrico Pira⁴, Maurizio Coggiola⁴, Tom Victorian⁵

La prevenzione individuale del Trauma Acustico Cronico: la nuova frontiera degli otoprotettori attivi

¹ I Clinica ORL, Dipartimento di Fisiopatologia Clinica, Università degli Studi di Torino - Via Genova 3 - 10126 Torino

² Starkey Italia - Via Torino 51 - 20063 Cernusco sul Naviglio (MI)

³ Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino - C.so Duca degli Abruzzi 24 - 10129 Torino

⁴ Dipartimento di Traumatologia, Ortopedia e Medicina del Lavoro, Università degli Studi di Torino - Via Zuretti 29 - 10126 Torino

⁵ Starkey USA, Minneapolis

RIASSUNTO. Sfruttando il design e la tecnologia digitale del comune apparecchio acustico, il pool di ricercatori è riuscito a progettare un prototipo di DPI che permette al lavoratore di essere oto-protetto e, nello stesso tempo, di migliorare sia l'aspetto comunicativo sia la percezione dei segnali di allarme acustici. Il design di questo dispositivo essendo analogo a quello dell'apparecchio acustico retroauricolare, permette di avere un DPI Attivo molto confortevole, robusto e di facile utilizzo. Lo studio con i prototipi è stato suddiviso in 3 fasi. 1° fase: 24 volontari non lavoratori dell'industria sono stati sottoposti ad un protocollo di sperimentazione ad hoc. 2° fase: 6 dipendenti di una ditta di estrazione mineraria a cui è stato somministrato lo stesso protocollo della fase 1. 3° fase: misure oggettive dei valori di attenuazione dei DPI utilizzati nelle fasi 1 e 2, effettuate c/o il laboratorio di acustica del dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino.

Parole chiave: dispositivi di protezione individuale per l'udito, otoprotettori attivi.

ABSTRACT. THE PREVENTION OF NOISE INDUCED HEARING LOSS: THE NEW CHALLENGE OF ACTIVE ELECTRONIC HEARING PROTECTION. Based on today's common hearing aid design and technology, the team of researchers successfully designed a DPI which allows the worker to be "protected" against loudness and in the same time guarantee a good level of communication and perception of the surrounding environment. The design of this new device is very much similar to a standard BTE hearing aid which allows the use of an active DPI very comfortable, robust and easy to use. The research using the prototypes was divided into 3 phases: Phase 1: 24 volunteers coming from non-industry companies did undergo a specific trial protocol. Phase 2: 6 workers coming from a mining company did undergo the same protocol used in Phase 1. Phase 3: The Acoustics Laboratory from the "Energetica" Department of the Polytechnic of Turin (University/Institute) took objective measures for the DPI attenuation figures used in phase 1 and 2.

Key words: personal hearing protection devices, active hearing protection.

Introduzione

L'articolo 193 del DLgs 81/2008 prevede che il datore di lavoro "nei casi in cui i rischi derivanti dal rumore non possono essere evitati con le misure di prevenzione e protezione di cui all'articolo 192 (leggi misure tecniche ed organizzative), fornisce i dispositivi di protezione individuale per l'udito conformi alle disposizioni contenute nel titolo III, capo II...".

In modo più specifico, per quanto riguarda la funzione uditiva, i DPI sono destinati a proteggere l'apparato uditivo di chi li indossa creando una barriera tra l'apparato uditivo del soggetto esposto e le onde sonore presenti nel campo acustico in cui lo stesso viene a trovarsi.

I dispositivi di protezione individuale per l'udito si possono dividere in 2 gruppi: quelli che intervengono nell'attenuazione per via aerea (cuffie e inserti o tappi) e quelli che intervengono attenuando anche la trasmissione del suono per via ossea, avvolgendo in tutto o in parte il capo del soggetto esposto, ad esempio caschi o elmetti acustici.

