

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Numerical Prediction of the Pressure in the Vicinity of an Intra-Cochlear Receiver

Alberto Spirito

Relatori: A. Bottaro, D. Obrist

Università di Genova

ETH Zurich

25 Ottobre 2013

Indice

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

1 Introduzione

2 Metodo

3 Nuovo box cocleare

4 Confronto con i dati sperimentali

5 Inserimento ricevitore

Orecchio umano

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

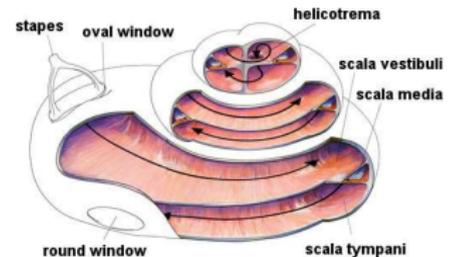
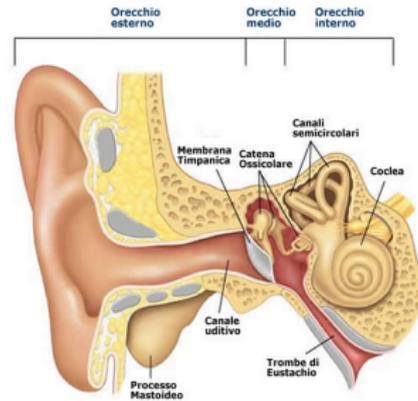
Inserimento
ricevitore

L'orecchio umano si compone di tre parti:

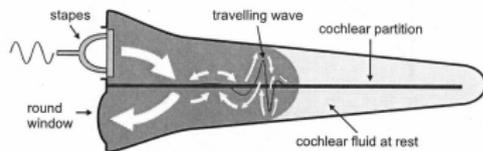
- orecchio esterno
- orecchio medio
- orecchio interno

Nell'orecchio interno risiede la *coclea*, divisa al suo interno in tre canali:

- rampa timpanica
- rampa media
- rampa vestibolare

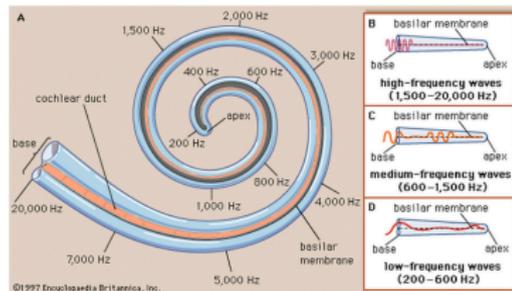


Punto caratteristico



L'oscillazione della staffa provoca movimento del fluido nella coclea e *onde viaggianti* sulle membrane della scala media.

Le onde viaggianti hanno un massimo d'ampiezza in una posizione particolare (*punto caratteristico*) che dipende dalla frequenza di vibrazione della staffa.



Introduzione

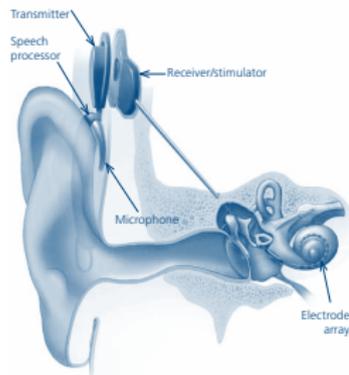
Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Impianti cocleari



- Gli impianti cocleari sono composti di una parte esterna ed una parte interna.
- La porzione esterna riceve il segnale sonoro e lo trasforma in segnale elettrico, si compone di un microfono/ricevitore, un processore di linguaggio e un trasmettitore.
- La porzione interna trasmette il segnale elettrico al sistema nervoso, essa include un ricevitore-stimolatore ed un sistema di elettrodi.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Introduzione al progetto

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Obiettivo

Creare un modello numerico per la simulazione di un ricevitore intra-cocleare inserito nella coclea vicino alla finestra rotonda.

