



**Studio pilota dell'esposizione professionale a rumore e della funzionalità uditiva dei musicisti di una orchestra lirica nazionale**

*P. Nataletti<sup>1</sup>, R. Sisto, A. Pieroni, F. Sanjust e D. Annesi*

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL),

Dipartimento Igiene del Lavoro, Laboratorio Agenti Fisici,

Monteporzio Catone (Roma)

---

<sup>1</sup> Autore responsabile della corrispondenza: tel. 0694181421; fax 0694181419; e-mail: [pietro.nataletti@ispesl.it](mailto:pietro.nataletti@ispesl.it)

**Riassunto**

L'esposizione a rumore dei musicisti delle orchestre sinfoniche non è stata indagata in Italia nonostante il D.Lgs. 195/2006, che ha recepito la Direttiva Europea sul rumore 2003/10/CE, includa tutti gli ambienti di lavoro. Dati di Letteratura mostrano che i musicisti sono esposti ad elevati livelli di esposizione giornalieri. Tali livelli possono essere sistematicamente superiori a 85 dB(A) nel caso dei percussionisti.

Il presente studio riporta i risultati preliminari di uno studio pilota dell'esposizione professionale a rumore dei musicisti dell'orchestra sinfonica di un teatro lirico italiano. Sono state effettuate rilevazioni fonometriche su un campione rappresentativo dei componenti dell'orchestra, tramite dosimetri personali e analizzatori in frequenza. Le registrazioni sonore sono state effettuate durante le esecuzioni musicali in sala prova e nella fossa d'orchestra del teatro.

È stata monitorata la funzionalità cocleare prima e dopo le esecuzioni musicali tramite test di emissioni otoacustiche (OAE). Sono state rilevate le emissioni otoacustiche transienti evocate (TEOAE) ed i prodotti di distorsione (DPOAE) dei musicisti tramite il sistema portatile ILO292.

I risultati preliminari mostrano che i test uditivi basati sulle OAE sono in grado di discriminare le differenti classi di esposizione. È stata trovata una buona correlazione tra differenti livelli di esposizione giornalieri e i livelli delle DPOAE.

*Parole chiave: esposizione a rumore, musicisti, emissioni otoacustiche*

**Abstract**

The sound exposure of classic orchestra musicians is not well assessed in Italy even though the protectionistic law includes all the working environments, as stated in the European Directive 2003/10/EC relative to the protection of workers against noise-induced damage. Scientific data in the literature show that the musicians are exposed to high daily personal exposure levels. These levels can systematically exceed the 85 dB(A) in the case of percussionists.

In this study, preliminary results are shown relative to an experimental campaign performed in a lyric National Theatre. The aim of the study was the assessment of the risk due to high sound level in the theatre musicians and their cochlear functionality. The noise levels were measured by using wearable phonometers and multichannel sound analyzers. The signals were recorded during the whole working time in the rehearsal hall and in the fossa.

The cochlear functionality was monitored before and immediately after rehearsal in a sample of volunteers by means of otoacoustic emission tests. Both TEOAE and DPOAE were measured using the ILO292 portable system. The data show that OAE-based tests can effectively discriminate between different classes of exposure. A good correlation was found between the daily exposure level and the DPOAE level.

*Key words: noise exposure, musicians, Otoacoustic emissions*

## **Introduzione**

L'esposizione professionale a rumore dei musicisti delle orchestre liriche e sinfoniche è stata assai poco indagata in Italia, nonostante tale tipologia di lavoratori fosse ricompresa nel campo di applicazione sia del vecchio D.Lgs. 277/91 che del recente D.Lgs. 195/2006 (recepimento della nuova Direttiva Europea sul rumore 2003/10/CE), che ha introdotto il nuovo Titolo V-bis "Protezione da agenti fisici" del D.Lgs. 626/94 .

A livello europeo, solo nel gennaio 2007 si è svolta la prima Conferenza sui rischi da esposizione a rumore dei musicisti professionisti delle orchestre liriche e sinfoniche [1]. Gli studi presentati mostrano che tutti i musicisti (violinisti, violoncellisti, contrabbassisti, trombettisti, percussionisti,...) sono esposti a livelli equivalenti sonori  $L_{Aeq}$  sistematicamente superiori ad 80 dB(A) e in alcuni casi (ad es. clarinetto, tromba, trombone) i livelli sonori superano i 90 dB(A).