Attualmente i mezzi di protezione acustica più utilizzati sono:

- cuffie auricolari passive: sono costituite da conchiglie auricolari che premono su ciascun padiglione dell'orecchio o da conchiglie che avvolgono il padiglione e vengono tenute contro la testa. Le conchiglie auricolari sono rigide, rivestite internamente con una calotta in materiale fonoassorbente destinata ad aumentare l'attenuazione sonora a determinate frequenze; i bordi delle calotte sono provviste di cuscinetti ammortizzati e riempiti con liquido o con materiale espanso in modo da realizzare una chiusura ermetica tra le conchiglie e la testa; le conchiglie sono tenute premute contro la testa da un archetto di sostegno o con un apposito dispositivo montato su di un elmetto di protezione.
- Cuffie auricolari attive: sono speciali cuffie provviste di dispositivi con risposta in funzione del livello sonoro. Sono dotate di un circuito elettronico teso a riprodurre i suoni esterni di livello minore nel condotto uditivo fornendo al contempo l'attenuazione dei suoni di maggiore livello per mezzo di una funzione di guadagno dipendente dal livello. Possono avere un dispositivo di controllo attivo della riduzione del rumore at-

traverso un procedimento elettronico inteso a neutralizzare un rumore sovrapponendo un suono specularmente. Le cuffie auricolari attive possono essere dotate di dispositivi di radio comunicazione in grado di trasmettere e ricevere segnali audio se accoppiate a qualsiasi tipo di ricetrasmittitore.

- Inserti auricolari: sono costituiti da un elemento di materiale elastico da inserire nel condotto uditivo esterno o da porre nella conca del padiglione auricolare contro l'orifizio del condotto. Questi dispositivi, come le cuffie auricolari attive, evitano il confinamento acustico di chi li indossa.
- Elementi acustici o caschi: sono dispositivi in materiale rigido che coprono una parte considerevole della testa e dell'orecchio esterno.

In linea di massima i criteri di scelta dei vari otoprotettori sono i seguenti:

- cuffie auricolari per alti livelli di rumore, predominanza di alte frequenze, uso non continuativo;
- archetto auricolare per livelli di rumore medi e uso non continuativo;
- inserti auricolari per livelli di rumore medio/alti, predominanza di basse frequenze anche per uso continuativo e in ambiente caldo e umido.

La norma UNI 458 (1995) definisce i principi base per scelta, uso e manutenzione degli otoprotettori.

Tale norma specifica che l'uso degli otoprotettori deve tener conto di fattori quali marcatura e certificazione, requisiti di attenuazione sonora, comfort del portatore, caratteristiche dell'ambiente di lavoro e dell'attività lavorativa, assenza di controindicazioni mediche al loro uso e compatibilità con altri dispositivi di protezione.

Perché siano efficaci, i protettori auricolari devono essere indossati durante tutto il periodo di esposizione al rumore. Se i protettori vengono tolti anche per brevi periodi, la protezione si riduce sensibilmente.

Per quanto riguarda il comfort del portatore, alla luce delle attuali conoscenze tecniche, non è possibile definire un criterio standard per valutare la caratteristica quantitativa assoluta (indice di confortevolezza).

Nel caso delle cuffie il comfort è influenzato da massa del DPI, tipologia di materiali utilizzati, pressione esercitata dal cuscinetto, forza esercitata dall'archetto di sostegno e regolabilità; per gli inserti auricolari la facilità di inserimento e di estrazione nel condotto uditivo dell'orecchio sono i principali fattori che condizionano la loro usabilità.

Le caratteristiche dell'ambiente di lavoro e del tipo di attività lavorativa risultano fondamentali per una corretta scelta dell'otoprotettore: attività lavorative con elevato dispendio energetico o condizioni microclimatiche caldo-umide possono causare eccessiva sudorazione che porta al non corretto utilizzo dei dispositivi di protezione acustica.