Struttura del progetto

Il progetto è stato realizzato in due fasi:

- creazione di un nuovo box cocleare, per rendere il modello numerico della coclea più accurato nella zona vicino alla finestra rotonda;
- introduzione del modello del ricevitore intra-cocleare nella rampa timpanica del nuovo modello di coclea trovato.

Ipotesi modello

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

- box bidimensionale per riprodurre la geometria della coclea;
- modello passivo;
- fluido incomprimibile;
- Immersed Boundary Method per simulare le interazioni fluido-struttura;
- la membrana basilare è l'unica struttura considerata per la modellazione della rampa media;
- massa e smorzamento della membrana basilare nulli;
- impedenza della finestra rotonda nulla.

Procedura di soluzione

Il codice lavora con procedura iterativa. Si risolvono prima le eq. adimensionali del flusso:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}_{ext}, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0. \quad (2)$$

Le equazioni vengono integrate con metodo di Runge Kutta di ordine tre.

Dalla velocità si ottiene lo spostamento ($\boldsymbol{\eta}$) dei punti della membrana. Da $\boldsymbol{\eta}$ si ricavano le forze esercitate dalla membrana:

$$\mathbf{f}_{ext} = K\boldsymbol{\eta}, \quad (3)$$

da inserire nell'eq. (1) per l'iterazione successiva.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

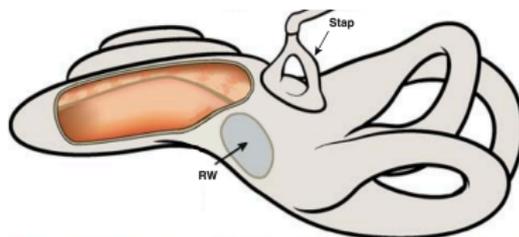
Inserimento
ricevitore

Descrizione del nuovo layout

La configurazione del box cocleare proposta riproduce meglio la geometria reale della coclea rispetto ai box tradizionali.

Le caratteristiche del nuovo box sono:

- finestra rotonda nella base inferiore del box;
- finestra rotonda di dimensioni maggiori;
- membrana basilare curvata.



Sono state inoltre studiate altre due configurazioni con la finestra rotonda spostata verso destra.

Introduzione

Metodo

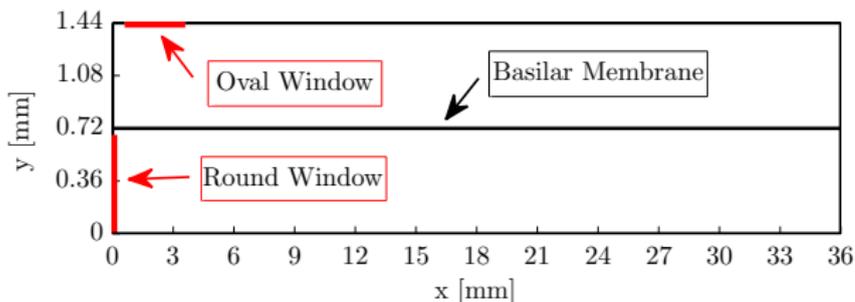
Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

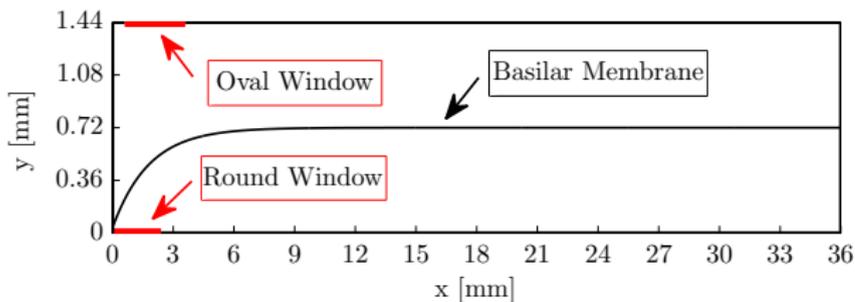
Inserimento
ricevitore

Schema delle configurazioni

Configurazione tradizionale



Configurazione proposta



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Modifica del codice

Per realizzare le simulazioni con il nuovo box sono state necessarie le seguenti modifiche al codice usato per la configurazione tradizionale:

