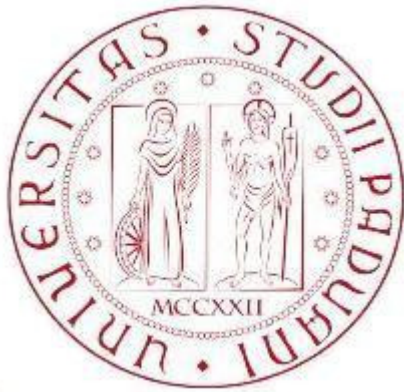


**Università degli studi di Padova**  
Facoltà di Ingegneria



DEPARTMENT OF  
INFORMATION  
ENGINEERING  
UNIVERSITY OF PADOVA



Elaborato:

**Emissioni otoacustiche:  
la loro origine e i loro utilizzi**

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Laureanda: **Dora Stefani**  
Relatore: **Alfredo Ruggeri**  
Correlatore: **Andrea Tiso**

25 Luglio 2013

A.A. 2012-2013



# Indice

<b>Abstract</b> .....	3
<b>Introduzione</b> .....	4
<b>CAPITOLO 1. Anatomia dell'orecchio</b> .....	5
1.1 Visione d'insieme dell'orecchio.....	5
1.2 Orecchio esterno.....	6
1.2.1 Padiglione auricolare.....	6
1.2.2 Condotto uditivo.....	6
1.3 Orecchio medio.....	6
1.3.1 Cassa timpanica.....	7
1.3.1.1 Catena ossiculare.....	7
1.3.2 Cavità mastoidee.....	8
1.3.3 Tuba di Eustachio.....	9
1.4 Orecchio interno.....	9
1.4.1 Labirinto osseo e labirinto membranoso.....	9
1.4.1.1 Coclea.....	10
1.4.1.2 Vestibolo.....	13
1.4.1.3 Canali semicircolari.....	14
<b>CAPITOLO 2. Emissioni otoacustiche</b> .....	15
2.1 Diversi tipi di OAEs.....	16
2.1.1 Classificazione secondo il tipo di stimolo usato per evocare le OAEs.....	17
2.1.1.1 SOAEs.....	17

2.1.1.2 EOAEs.....	17
2.1.1.2.1 TEOAEs.....	17
2.1.1.2.2 SFOAEs.....	18
2.1.1.2.3 DPOAEs.....	19
2.1.2 Classificazione secondo il meccanismo di generazione delle OAEs.....	20
<b>CAPITOLO 3. Esame delle emissioni otoacustiche.....</b>	<b>22</b>
3.1 Motivazioni.....	22
3.2 Procedura.....	24
3.2.1 TEOAE.....	24
3.2.2 DPOAE.....	28
<b>CAPITOLO 4. Come intervenire dopo l'esame.....</b>	<b>29</b>
4.1 Protesizzazione.....	29
4.2 Impianto cocleare.....	30
Conclusione.....	31
Bibliografia e sitografia.....	32

## **Abstract**

La prima parte di questa tesi fa una breve panoramica sull'anatomia dell'orecchio e sul funzionamento dell'udito; in particolare, si concentra sulla fisionomia della coclea e sui fenomeni che avvengono al suo interno. Nella coclea hanno infatti origine le emissioni otoacustiche (OAEs), dei segnali acustici di piccola intensità. Le OAEs possono essere misurate infilando un microfono-sonda all'interno del canale uditivo.

Nella seconda parte della tesi si spiega come i dati registrati siano un'importante fonte di informazioni circa lo stato di salute dell'orecchio interno e riguardo il comportamento della coclea. In particolare, si è scoperto che le emissioni otoacustiche sono presenti nell'orecchio normoudente, mentre risultano assenti nell'orecchio con ipoacusia superiore ai 30-40 dB.

Questo ha portato gli studiosi a sfruttare le OAEs per tentare di identificare già dai primi mesi di vita dei bambini affetti da ipoacusia, in modo tale da poter ricorrere il prima possibile ad una diagnosi più precisa e ad eventuali trattamenti, essenziali per migliorare le loro condizioni.

## **Introduzione**

Dopo una breve panoramica sull'anatomia dell'orecchio, in particolare su quella dell'orecchio interno, questo elaborato si concentra sulle emissioni otoacustiche (OAEs), dei segnali acustici di piccola intensità che hanno origine nella coclea che possono essere sfruttati come fonte di informazioni circa lo stato di salute dell'orecchio.

Verranno illustrati i diversi tipi di OAEs e i corrispettivi metodi di studio; tali metodi verranno poi messi a confronto con altri tipi di analisi.

L'argomento trattato in questo elaborato è stato suggerito dall'azienda Inventis di Padova, società che progetta, produce e commercializza dispositivi medici ad elevato contenuto tecnologico destinati agli specialisti ORL.

# CAPITOLO 1

## ANATOMIA DELL'ORECCHIO

### 1.1 Visione d'insieme dell'orecchio

L'orecchio è un organo che consiste di tre parti: l'orecchio esterno, l'orecchio medio e l'orecchio interno.

L'orecchio esterno ha la funzione di captare i suoni, quello medio ha la funzione di trasmettere l'energia meccanica vibratoria del suono, mentre quello interno è adibito al controllo dell'equilibrio e alla trasformazione dei segnali meccanici in segnali elettrici.

Ciascuna delle sezioni in cui è diviso l'orecchio ha una precisa funzione, ma la finalità è unica: trasformare il suono captato, assimilabile ad una variazione di pressione, in un segnale elettrico. Questo segnale, attraverso il nervo acustico raggiungerà il cervello, dove avrà luogo la percezione uditiva.