La norma UNI EN 457 prevede che il segnale acustico di pericolo debba essere percepito e riconosciuto da qualsiasi persona presente nell'area di ascolto e che debba essere superata la soglia di mascheramento. Il livello di pressione acustica ponderata A del segnale acustico di avvertimento deve essere maggiore di 15 dB rispetto al livello di pressione acustica del rumore ambientale.

I requisiti dei segnali acustici di pericolo definiti nella Norma sono considerati soddisfatti se le persone riconoscono il segnale acustico di pericolo indossando, se necessario, i propri protettori auricolari.

I comuni DPI, pur fornendo una buona protezione acustica, possono isolare completamente l'utilizzatore dal contesto ambientale aumentando i rischi sul lavoro di natura infortunistica legati alla percezione di segnali acustici ed impedendo al medesimo una comunicazione efficace e confortevole con i colleghi di lavoro.

Inoltre i DPI tradizionali sono a volte mal sopportati in quanto la sensazione di occlusione fisica e di surriscaldamento dei padiglioni auricolari e/o del CUE crea ulteriori disagi per l'utilizzatore.

Per tutti questi motivi un team di ricerca multidisciplinare ha ideato e creato un protocollo di ricerca sperimentale su un prototipo di otoprotettore attivo con la finalità di prevenire il danno uditivo da rumore e di migliorare il comfort comunicativo del lavoratore in ambienti di lavoro rumorosi.

Questo nuovo otoprotettore dovrà raggiungere i seguenti obiettivi: essere standardizzato, avere facilità d'uso, essere comodo da indossare e resistente nel tempo, avere un costo accettabile ed essere in grado di interfacciarsi con altri dispositivi wireless.

Infine, in un prossimo futuro, l'otoprotettore attivo dovrà essere implementato con un sistema di attivazione automatico al passaggio da un ambiente silenzioso ad uno rumoroso e viceversa.

Com'è noto, il D.Lgs. n° 81-2008 prevede che la selezione del DPI sia eseguita attraverso le seguenti fasi: misurazione del livello di rumore, valutazione del livello di esposizione personale, selezione del dispositivo di protezione auricolare (UNI EN 458) e verifica del nuovo livello di esposizione.

Per valutare se il grado di protezione offerto dal dispositivo è adeguato, la norma UNI EN 458 fa riferimento a un livello di rumore di 80 dB (A) con un valore di esposizione personale quotidiana (Lex) compreso tra 80 e 65 dB. Se tale valore supera gli 80 dB, il grado di protezione sarà pertanto insufficiente, mentre se è inferiore a 65 dB si ha una condizione di iper-protezione. Di conseguenza non sempre i dispositivi di protezione con valori di attenuazione maggiori, risultano essere più performanti. Infatti, salvo che l'entità del rumore ambientale non lo giustifichi, un dispositivo di prevenzione acustica troppo isolante può creare problemi alla comunicazione e specialmente alla percezione dei segnali di allarme da parte dell'utente. Questo effetto può condizionare l'utilizzo continuo del dispositivo e far sì che non sia indossato dal lavoratore per tutta la durata dell'esposizione.

Materiali e Metodi

Il progetto di un protocollo di ricerca sperimentale su un prototipo di otoprotettore attivo nasce dall'esperienza condotta su un sistema di protezione personale, specifico per i cacciatori, in grado di amplificare i rumori ambientali e di collegarsi wireless attraverso un

loop induttivo ad eventuali sistemi di intercomunicazione individuali, riducendo allo stesso tempo il rischio di danno determinato dal rumore dello sparo. Il funzionamento di questo dispositivo consiste nel fatto che l'amplificatore ha una potenza in uscita massima di soli 95 dB SPL a fronte dei 130-140 dB SPL del rumore generato dallo sparo. Questo meccanismo garantisce che il cacciatore, durante lo sparo, risulti esposto ad un picco di rumore inferiore a 100 dB (A). Il dispositivo ha un valore di NNR (Noise Reduction Rate: misura americana, in decibel, di quanto una otoprotezione riduce il rumore, specificato dalla "Environmental Protection Agency") di 25 dB. Tuttavia questo otoprotettore attivo non è in grado di rispondere completamente alle esigenze dell'otoprotezione in ambito industriale in quanto la potenza dell'amplificatore ha un valore di 95 dB SPL; il software inoltre è progettato per determinare una buona amplificazione del rumore di fondo (importante per il cacciatore per percepire il rumore degli animali ma fastidioso per il lavoratore). Per questi motivi per sviluppare il prototipo del nuovo otoprotettore è stato necessario ridurre il livello di uscita dell'amplificazione