- *nuova griglia per il fluido*, così da avere celle sufficientemente piccole intorno a tutti i punti della membrana;
- *nuova griglia per la membrana*, per calcolare più accuratamente le forze di membrana e per risolvere problemi di instabilità che si sono presentati;
- *calcolo delle forze di membrana in coordinate locali*, in quanto la membrana non è più allineata con l'asse x della coclea.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

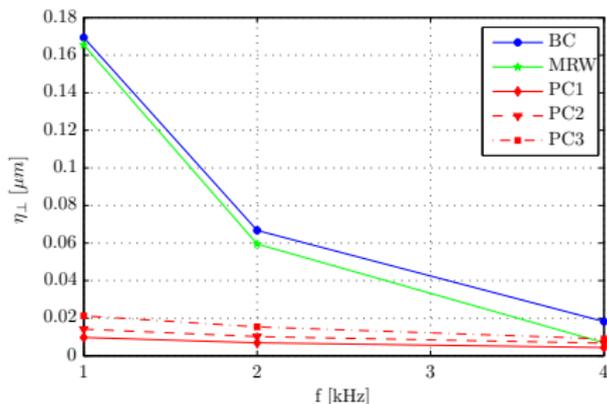
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Confronto dei risultati

Massimo spostamento del punto caratteristico

Lo spostamento della membrana è legato fortemente al segnale di output della coclea.



Si possono notare:

- differenze di un ordine di grandezza a basse frequenze;
- notevole riduzione delle differenze ad alte frequenze;
- influenza sensibile della posizione della finestra rotonda.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Confronto dei risultati

Involuppo dei massimi spostamenti della membrana

Introduzione

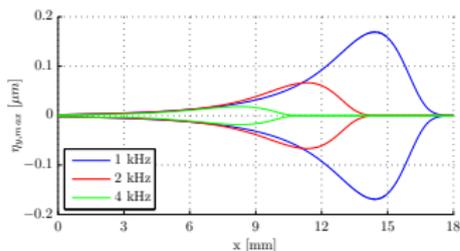
Metodo

Nuovo box
cocleare

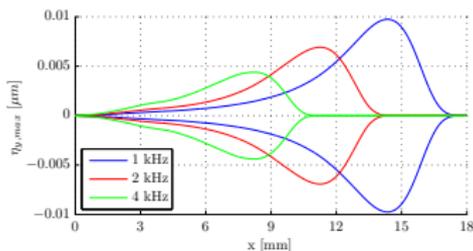
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Configurazione tradizionale

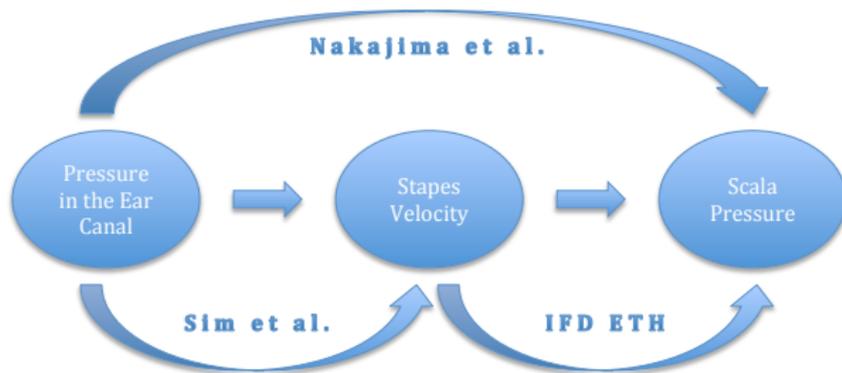


Configurazione proposta



Nella configurazione proposta, ogni punto della membrana sperimenta il suo massimo spostamento solo quando è il punto caratteristico a una determinata frequenza.