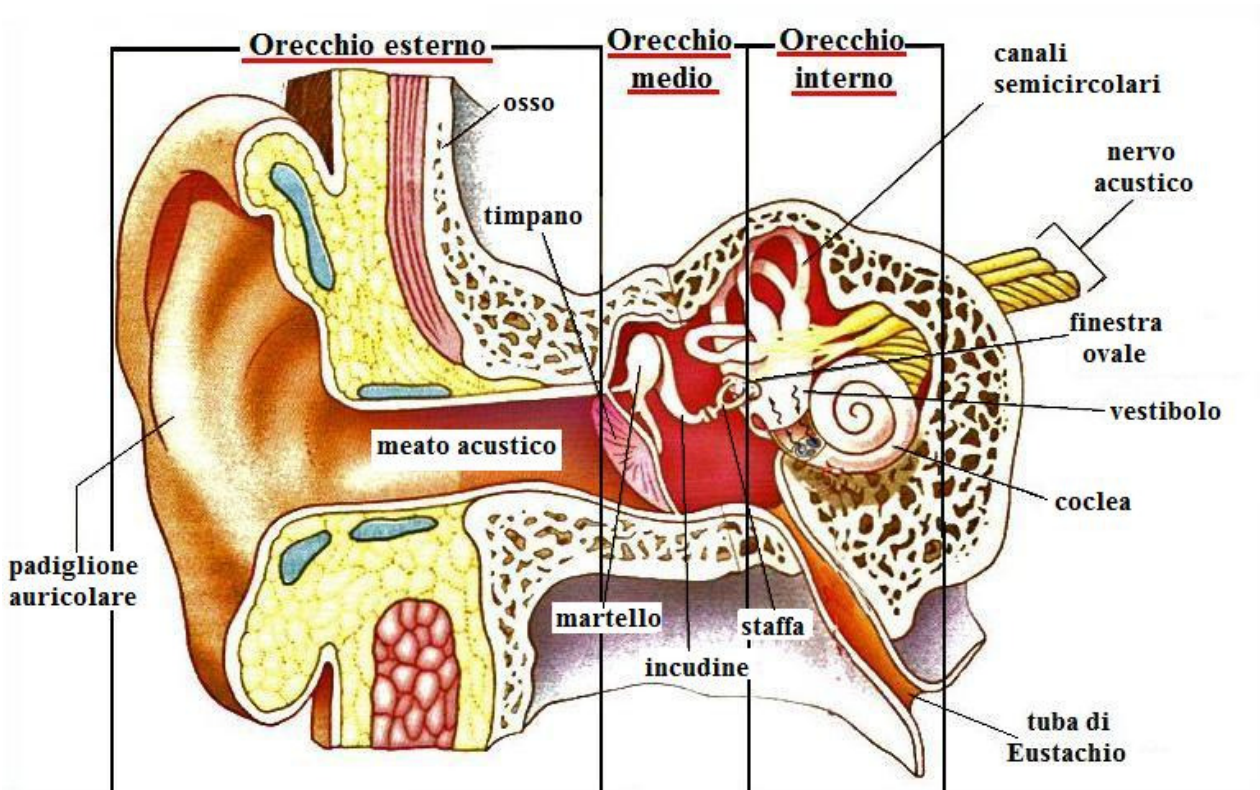


Fig. 1.1: Anatomia dell'orecchio

## **1.2 Orecchio esterno**

E' costituito da due parti: padiglione auricolare (o uditivo) e condotto uditivo (o meato acustico esterno).

### **1.2.1 Padiglione auricolare**

Il padiglione auricolare è la parte visibile dell'orecchio esterno. È costituito da una lamina cartilaginea rivestita da cute. Sullo scheletro cartilagineo prendono inserzione muscoli intrinseci, cioè muscoli che hanno origine e inserzione nella stessa struttura, ed estrinseci, cioè muscoli che hanno origine e inserzione su due strutture diverse.

La funzione del padiglione è quella di concentrazione e rinforzo dell'energia meccanica vibratoria del suono.

### **1.2.2 Condotto uditivo**

Il condotto uditivo è il canale che mette in comunicazione il padiglione auricolare con l'orecchio medio; in profondità tocca infatti la membrana timpanica. È lungo circa 24 mm ed ha un diametro di 5-10 mm. È disposto trasversalmente ed è inclinato in avanti. È costituito da una porzione esterna (o fibrocartilaginea) ed una interna (o ossea) separate da un restringimento detto istmo.

Ha funzione di amplificazione del suono anche di 10-15 dB alle frequenze tra i 2000 e i 4000 Hz, ma non ha buona amplificazione per le frequenze gravi comprese tra i 125 e i 500 Hz. La cute di rivestimento possiede ghiandole sebacee e ghiandole sudoripare dette anche ceruminose. Il loro secreto contribuisce a formare una sostanza densa di colore giallastro che è il cerume con funzione di lubrificazione e protezione della cute del condotto ed antibatterica grazie al suo pH acido.

La membrana del timpano chiude il fondo del meato acustico esterno, dividendolo dal cavo del timpano.

## **1.3 Orecchio medio**

L'orecchio medio è compreso tra le tre ossa che formano l'osso temporale, il condotto uditivo



esterno e l'orecchio interno.

E' costituito da cavità: la cassa timpanica, le cavità mastoidee e la tuba di Eustachio (o uditiva).

### **1.3.1 Cassa timpanica**

La cassa timpanica è una cavità ossea di forma grossolanamente quadrilatera, con diametro di circa 10 mm e spessore di 0,1 mm, delimitata da pareti delle quali quella laterale è rappresentata dalla membrana timpanica, la quale presenta due parti: la pars flaccida, situata al di sopra del martello, e la pars tensa, nel cui spessore è situato il martello.

Contiene tre piccoli ossicini (martello, incudine e staffa) disposti a formare la catena degli ossicini dell'udito.

La cassa timpanica comunica attraverso la tuba uditiva con la faringe e mediante l'*aditus ad antrum* con l'apparato mastoideo. Ha la forma di una lente biconcava: vi si considerano due pareti (una laterale ed una mediale) più estese e una circonferenza, più ristretta, che può essere suddivisa in quattro pareti: anteriore, posteriore, superiore ed inferiore.

La parete laterale è costituita per i 3/5 dalla membrana timpanica e per la restante parte da una cornicetta ossea che la circonda.