Il Laboratorio Agenti Fisici del Dipartimento Igiene del Lavoro dell'ISPESL ha avviato uno studio pilota dell'esposizione professionale a rumore e della funzionalità uditiva dei musicisti dell'orchestra lirica di uno dei maggiori teatri lirici italiani, in collaborazione con il Servizio di Prevenzione e Protezione aziendale. I risultati di questo studio pilota saranno utilizzati anche nell'ambito della definizione delle linee guida per l'applicazione del Titolo V-bis del D.Lgs. 626/94 nei settori della musica e delle attività ricreative previste dall'art. 49-duodecies del D.Lgs. 195/2006.

## **Materiali e Metodi**

*a) Misure fonometriche.* Le rilevazioni fonometriche sono state effettuate presso la Sala Regia e presso la fossa d'orchestra (detta anche "golfo mistico") del Teatro, durante le prove generali dell'opera lirica "Falstaff" di Giuseppe Verdi. Nelle giornate di misurazione sono stati effettuati in contemporanea rilevamenti in postazioni fisse, tramite dei microfoni

posizionati su dei cavalletti tra i musicisti, e rilevamenti personali tramite l'ausilio di dosimetri portatili indossati dai musicisti (Figure 1 e 2).



**Figura 1**

**Immagini riferite al dosimetro sonoro indossato dai musicisti.**



**Figura 2**

Le rilevazioni presso le postazioni fisse (cinque in totale) sono state effettuate tramite due analizzatori in tempo reale della 01dB: uno quadricanale modello *Harmonie* e uno bicanale modello *Simphonie*; le dosimetrie personali (otto in totale) sono state effettuate tramite 5 fonometri indossabili QUEST DLX-1. Sono stati rilevati i livelli equivalenti ponderati **A** ( $L_{Aeq}$ ) sia tramite le *time history* che tramite analisi per bande di terzi d'ottava, nonché il livello di picco ponderato **C** ( $L_{peakC}$ ), rappresentativi dell'esposizione dei musicisti durante le esecuzioni musicali del Falstaff. I tempi di misura (**Tm**), compresi tra **70'** e **150'**, sono stati scelti per essere rappresentativi dei fenomeni acustici delle sorgenti in esame, nelle relative postazioni individuate, e delle specifiche condizioni di esposizione dei musicisti del Teatro. Sono stati anche caratterizzati i tempi di riverbero  $T_{60}$  in Sala Regia e in fossa per verificarne la compatibilità con le indicazioni di buona tecnica.

**b) Misure delle otoemissioni acustiche.** Le emissioni otoacustiche [2] sono segnali acustici registrabili nel canale uditivo esterno sia spontaneamente in assenza di stimolo, sia immediatamente dopo o durante la somministrazione di uno stimolo, e sono classificate a seconda delle modalità di registrazione. Le emissioni otoacustiche più utilizzate per studiare i delicati meccanismi attivi della coclea sono le emissioni evocate da uno stimolo impulsivo

(TEOAE: Transient Evoked OtoAcoustic Emissions) e i prodotti di distorsione (DPOAE: Distorsion Product OtoAcoustic Emissions). I prodotti di distorsione (DP) sono frutto di meccanismi non lineari tipici dell'attività cocleare. Stimolando in modo continuo la coclea con due toni di frequenza  $f_1$  ed  $f_2$ , in un rapporto costante (il rapporto ottimale risulta essere  $f_2/f_1 \approx 1.22$ ), si producono delle emissioni, registrabili nel canale uditivo, con un contenuto in frequenza diverso da quello dei toni di stimolo e costituito da combinazioni lineari delle frequenze dei toni primari. Fra i prodotti di distorsione il più studiato nell'uomo, perché facilmente evocabile, è il tono di differenza cubica  $2f_1-f_2$ .

Sono state misurate TEOAE e DPOAE in un campione di 39 musicisti su un totale di circa 90 orchestrali. Le TEOAE e le DPOAE sono state registrate usando il sistema ILO292 (Otodynamics, Ltd.). Le TEOAE sono state acquisite nel modo standard “*derived nonlinear*” mode, con un livello di stimolo click ( $80 \pm 3$ ) dB. I DP sono stati ottenuti con un rapporto di frequenze di stimolo  $f_2/f_1=1.22$ , e ampiezze  $A_1 = 65$  dB e  $A_2 = 55$  dB, con risoluzione di 1/3 ottava. Sulla base dei dati espositivi medi, i soggetti sono stati suddivisi in 4 classi a seconda della tipologia di strumento utilizzato e dell'età del soggetto:

- 1) archi: violini, viole, violoncelli, contrabassi corrispondenti ad un livello medio di esposizione  $< 81.5$  dB(A) con età  $< 40$  anni;
- 2) archi: violini, viole, violoncelli, contrabassi corrispondenti ad un livello medio di esposizione  $< 81.5$  dB(A) con età  $> 40$  anni;
- 3) tutti gli altri strumenti: legni, ottoni, percussioni, caratterizzati da un livello medio di esposizione  $> 84$  dB(A), con età  $< 40$  anni;
- 4) tutti gli altri strumenti: legni, ottoni, percussioni, caratterizzati da un livello medio di esposizione  $> 84$  dB(A), con età  $> 40$  anni.