Descrizione del procedimento



Procedura:

- 1** $p_{EC} \Leftrightarrow V_{ST}$ tramite i risultati sperimentali di Sim et al.;
- 2** $V_{ST} \Leftrightarrow p_{ST}$ tramite simulazioni svolte in questa tesi;
- 3** confronto con risultati sperimentali di Nakajima et al.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

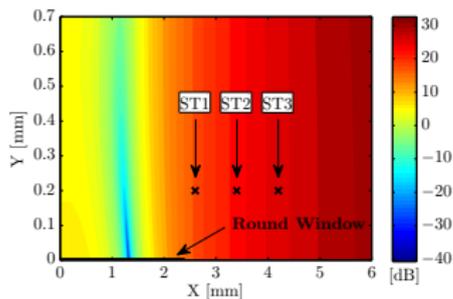
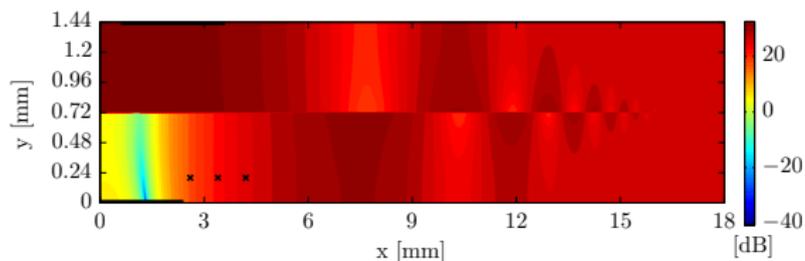
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Configurazione con membrana piatta

Punti di misura

I punti di misura non possono essere localizzati precisamente, ne sono quindi stati scelti tre. Sono mostrati sul campo delle massime oscillazioni di pressione.



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

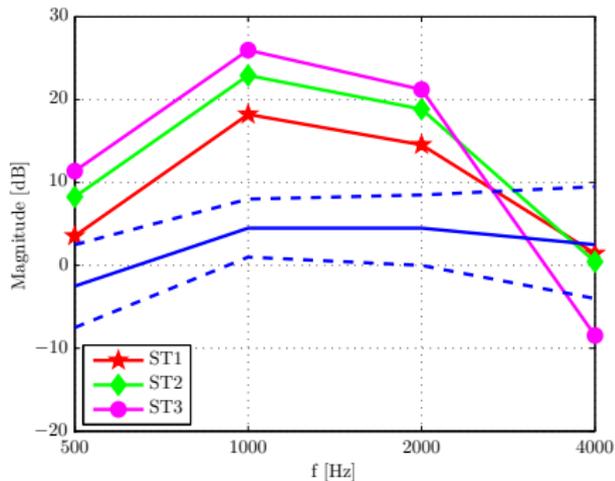
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Configurazione con membrana piatta

Risultati

- non c'è fitting con le curve sperimentali (linee blu tratteggiate);
- l'andamento con la frequenza è completamente differente.



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

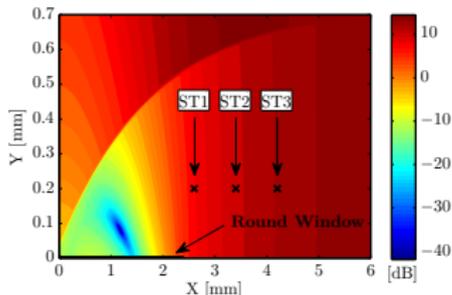
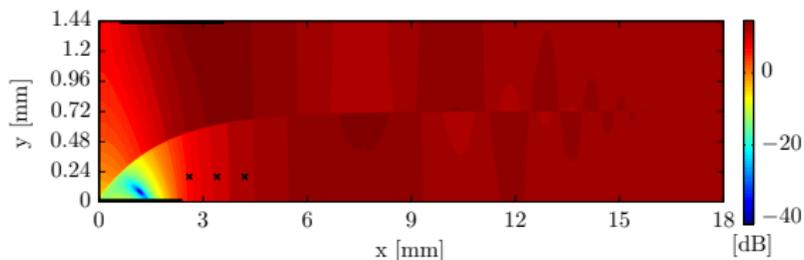
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Configurazione proposta

Punti di misura

I punti di misura sono gli stessi scelti per il caso precedente. Sono mostrati di nuovo sul campo delle massime oscillazioni di pressione.