La parete mediale separa il cavo del timpano da alcune parti del labirinto osseo, e, in corrispondenza di essa, si trovano il promontorio, che è un rilievo osseo dato dal giro basale della coclea, la finestra ovale, sede dell'articolazione con la staffa, e la finestra rotonda, rivestita da una piccola membrana.

#### **1.3.1.1. Catena ossiculare**

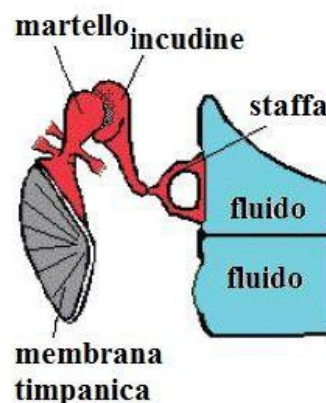
La cassa timpanica contiene tre piccoli ossicini (martello, incudine, staffa) disposti regolarmente in modo da formare la catena degli ossicini dell'udito, che collega la membrana del timpano alla finestra ovale; la membrana del timpano, vibrando, trasmette infatti il suo movimento al martello, e questo all'incudine e l'incudine alla staffa.

La possibilità di movimento della catena è conferita da due piccoli muscoli, cioè il muscolo tensore del timpano e il muscolo stapedio, che fungono anche da protezione

per gli organi dell'orecchio medio; infatti, per stimoli troppo intensi tirano il martello, riducendo le vibrazioni del timpano e limitando i movimenti della staffa, ottenendo come risultato l'attenuazione di rumori troppo forti, con un tempo di reazione di circa 200ms (tuttavia i rumori impulsivi hanno durate dell'ordine dei 100 ms e quindi non vi è protezione contro di essi).

Da un punto di vista funzionale, la catena degli ossicini rappresenta il sistema più efficiente per la trasmissione dei suoni dall'orecchio esterno all'orecchio interno.

Le onde sonore possono però propagarsi all'orecchio interno anche per vibrazione dell'aria contenuta nel cavo del timpano per vibrazione delle formazioni ossee che circondano la coclea. Questo atto spiega come la distruzione della catena degli ossicini nel corso di interventi chirurgici o in seguito a processi patologici non abolisca del tutto la percezione dei suoni.



*Fig. 1.2: Catena ossiculare*

### **1.3.2 Cavità mastoidee**

A formare l'orecchio medio concorrono anche particolari cavità, comunicanti con il cavo del timpano e contenenti aria, che sono principalmente accolte nell'apofisi mastoidea dell'osso temporale; le cavità mastoidee sono piccole cavità, comunicanti tra loro, delle quali le più importanti sono scavate nella parte del processo mastoideo formata dallo squamoso (cellule squamose) e in quella formata dal periotico (cellule petrose).

### **1.3.3 Tuba di Eustachio**

La tuba di Eustachio è un condotto lungo circa 35-45 mm mediante il quale la cavità timpanica comunica con il rinofaringe.

Si divide in una parte ossea lunga 10 mm circa, scavata nell'osso temporale, e una fibrocartilaginea facente seguito a quella ossea, lunga circa 25-35 mm.

La parte ossea inizia con un foro, ostio timpanico, nella parete anteriore del cavo del timpano e continua fino a quando il suo diametro non presenta un restringimento, chiamato istmo, che segna il punto di inizio della porzione fibrocartilaginea.

Mentre la parte ossea della tuba presenta una cavità stabilmente pervia, nella parete cartilaginea la cavità è virtuale essendo la parete laterale della tuba (che è quasi del tutto priva di scheletro cartilagineo) normalmente accollata su quella mediale.

Da un punto di vista funzionale, la tuba uditiva ha il compito di drenare nella faringe le secrezioni del cavo del timpano e di permettere le penetrazioni dell'aria, dalla faringe, nel cavo del timpano e nelle cavità mastoidee.

Questa seconda funzione, permette alla membrana del timpano di vibrare in condizioni ottimali: infatti l'aria che dalla faringe penetra, per mezzo della tuba uditiva, nel cavo del timpano, equilibra, sulla faccia mediale della membrana timpanica, la pressione che l'aria contenuta nel meato acustico esterno esercita sulla faccia laterale.

## **1.4 Orecchio interno**

### **1.4.1 Labirinto osseo e labirinto membranoso**

L'orecchio interno è costituito dal labirinto osseo, sistema di cavità scavate nell'osso temporale, e dalle strutture nervose contenute al suo interno, ovvero il labirinto membranoso.

Il labirinto osseo e il labirinto membranoso sono separati dallo spazio perilinfatico, un sistema di fessure, tra loro comunicanti, contenenti un liquido, la perilinfa. Il labirinto osseo è formato nella sua porzione anteriore dalla coclea (o chiocciola), sede dei recettori uditivi, e nella sua porzione posteriore dall'apparato vestibolare, costituito dal vestibolo e da tre canali semicircolari, che raccolgono informazioni che, unite a quelle visive e muscolari, ci consentono di mantenere la posizione eretta e l'equilibrio.

### 1.4.1.1. Coclea

La coclea (termine latino che sta per “chiocciola”) occupa la parte anteriore del labirinto.

È costituita da un canale riempito di fluido, avvolto a spirale con sezione decrescente attorno al proprio asse (modiolo); nell'uomo il canale compie 2 giri e 3/4 (circa 35mm) attorno al modiolo ed ha un diametro di circa 2 mm.