a 85 dB SPL, inserendo uno squelch elettronico (ossia un dispositivo automatico atto a ridurre l'amplificazione per livelli di rumore ambientale inferiore a 40 dB) unitamente all'inserimento di un pulsante di spegnimento facilmente attivabile dall'utilizzatore.

Lo studio con i prototipi dell'otoprotettore attivo è stato suddiviso in 3 fasi. La prima fase ha previsto l'arruolamento di 24 volontari, 13 donne e 11 uomini, di età compresa tra i 20 ed i 30 anni non lavoratori dell'industria. Ogni soggetto è stato esposto per 9 minuti a 90 dB (A) di rumore industriale simulatoⁱ; durante tale periodo è stata eseguita una audiometria vocale in campo liberoⁱⁱ, utilizzando le tradizionali liste di parole bisillabiche, con 85 dB HL e successivamente con 90 dB HL di intensità sonora. Al termine della prova, per ogni soggetto partecipante, è stata effettuata una ulteriore audiometria vocale in campo liberoⁱⁱ con 40 dB HL di intensità sonora (rumore ambientale di circa 40 dB SPL). La Tabella I evidenzia la percentuale di riconoscimento delle parole presentate in campo libero a 40 dB HL con il dispositivo acceso versus il riconoscimento con dispositivo spento o con i tradizionali DPI.

Tabella I. Riconoscimento delle parole in campo libero

	Percentuale di discriminazione con DPI tappino/archetto Tradizionale	Percentuale di discriminazione con otoprotettore attivo Spento	Percentuale di discriminazione con otoprotettore attivo Acceso
1	70	50	90
2	10	10	100
3	50	70	70
4	0	40	70
5	30	10	70
6	10	0	60
7	50	90	80
8	30	20	90
9	30	60	80
10	70	50	90
11	50	50	90
12	100	70	90
13	100	50	90
14	100	100	90
15	30	100	100
16	60	60	100
17	40	50	100
18	60	70	100
19	80	90	100
20	50	80	30
21	60	80	100
22	70	90	70
23	80	100	100
24	80	70	80
	Media 55%	Media 61%	Media 85%

Al termine dell'esposizione i soggetti arruolati dovevano compilare un questionario creato ad hoc per valutare il comfort del presidio indossato. Ogni soggetto è stato sottoposto ad audiometria tonale liminare in cabina silente pre e post esposizione al fine di escludere un temporaneo aumento della soglia uditiva (TTS).

La seconda fase è stata condotta presso una società che opera nel settore estrattivo e sono stati reclutati 6 capitano che lavorano in ambienti con livelli di rumore variabili. Ad ognuno di essi è stato somministrato lo stesso protocollo della fase 1. Questa procedura è stata ritenuta necessaria a causa della possibile variabilità delle risposte soggettive legate ad una possibile influenza della non abitudine ad indossare i DPI nel primo gruppo di 24 volontari.

La terza fase è stata caratterizzata dalle misure oggettive dei valori di attenuazione dati dai singoli dispositivi di otoprotezione utilizzati nelle fasi 1 e 2.

Le rilevazioni sono state effettuateⁱⁱⁱ c/o il laboratorio di acustica del dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino.

Si sono confrontati gli archetti auricolari con i prototipi degli otoprotettori attivi accesi e spenti (passivi), ed è stata rilevata l'attenuazione per bande di un terzo di ottava, nelle condizioni di rumore industriale simulato ad un livello sonoro di 90 dB (A).