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

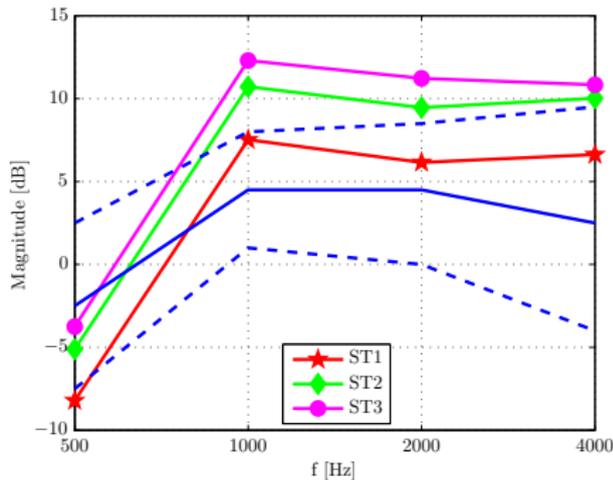
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Configurazione proposta

Risultati

- miglior fitting con le curve sperimentali (perfetto per ST1);
- simile andamento nel campo delle frequenze.



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

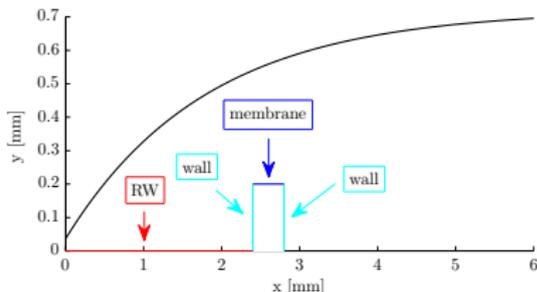
Modello del ricevitore

Descrizione degli elementi che lo costituiscono

Il modello del ricevitore intra-cocleare consiste di:

- 1 due pareti rigide laterali;
- 2 una membrana nell'estremità superiore;
- 3 un buco nelle pareti cocleari.

Esso è posizionato immediatamente vicino la finestra rotonda.



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Modello del ricevitore

Equazioni

Sia per le membrane che per le pareti è stato utilizzato IBM, ma con diverse equazioni.

- Per le pareti:

$$f(\mathbf{x}_p, t) = \alpha \int_0^t \mathbf{u}(\mathbf{x}_p, t') dt' + \beta \mathbf{u}(\mathbf{x}_p, t), \quad (4)$$

Scegliendo valori elevati di α e β si fa tendere a zero la velocità e lo spostamento degli elementi di parete.

- Per la membrana:

$$f(\mathbf{x}_m, t) = K_m \mathbf{x}(t), \quad (5)$$

si suppongono pertanto nulli la massa e la viscosità della membrana.

Modello del ricevitore

Stabilità

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

In questa parte del lavoro si sono verificati problemi di stabilità, per risolverli e per aumentare l'accuratezza della soluzione sono state adottate le seguenti misure:

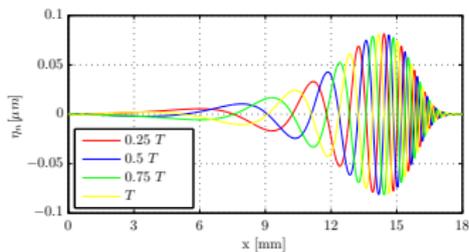
- le forze esercitate dalla membrana e dalle pareti sono state calcolate utilizzando due punti di griglia Lagrangiana per ogni cella di fluido;
- le forze di parete sono distribuite su sedici punti di griglia invece che su quattro;
- il passo temporale è stato diminuito.

N.B. il modello è stato testato solo a una frequenza di oscillazione della finestra ovale pari a 1 *kHz*.