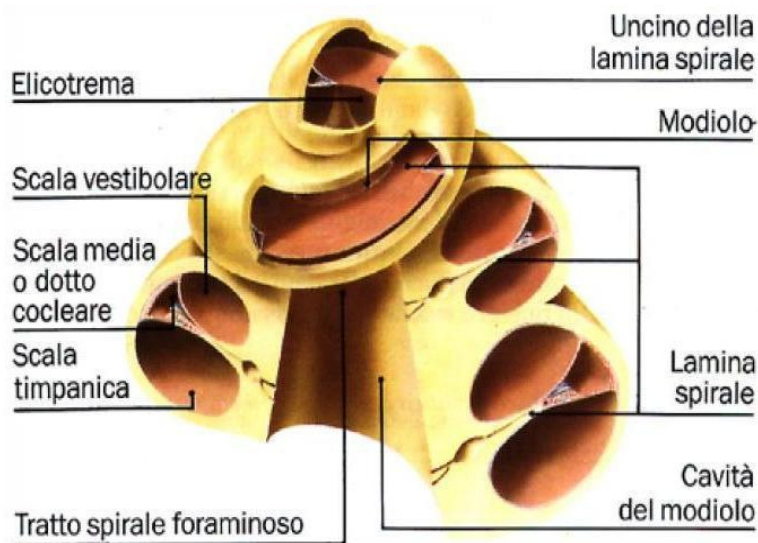


Fig. 1.3: La coclea

Essa contiene gli elementi che servono per trasdurre il suono da onda di pressione a segnale elettrico, che verrà poi portato, tramite il nervo acustico, fino al cervello.

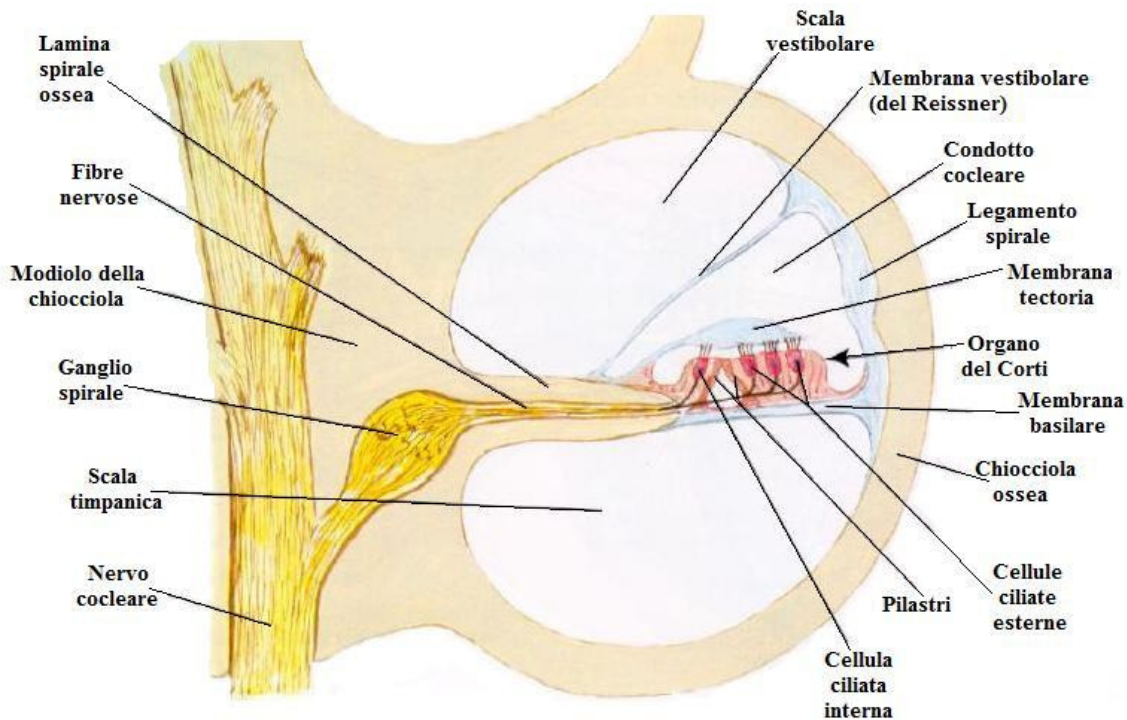
E' divisa in 3 strutture: scala vestibolare, scala media, scala timpanica. La scala vestibolare e quella timpanica sono ossee e sono messe in comunicazione da un foro, l'elicotrema, la scala media è invece membranosa ed è raccolta tra la membrana basilare, che la divide dalla scala timpanica, e la membrana di Reissner, che la separa dalla scala vestibolare.

La scala media contiene l'endolinfa, la scala vestibolare e quella timpanica contengono la perilinfa.

La membrana basilare è una delle strutture fondamentali; essa è una membrana fibroelastica che separa la scala media da quella timpanica e che si piega in risposta al suono. Infatti le spinte della staffa sulla finestra ovale generano un'onda pressoria, la

quale si propaga lungo la membrana basilare per una distanza che dipende dalla frequenza del suono considerato; la membrana basilare possiede, infatti, una base stretta e rigida che ad alte frequenze entra facilmente in vibrazione, facendo dissipare all'onda gran parte dell'energia e impedendole così di propagarsi oltre. Invece le onde generate da suoni a basse frequenze viaggiano fino all'apice largo e flessibile della membrana.

Sulla membrana basilare è posto l'organo del Corti, che contiene i recettori neuronali uditivi, responsabile della trasduzione dell'impulso cinetico in elettro-chimico; sopra di esso si trova la membrana tectoria. Sulla membrana basilare è posta longitudinalmente una fila di cellule ciliate interne (IHC = Inner Hair Cells) e tre file di cellule ciliate esterne (OHC = Outer Hair Cells) le cui ciglia toccano la membrana tectoria. Nell'orecchio umano si contano circa 3500 IHC e 15000 OHC.



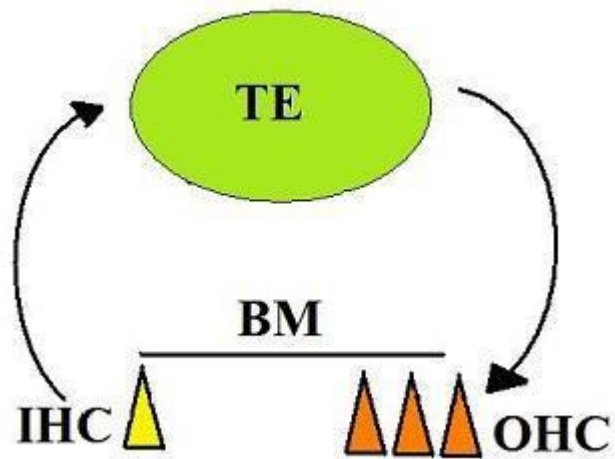
*Fig. 1.4: Sezione della coclea*

## **Funzionamento della coclea**

I movimenti della staffa sulla finestra ovale generano una variazione di pressione nel fluido della coclea; questa pressione differenziale deforma trasversalmente ed elasticamente la partizione cocleare. È proprio la combinazione di questi due effetti a

generare la trasmissione longitudinale nel liquido e la deformazione trasversale della partizione.