Le misure oggettive sono state finalizzate a verificare che l'attenuazione sonora di un comune DPI fosse la stessa dell'otoprotettore attivo nella condizione passiva. Successivamente si è voluto verificare che in condizione attiva il dispositivo pur attenuando di meno, mantenesse le condizioni di rispetto dei limiti previsti dal D.Lgs. n° 81-2008.

L'otoprotettore attivo ha un funzionamento dinamico correlato all'intensità sonora al quale è esposto ed è in grado di fornire una leggera amplificazione quando il rumore ambientale non supera i 65/70 dB (A) riducendo poi, in modo progressivo, l'intensità sonora quando i livelli di rumore salgono e superano gli 80-85 dB (A).

Questo funzionamento è stato verificato con l'utilizzo di una sorgente sonora calibrata con rumore rosa.

I risultati delle misure rilevate, sono sintetizzati nelle figure allegate.

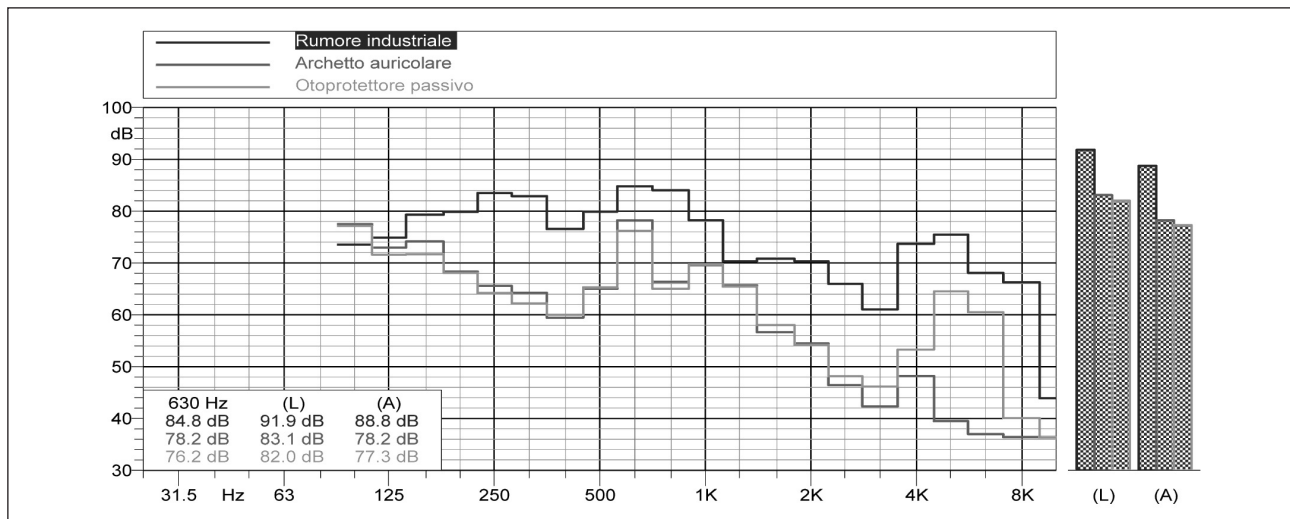


Figura 1. Confronto in terzi di ottava dell'attenuazione rilevata con Archetto Auricolare in rosso e Otoprotettore Attivo in modalità passiva in verde. In Blu il tracciato del rumore industriale simulato