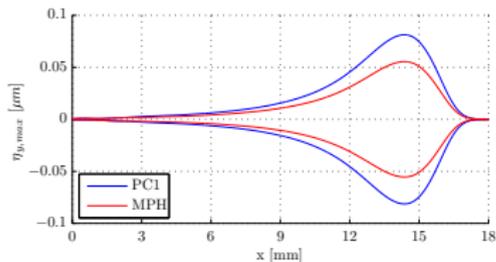
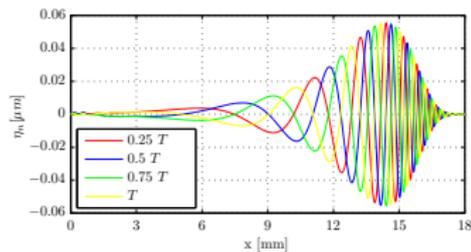
Risultati

Spostamenti membrana

Coclea senza ricevitore



Coclea con ricevitore



Non ci sono sostanziali differenze di comportamento tra i due casi, eccetto che una riduzione dell'ampiezza di oscillazione pari a circa il 30%.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

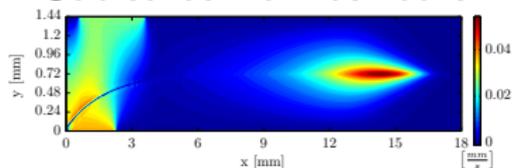
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

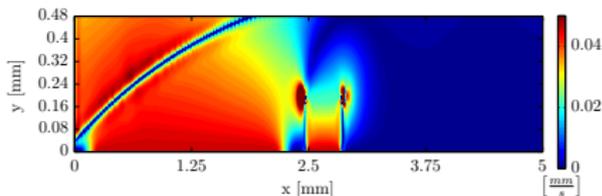
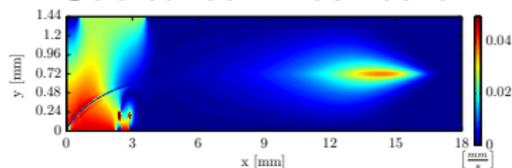
Risultati

Campo di velocità medio

Coclea senza ricevitore



Coclea con ricevitore



- I picchi di velocità hanno stessa intensità ma in zone diverse nei due casi;
- Agli estremi della membrana del ricevitore si formano vortici e la velocità in quelle zone aumenta.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

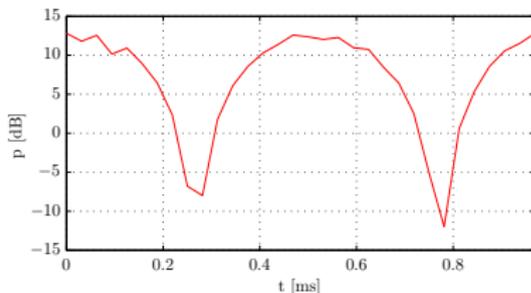
Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Risultati

Segnale di pressione rilevato

Il segnale di pressione rilevato dal ricevitore intra-cocleare in un periodo risulta:



Il picco risulta intorno a 13 dB , il valore è ragionevolmente elevato e può essere facilmente misurato dalla sonda.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Conclusioni e sviluppi futuri

Nel corso di questo progetto:

- è stata sviluppata una nuova configurazione del box cocleare e sono state studiate le sue caratteristiche;
- si è verificato l'accordo tra i risultati sperimentali e i risultati numerici trovati con il nuovo box;
- è stato sviluppato un primo modello del ricevitore intra-cocleare ed è stato implementato nel box cocleare.

Sviluppi futuri:

- sviluppo di un modello a parametri concentrati per simulare il ricevitore più accuratamente;
- studio su tutto il campo di frequenze di lavoro della coclea;
- studio più approfondito per la determinazione della posizione ottimale del microfono.

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Grazie per l'attenzione



Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Introduzione

Metodo

Nuovo box
cocleare

Confronto
con i dati
sperimentali

Inserimento
ricevitore

Numerical Prediction of the Pressure in the Vicinity of an Intra-Cochlear Receiver

Alberto Spirito

Relatori: A. Bottaro, D. Obrist

Università di Genova

ETH Zurich

25 Ottobre 2013