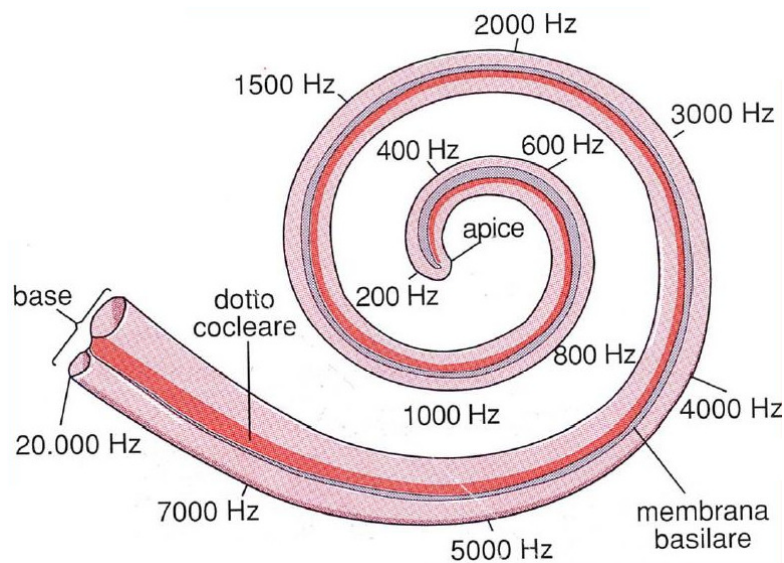
Queste oscillazioni provocano il piegamento delle cellule dell'organo del Corti. Il processo attiva un meccanismo di feedback attivo; il piegamento delle ciglia delle IHC in un determinato punto della membrana basilare modifica la permeabilità della membrana cellulare agli ioni, generando un segnale neurale diretto al tronco encefalico. Da qui riparte un segnale elettrico verso le OHC presenti nel punto considerato; essendo costituite di tessuto muscolare, esse reagiscono con una contrazione meccanica che viene amplificata.



*Fig. 1.5: Meccanismo di feedback*

Grazie a questo procedimento, il segnale viene amplificato fino a 50 dB (con un processo denominato “amplificazione cocleare”), ed è il processo di deformazione della membrana basilare causata dal movimento delle OHC ad essere alla base del fenomeno delle emissioni otoacustiche.

Le proprietà geometriche della coclea e le proprietà di elasticità e densità della membrana basilare variano lungo la direzione longitudinale in modo tale da realizzare una condizione di risonanza (ovvero minima impedenza) in posizioni differenti per ogni frequenza.



*Fig. 1.6: Valori di frequenza e corrispondenti posizioni in cui si verifica una condizione di risonanza*

La relazione tra la frequenza e la posizione del corrispondente sito tonotopico lungo la membrana cocleare è logaritmica, ed è espressa dalla mappa di Greenwood (1990):

$$\omega(x) = \omega_1 + \omega_0 e^{-kx}$$

Il piccolo valore  $\omega_1$  implica che la discrepanza rispetto ad una mappa perfettamente logaritmica è apprezzabile solo a frequenze basse. I parametri  $k$  e  $\omega_0$  sono costanti legate alla mappa tonotopica dell'orecchio.

La risposta cocleare (non-lineare) tende a saturare bruscamente oltre un certo livello di eccitazione, evitando che una deformazione troppo ampia della membrana basilare possa causare un danno irreversibile alle OHC; in realtà, anche l'esposizione prolungata nel corso degli anni a rumore intenso (> 80-90dB) o l'azione ototossica di alcune sostanze chimiche, quali ad esempio gli antiinfiammatori, provocano comunque danni irreversibili alle OHC.

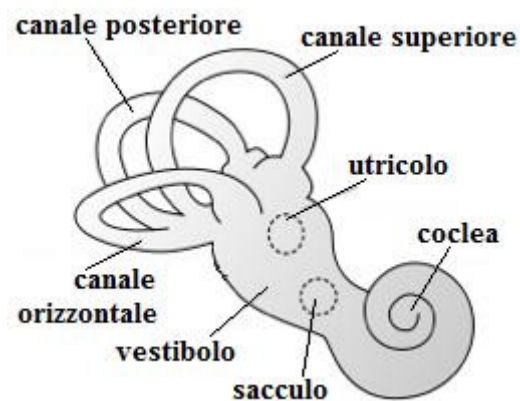
### **1.4.1.2. Vestibolo**

Fra la coclea ed i canali semicircolari è posto il vestibolo con i due recettori nervosi otolitici denominati utricolo e sacculo, sensibili alle accelerazioni lineari della testa.

Utricolo e sacculo sono detti otolitici perché nella cupola che ricopre l'apparato ciliare dell'epitelio sensoriale si trovano gli otoliti (o otoconi), ovvero aggregati di carbonato di calcio la cui funzione è quella di modificare la densità della cupola rispetto all'endolinfa, per reagire inerzialmente alle accelerazioni lineari (tra cui la forza di gravità) che gli organi otolitici quindi trasducono.

### 1.4.1.3 Canali semicircolari

I canali semicircolari sono tre (laterale, superiore e posteriore) e sono orientati nei tre piani dello spazio. Hanno la forma di condotti ricurvi in ciascuno dei quali si distinguono un braccio semplice e un braccio ampollare, detto così in quanto presenta alla sua estremità una dilatazione, l'ampolla ossea. I bracci ampollari si aprono isolatamente nell'apparato vestibolare, mentre i semplici dei canali semicircolari superiore e posteriore si fondono a formare un unico braccio (braccio comune).