I dati sono stati analizzati in terzi di ottava e confrontati con dati di Letteratura. La capacità delle emissioni otoacustiche di discriminare le diverse classi espositive è stata valutata

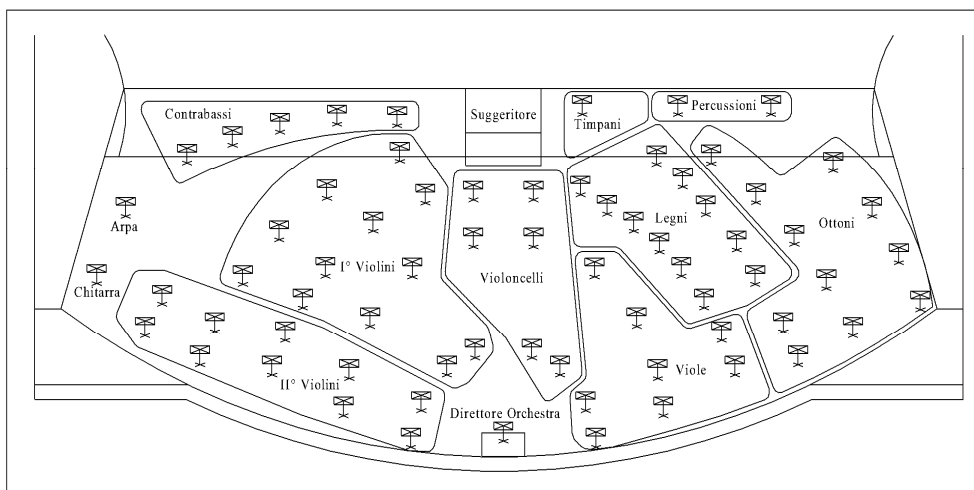
mediante uno standard test di Student con livello di significatività  $p < 0.05$ . I dati individuali di DPOAE, elicitati da  $F2 = 4\text{kHz}$ , nel caso di soggetti di età  $> 40$  anni e livello di esposizione  $> 82 \text{ dB(A)}$  sono stati correlati ai livelli medi di esposizione e best fittati con una legge lineare e una legge polinomiale.

## Risultati

**a) Fonetrie.** Nella Tabella I sono riportate le misure riepilogative dei livelli sonori relativi ai settori strumentali omogenei, registrati nella fossa d'orchestra durante le prove generali del Falstaff. Nella Figura 3 è rappresentata la fossa in pianta con la distribuzione dei settori musicali. I valori dei livelli equivalenti sonori  $L_{Aeq}$  di tutti i musicisti (tranne i contrabbassi) superano gli  $80 \text{ dB(A)}$ ; in tre casi (legni, ottoni e percussioni) i  $L_{Aeq}$  sono compresi tra  $85 \text{ dB(A)}$  e  $90 \text{ dB(A)}$ . Per quanto riguarda i livelli di picco  $L_{piccoC}$ , sono risultati tutti inferiori a  $135 \text{ dB(C)}$ . Sulla base dei tempi di esposizione tipici di una giornata lavorativa ( $T_e$ ), sono stati calcolati anche i livelli di esposizione giornalieri  $L_{EX,8h}$  che risultano tutti (tranne per i contrabbassi) superiori al valore inferiore di azione di  $80 \text{ dB(A)}$  stabilito dal D.Lgs. 195/2006. In un caso (percussioni) essi risultano addirittura superiori al valore limite di esposizione di  $87 \text{ dB(A)}$ , con la forte presenza di rumore impulsivo caratterizzato da livelli di picco di poco inferiori a  $135 \text{ dB(C)}$  ma con numerosi eventi ripetitivi durante l'esecuzione musicale.