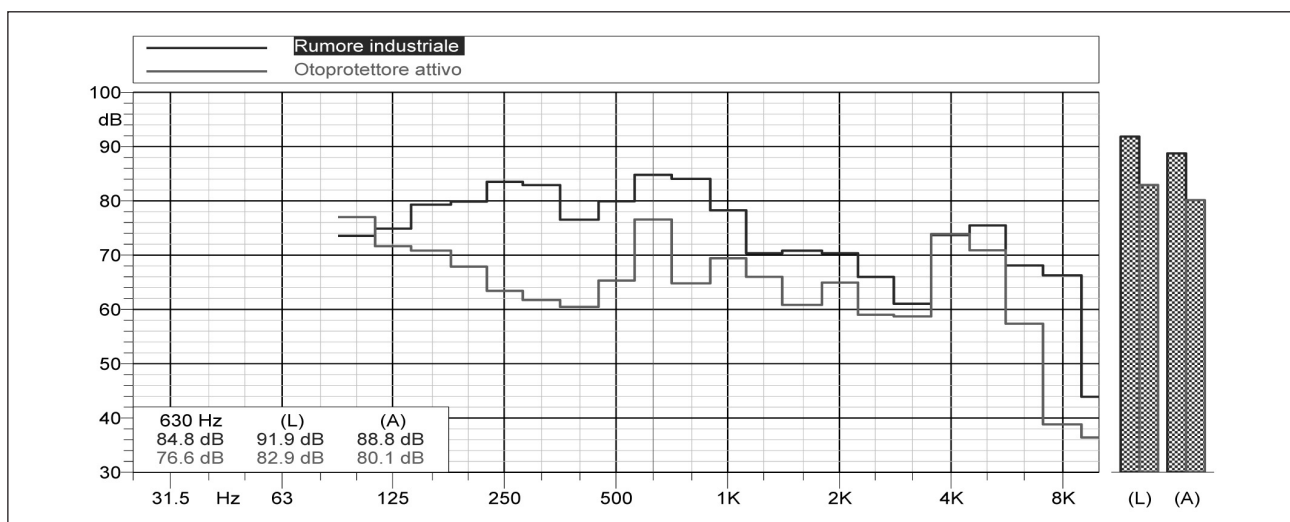


Figura 2. Confronto in terzi di ottava dell'attenuazione rilevata con Otoprotettore Attivo in modalità attiva in rosso. In Blu il tracciato del rumore industriale simulato