*Fig. 1.7: Vestibolo e canali semicircolari*



## **CAPITOLO 2**

### **EMISSIONI OTOACUSTICHE**

Le emissioni otoacustiche (spesso conosciute con la sigla OAEs = OtoAcoustic Emissions) sono dei segnali acustici che vengono misurati nel condotto uditivo sia in assenza che in presenza di uno stimolo sonoro.

Questi segnali, che possono essere interpretati come “suoni generati dall’orecchio”, sono prodotti dalla coclea, che si trova nella parte interna dell’orecchio, e percorrono la membrana basilare, l’orecchio medio e il canale uditivo, compiono cioè il cammino contrario a quello percorso dai suoni che vengono raccolti dall’orecchio. Ed è proprio nel canale uditivo che possiamo registrarli attraverso l’uso di microfoni-sonda.

Anche se il fenomeno è molto complesso e il processo di generazione delle emissioni è ancora soggetto a studi, sono state comunque scoperte e approfondite varie applicazioni pratiche per ricavare dallo studio delle OAEs importanti informazioni sullo stato di salute dell’orecchio interno e su eventuali suoi malfunzionamenti dell’orecchio interno. Molti di questi esperimenti si basano sui cambiamenti di ampiezza della risposta otoacustica a specifiche condizioni dello stimolo.

In particolare, le OAEs sono un’importante fonte di informazioni sul comportamento della coclea quando reagisce agli stimoli acustici e hanno consentito di conoscere e comprendere i complicati fenomeni fisici che avvengono al suo interno.

Gli esperimenti effettuati hanno dato prova che le emissioni otoacustiche sono presenti nell’orecchio normoudente, mentre risultano assenti nell’orecchio con ipoacusia di una certa entità (superiore a 30-40 dB).

La supposizione che l’orecchio possa produrre dei suoni è scaturita con la percezione in uno o in entrambi gli orecchi di rumori (come ronzii, fischi, soffi, fruscii, pulsazioni, ecc. definiti scientificamente con il nome di acufeni) provocati da una disfunzione dell’apparato uditivo o da eventi traumatici.

L’esistenza delle emissioni otoacustiche è stata ipotizzata per la prima volta dallo scienziato Thomas Gold nel 1948; Gold infatti sosteneva che, durante il processo di acquisizione dei suoni, all’interno della coclea si dovesse attivare un meccanismo attivo di risonanza per discriminare le frequenze,

meccanismo che noi adesso chiamiamo “processo attivo” e del quale sappiamo essere responsabili le cellule ciliate esterne. Secondo Gold nella coclea doveva esistere un sistema di controllo a moderare la quantità di feedback positivo per mantenere stabili le performance ed era convinto che questo meccanismo di oscillazione spontanea della coclea avesse come manifestazione esterna l'emissione di un tono all'interno del canale uditivo. Ma a quel tempo le sue ipotesi furono contestate con giudizi durissimi, visto che in nessun esperimento si era mai riusciti a registrare qualcosa di simile.

Nel 1960 Georg von Békésy, neurofisiologo ungherese che nel 1961 ricevette il premio Nobel per la medicina proprio per le sue scoperte nel campo dell'udito, teorizzò per primo l'andamento di quella che poi venne denominata “*Travelling Wave*”, ossia “onda viaggiante”.

Ma fu il fisico David Kemp il primo a rilevare nel 1978 presso il Nuffield Hearing and Speech Center di Londra l'effettiva presenza di suoni nel condotto uditivo e a registrarli. Infatti, racconta di aver conosciuto un medico ed un fisico (Hincheliffe e Knight) che cercavano di registrare gli acufeni con un microfono posto in prossimità dell'orecchio di un paziente. Talvolta, quando stimolavano l'orecchio con un click, la registrazione aveva successo. Ma nella maggior parte dei pazienti affetti da acufeni non veniva registrato nessun suono in uscita dall'orecchio. Questa mancanza di riscontro ha fatto in modo che nell'ambiente scientifico si sviluppasse l'idea che tale manifestazione fosse in realtà solamente soggettiva e che non fosse in relazione con l'emissione di un suono reale.

Più tardi, invece, studi e ricerche, hanno consentito di comprendere che sono in realtà una conseguenza e una prova concreta del processo di amplificazione attiva e non lineare che si verifica nella coclea.

Le considerazioni fatte sull'OAEs riguardano in particolare l'orecchio umano, ma il processo attivo che dà origine alle emissioni otoacustiche è presente in tutti i vertebrati.

## **2.1 Diversi tipi di OAEs**

Esistono vari tipi differenti di emissioni otoacustiche, che possono essere classificate sulla base di diversi aspetti: un possibile criterio per la classificazione delle OAEs consiste nel differenziarle in base allo stimolo utilizzato per evocarle, mentre una seconda opzione di classificazione si basa sul diverso meccanismo cocleare con le quali le emissioni vengono generate.

## **2.1.1 Classificazione secondo il tipo di stimolo usato per evocare le OAEs**

Due categorie:

- SOAE = Spontaneous OAEs = emissioni spontanee. Parliamo di emissioni spontanee quando le misure vengono compiute in assenza di stimolo esterno.
- EOAE = Evoked OAEs = emissioni evocate. Parliamo di emissioni evocate quando viene fornito uno stimolo acustico nel canale uditivo subito prima di registrare la risposta.

### **2.1.1.1 SOAEs**

Le SOAEs, prodotte in assenza di stimolo esterno, confermano la presenza di un meccanismo amplificatore attivo non-lineare nella coclea. Per misurare le SOAEs sono necessari microfoni e preamplificatori a basso rumore, e un'integrazione su tempi lunghi (diversi secondi), a causa della piccola ampiezza del segnale (< 20 dB). Data, quindi, la complessità di acquisizione non trovano impiego negli screening audiologici. Tali emissioni sono evidenziabili nel 70% circa dei soggetti adulti sani e conservano durante la vita un'ampiezza e una frequenza di poco variabili, eccezion fatta per la caratteristica di avere un'ampiezza superiore nei neonati.