Denominazione postazione	N° Strumenti	Tm	$L_{Aeq}$	$L_{piccoC}$	Ti	Te	$L_{EX,8h}$
			dB(A)	dB(C)			dB(A)
Violini I	4	70'÷140'	81,2±1,0	125,6	330'	510'	78,3±1,0
Violini II	3	138'÷150'	80,5±0,8	123,4			79,1±0,8
Viole	3	140'÷150'	83,2±0,9	121,4			81,7±0,9
Violoncelli	3	138'÷150'	83,5±1,3	123,7			82,0±1,3
Contrabbassi	2	138'÷140'	78,8±0,7	119,3			77,5±0,8
Legni	5	73'÷150'	86,6±1,1	129,0			85,0±1,1
Ottoni o Fiati	4	140'÷150'	87,5±1,1	125,4			85,9±1,1
Percussioni	1	150'	89,3±0,7	134,3			87,7±0,7
Direttore d'Orchestra	1	140'	80,3±0,7	116,1			78,9±0,7
Rumore per pausa pranzo		===	71,6±0,7	115,9			180'

**Tabella I: riepilogo delle rilevazioni fonometriche in fossa per settori strumentali.**

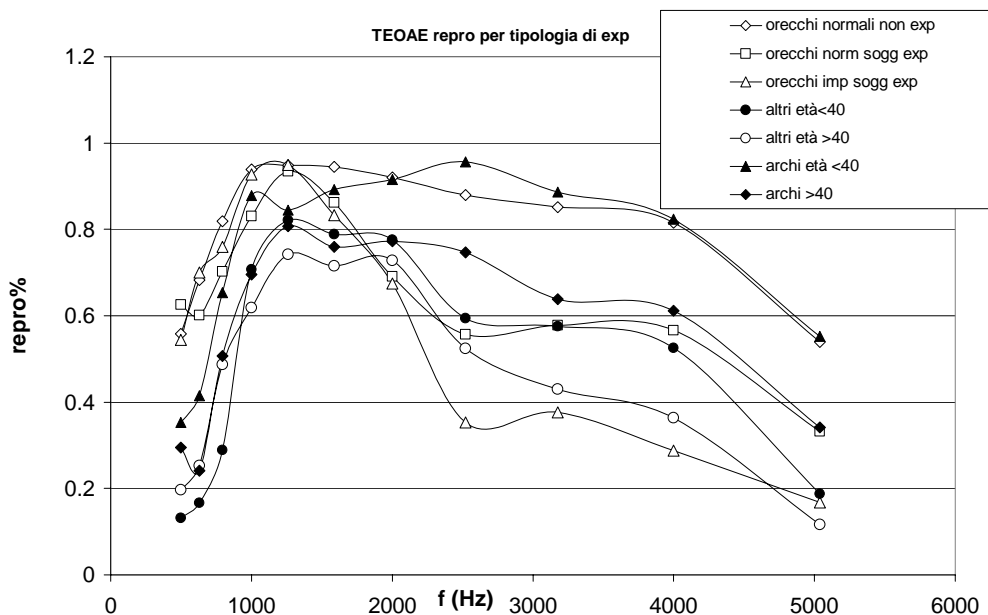


**Figura 3: vista in pianta della fossa d'orchestra e descrizione delle aree strumentali.**

**b) Otoemissioni acustiche.** Nella Figura 4 sono mostrati i dati di riproducibilità del segnale delle TEOAE per tipologia di strumento e per classe di età, confrontati con una popolazione di orecchi appartenenti a soggetti di età compresa fra 28 e 35, anni suddivisa nelle seguenti classi [3]:

- 1) orecchi audiometricamente normali (soglia  $\leq 20$  dBHL a tutte le frequenze audiometriche) di soggetti non esposti;
- 2) orecchi audiometricamente normali appartenenti a soggetti monolateralmente affetti da ipoacusia da esposizione a rumore impulsivo;
- 3) orecchi ipoacusici appartenenti agli stessi soggetti della classe 2;
- 4) orecchi ipoacusici appartenenti a soggetti affetti da ipoacusia bilaterale da esposizione a rumore impulsivo.

Come è evidente, il segnale medio nel caso di strumenti quali fiati, legni o ottoni, e percussioni, approssima bene il segnale medio relativo ad orecchi audiometricamente sani (soglia entro i 20 dB a tutte le frequenze audiometriche) di soggetti esposti se il soggetto rientra nella classe di età  $< 40$  anni. Nel caso della classe di età  $> 40$  anni, invece, il segnale medio approssima bene quello relativo ad orecchi affetti da ipoacusia ad alta frequenza.