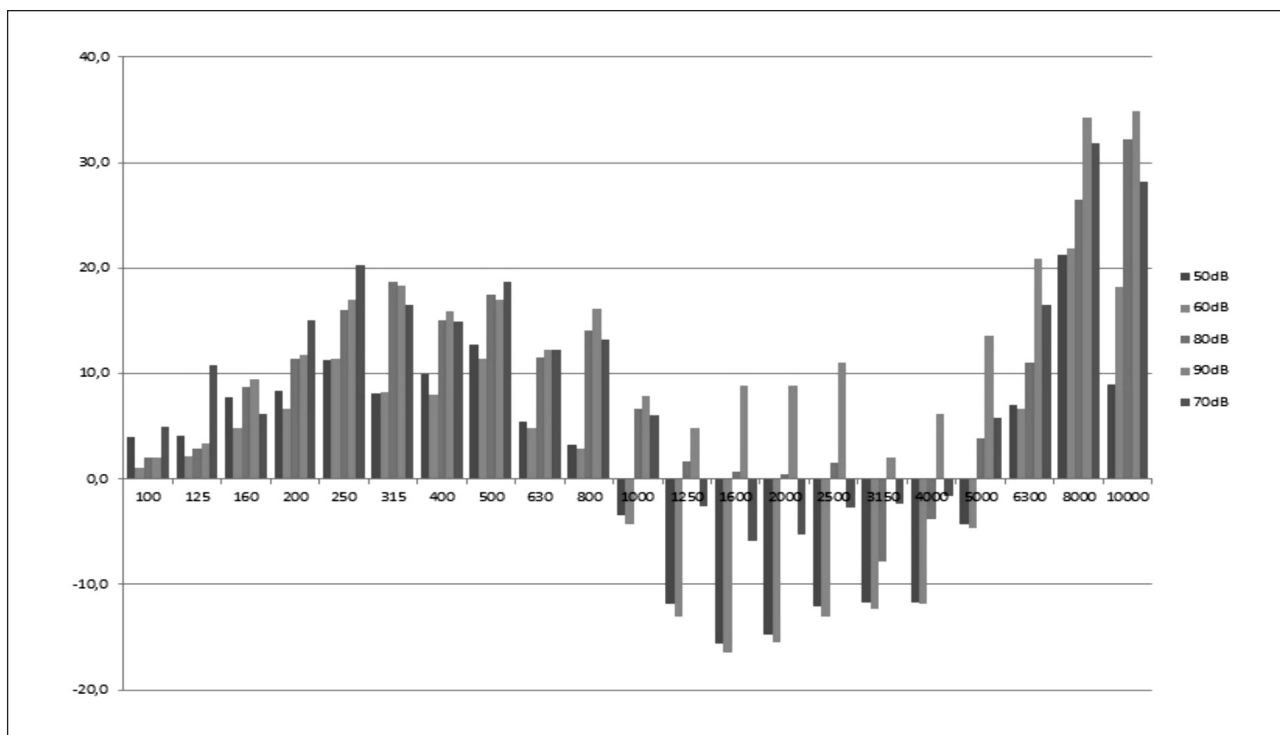


Figura 3. Funzionamento dinamico per bande di un terzo di ottava dell'Otoprotettore Attivo con sollecitazione di rumore rosa a diversi livelli di intensità sonora

Strumentazione utilizzata:

ⁱ Per effettuare l'audiometria tonale e l'audiometria vocale è stato utilizzato l'audiometro Amplaid Am13 con taratura eseguita prima di ogni fase. A quest'apparecchiatura sono state collegate delle casse attive Opera Live 210 della dB Technologies.

ⁱⁱ Il rumore utilizzato riproduceva una draga galleggiante, questo rumore ha una prevalenza sulle basse frequenze e quindi più mascherante.

ⁱⁱⁱ Le rilevazioni della fase 3 sono state effettuate con strumentazione B&K Head and Torso Simulator tipo 4128C e Sorgente di potenza sonora B&K tipo 4205 e sono consistite nella valutazione oggettiva dei parametri acustici riguardanti l'attivazione dei vari DPI posti a confronto tramite analizzatore Real Time "Larson Davis" mod. 2900A.

Il livello di rumore ambientale per ogni sessione è stato rilevato e monitorizzato con fonometro B&K tipo 2250.

Conclusioni

Dall'analisi dei risultati della fase 3 emerge come l'efficacia del presidio oggetto dello studio sia sovrapponibile in condizione passiva all'archetto auricolare o ai tradizio-

nali otoprotettori passivi (Figura 1), garantendo quindi una protezione del lavoratore adeguata alle vigenti norme.

In modalità attiva (Figura 2) l'otoprotettore attivo, nonostante l'amplificazione del rumore esterno rispetto all'otoprotettore passivo, garantisce comunque una adeguata otoprotezione.

Inoltre la possibilità di impiego in modalità attiva permette a chi indossa l'otoprotettore attivo (Tabella I) di avere una migliore comunicazione verbale rispetto ai comuni DPI in ambienti con livelli di rumore contenuto o assente (livelli d'intensità sonora inferiori a 70 dB (A)); inoltre permette di ascoltare più efficacemente i segnali acustici di allarme e consente, all'utilizzatore, di non dover rimuovere il presidio quando le condizioni ambientali sono modificate (spostamenti - pause - comunicazioni interne etc.) favorendo una maggior compliance; infine, quando sussistano condizioni ambientali molto gravi di rumore, l'otoprotettore attivo permette di abbinare una tradizionale cuffia antirumore.

Attualmente è allo studio la modifica di un parametro sull'amplificatore che consenta di ridurre la potenza in uscita dell'otoprotettore attivo da 85 dB SPL a 75 dB SPL, che di fatto migliorerebbe i valori di protezione quando l'otoprotettore in esame è in modalità attiva.

Visti i risultati incoraggianti ottenuti, si è deciso di effettuare la sperimentazione oggetto del presente lavoro, su una più ampia popolazione, in modo da garantire una adeguata potenza statistica allo studio.