### **2.1.1.2 EOAEs**

Le EOAEs. Possono essere di tre tipi:

- TEOAES = Transient Evoked OAEs = emissioni evocate da stimoli transienti
- SFOAES = Single Frequency OAEs = emissioni evocate da uno stimolo sinusoidale
- DPOAES = Distortion Product OAEs = emissioni prodotto di distorsione

#### **2.1.1.2.1 TEOAEs**

Le TEOAEs sono emissioni evocate da uno stimolo transiente, ovvero di breve durata di tempo che scandagliano simultaneamente la coclea. Esse hanno frequenza compresa tra 0,5 e 4 KHz e sono caratterizzate da un gruppo di onde, le quali compaiono 5 ms dopo l'invio dello stimolo sonoro e durano 10 ms o più.

Negli orecchi normoacustici, appartenenti a soggetti di ogni età e sesso, le TEOAE sono presenti dal 98 al 100% dei casi. Queste otoemissioni sono caratterizzate da notevole stabilità morfologica e da riproducibilità intersoggettiva, che si mantiene anche a distanza di anni da una registrazione alla successiva. Tali

caratteristiche sono esclusivamente legate al singolo orecchio, anche se l'orecchio controlaterale spesso ha un pattern molto simile di risposta. Variazioni delle loro caratteristiche si possono riscontrare in funzione della posizione del capo, probabilmente per effetto della forza di gravità sulle componenti della catena ossiculare o sui liquidi labirintici. La variabilità invece tra gli individui, per quanto riguarda le caratteristiche di latenza, spettro e ampiezza risulta essere molto rilevante.

Abitualmente gli stimoli usati sono i click (impulsi rettangolari di durata prossima ai 100-200 $\mu$ s ) e i tone-bursts (sinusoidi di durata finita  $\Delta t$  e larghezza di banda  $\Delta f^{-1}$  intorno alla propria frequenza fondamentale).

Le otoemissioni che hanno origine dai click sono anche denominate CEOAEs: Click Evoked OAEs.

I segnali TEOAEs sono estremamente bassi con ampiezze tipiche inferiori a 500 $\mu$ Pa, anche se leggermente maggiori nei neonati.

Le TEOAEs costituiscono la più diffusa metodica di screening audiologico neonatale.

Per incrementare il SNR<sup>1</sup> viene usata la tecnica di “averaging”, cioè viene fatta la media tra centinaia di risposte allo stimolo.

Lo stimolo impulsivo causa però il fenomeno del “ringing”, cioè provoca la generazione di onde persistenti nel canale uditivo (oscillazioni): per limitare efficacemente il disturbo che ne deriva sono usate delle tecniche di finestrazione nel tempo, che hanno però il difetto di non permettere di avere dati sufficientemente accurati relativi alle frequenze più alte (che sono le prime ad essere riflesse).

#### **2.1.1.2.2 SFOAEs**

Le SFOAEs sono emissioni evocate da un unico tono continuo, generalmente un'onda sinusoidale monocromatica, in cui la risposta evocata si accavalla allo stimolo stesso.

È quindi possibile sondare la membrana basilare per tutta la sua lunghezza incrementando la frequenza di volta in volta, con un passo tanto piccolo quanto maggiore vogliamo che sia la risoluzione in frequenza.

---

1. SNR = Signal to Noise-Ratio = Rapporto segnale/rumore = numero puro che indica quanto il segnale considerato è più potente del rumore.

I tempi impiegati da questo genere di test sono necessariamente molto più lunghi rispetto ai tempi dei test utilizzati per ottenere una risposta TEOAE, ma i risultati sono di sicuro più precisi e non mostrano componenti non lineari, poiché ad ogni passo del test stimolo una ed una sola zona della membrana basilare.

Per mettere in risalto la risposta SFOAE, che risulta molto tenue rispetto all'intensità dello stimolo somministrato, si utilizza una tecnica differenziale che si basa sulla somministrazione alternata dello stimolo sinusoidale, il probe, e dello stesso stimolo sinusoidale sommato ad un tono soppressore di intensità e di frequenza vicina, all'interno della banda critica. La differenza tra il segnale registrato con o senza soppressore contiene alla frequenza dello stimolo solamente la risposta SFOAE, perché lo stimolo si cancella nella differenza e il soppressore ha una frequenza abbastanza differente da non interferire con il segnale SFOAE.

### **2.1.1.2.3 DPOAEs**

Le DPOAEs sono emissioni generate da una stimolazione della coclea tramite 2 toni simultanei di frequenza diversa. Esse sono ampiamente studiate nonostante la difficoltà interpretativa e il complesso meccanismo di generazione.

La risposta della coclea è non lineare. Ciò implica che se una regione della coclea è eccitata contemporaneamente a due diverse frequenze  $f_1$  ed  $f_2$  la risposta otoacustica viene evocata non solo alle due frequenze primarie, ma anche a frequenze che sono combinazioni lineari di  $f_1$  ed  $f_2$ , esempio  $2f_1 - f_2$ ,  $3f_1 - f_2$ ,

$2f_2 - f_1$ , ecc. La generazione non lineare più intensa si ha alle frequenze  $2f_1 - f_2$  e

$2f_2 - f_1$ . La caratteristica della coclea di essere tonotopica, cioè il fatto che l'eccitazione ad ogni frequenza è piccola ovunque eccetto che nelle vicinanze del proprio sito risonante comporta però che due frequenze possano eccitare in modo rilevante il medesimo punto della membrana solo se sono vicine fra loro. Per questo motivo, nella pratica sperimentale, le DPOAEs sono abitualmente evocate da toni primari che stanno in un rapporto di frequenze  $f_2/f_1$  intorno a 1.2 e si osserva la risposta non lineare più intensa, che è quella alla frequenza  $f_{dp}=2f_1 - f_2$ . Questo prodotto di distorsione è costituito da due componenti. La prima viene generata dalla distorsione non lineare nel sito risonante alla frequenza  $f_2$ , dove c'è la massima sovrapposizione dei due pattern di eccitazione generati dai toni primari. Il tono alla frequenza  $f_{DP}$  generato in  $x(f_2)$  si

propaga all'indietro e in avanti lungo la coclea. La parte progressiva dell'onda viene amplificata e riflessa quando raggiunge il proprio sito tonotopico,  $x(f_{dp})$ .