**Figura 4: confronto fra la riproducibilità del segnale nelle classi di esposizione individuate per i musicisti e le classi di orecchi di soggetti esposti a rumore impulsivo**

La Figura 5 riporta i DP grammi relativi agli orecchi appartenenti alle 4 classi individuate per i musicisti. I dati individuali del prodotto di distorsione elicitato da  $F_2=4$  kHz in funzione del livello di esposizione personale quotidiano, individuato per la tipologia di strumento suonato e per soggetti di età superiore ai 40 anni, analizzati con una procedura di best fit mostrano che sono ben rappresentati da una legge lineare ma anche da una legge polinomiale. Dai dati si evince un forte effetto dell'esposizione sull'ampiezza del DP quando il livello di esposizione personale quotidiano supera gli 81 dB(A).

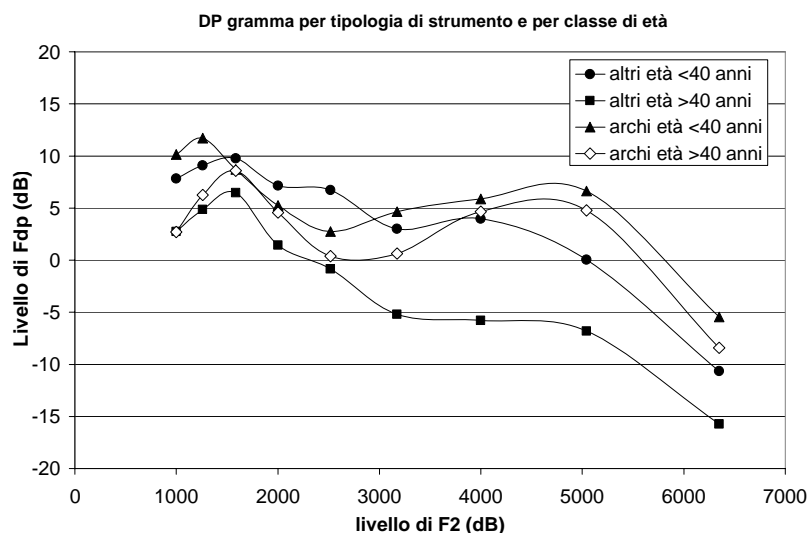
Come si vede sia le TEOAE che i DPOAE sono in grado di discriminare in modo statisticamente significativo le 4 classi di orecchi studiate.

## Discussione

I dati di esposizione sonora dei musicisti esaminati sono in linea con i dati riportati in Letteratura e mostrano livelli equivalenti sonori medi  $L_{Aeq}$  che vanno da un minimo di 78,8 dB(A) per i contrabbassi ad un massimo di 89,3 dB(A) per le percussioni, caratterizzati questi ultimi da forti componenti impulsive ripetitive. I dati di funzionalità cocleare mostrano una



significativa correlazione tra una ridotta ampiezza dei livelli delle TEOAE e delle DPOAE e livelli di esposizione superiori a 81 dB(A) in soggetti con età > 40 anni; tali dati depongono a favore di una ridotta funzionalità uditiva in questi soggetti che dovrà essere confermata da misurazioni audiometriche di soglia uditiva che saranno effettuate nei prossimi mesi.



**Figura 5: DP grammi relativi agli orecchi appartenenti alle 4 classi individuate per i musicisti**

## Conclusioni

I dati preliminari dello studio pilota effettuato presso un Teatro lirico italiano dimostrano la necessità di attivare le procedure di misura e valutazione del rischio rumore per quanto riguarda gli orchestrali e l'adozione delle relative misure di tutela e sicurezza, tra cui la sorveglianza sanitaria, previste dal nuovo Titolo V-bis del D.Lgs. 626/94 introdotto dal D.Lgs. 195/2006 che ha recepito la nuova Direttiva Europea rumore 2003/10/CE.

Lo studio prevede l'estensione delle indagini anche ai cantanti e ad altre realtà liriche e sinfoniche italiane. I risultati complessivi saranno utilizzati anche nell'ambito della definizione delle linee guida per l'applicazione del Titolo V-bis del D.Lgs. 626/94 nei settori della musica e delle attività ricreative previste dall'art. 49-duodecies del D.Lgs. 195/2006.

**Bibliografia**

- [1] Atti della Conferenza "*Music - Safe and Sound*". Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund, 16-17 gennaio 2007
- [2] Probst R et al. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1991; 89 (5): 2027-67.
- [3] Lucertini M et al. On the detection of early cochlear damage by otoacoustic emission analysis. *J Acoust Soc Am* 2002; 111: 972-8.