Di conseguenza le onde che tornano indietro verso l'orecchio esterno sono due ed entrambe partecipano a formare il segnale che viene indicato come DPOAE.

La sovrapposizione delle due componenti produce interferenza più o meno costruttiva a seconda della fase relativa.

### 2.1.2 Classificazione secondo il meccanismo di generazione delle OAEs

Nel 1999 Shera e Guinan suggeriscono che l'origine delle OAEs non sia una sola, ma sia dovuta a due meccanismi distinti: il meccanismo della riflessione lineare e quello della distorsione non lineare.

L'idea sostenuta è quella che le otoemissioni siano il risultato cumulativo di questi due processi, da cui non si può prescindere, e il modello che ne discende è anche noto con il nome di “*Two sources interference model*”.

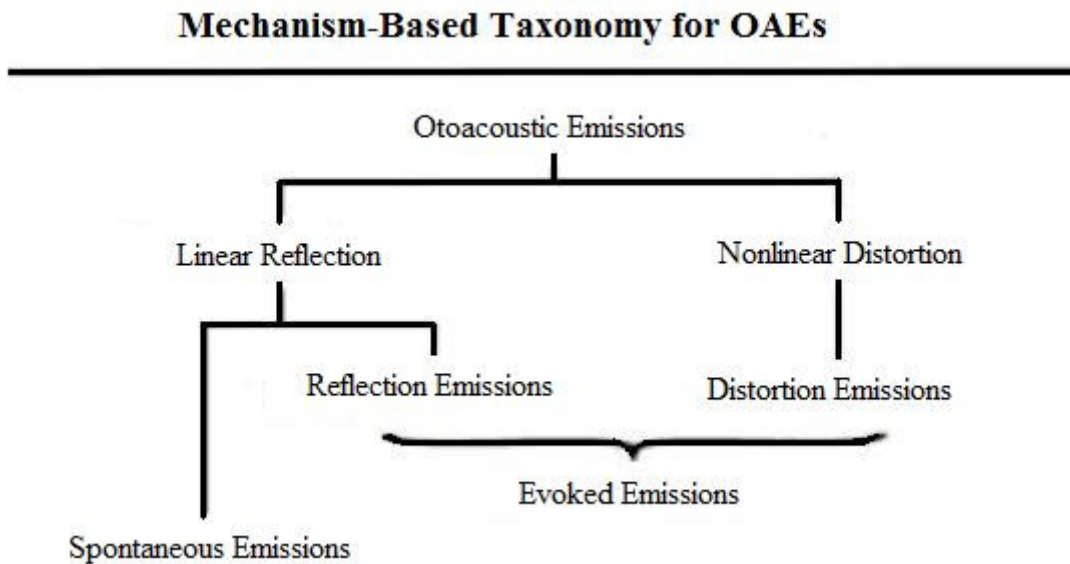


Fig. 2.1: “*Two sources interference model*”

Quando lo stimolo somministrato è inferiore ad una determinata soglia la coclea ha un comportamento molto vicino alla linearità, al contrario quando questa soglia viene superata il

comportamento diventa decisamente non lineare, mostrando saturazione e distorsione (e di conseguenza ci sarà la generazione di frequenze non presenti nello spettro dello stimolo, come accade nel caso dei prodotti di distorsione).

## CAPITOLO 3

### ESAME DELLE EMISSIONI OTOACUSTICHE

#### 3.1 Motivazioni

I primi tre anni della vita di un bambino sono essenziali per l'acquisizione della memoria uditiva e del linguaggio; la mancanza totale o la carenza di input acustici durante questo periodo, conduce di conseguenza ad una permanente e rilevante riduzione della capacità psico-linguistica e relazionale. L'intento sarebbe quello di riuscire ad identificare le ipoacusie già dai primi mesi di vita di un bambino e cercare nel più breve tempo possibile di migliorare le sue condizioni.

In Italia, fino a qualche anno fa, i neonati venivano sottoposti alla reattometria, esame che consiste nel presentare uno stimolo uditivo al bambino e osservarne le reazioni o i cambiamenti di comportamento. Nel caso di neonati questo tipo di controllo audiometrico cerca di stabilire se il bambino reagisce a suoni di intensità abbastanza elevata (con livello di pressione sonora di 60 dB o più) prodotti da un dispositivo portatile valutando le sue risposte, analizzando cioè reazioni come il riflesso palpebrale, il risveglio, il riflesso di trasalimento.

Però questo tipo di screening presenta molte limitazioni:

- 1) necessità di stimoli parecchio intensi che impediscono l'identificazione di deficit uditivi deboli o moderati;
- 2) i risultati si sono dimostrati poco attendibili, con un alto numero di falsi positivi e di falsi negativi, e cioè con un'alta probabilità che bambini dall'udito normale vengano erroneamente sottoposti ad accertamenti diagnostici e che a bambini con reale deficit uditivo non venga diagnosticato alcun problema;
- 3) la somministrazione del suono da un altoparlante non rende fattibile la distinzione di una risposta legata all'udito da un solo orecchio o da entrambi.

Questo esame possiede una sensibilità (capacità di identificare la malattia) e una specificità (capacità di identificare i casi normali) bassissime; viene per questo motivo fermamente sconsigliato come metodica di screening.



Un secondo approccio cerca invece di definire delle categorie di rischio tra la popolazione infantile considerando i fattori collegati alla perdita uditiva. La lista dei rischi (o degli indicatori) di danno audiologico infantile correntemente in uso è quella suggerita dal Joint Committee on Infant Screening del 1994 ed è formata da:

- storia familiare di ipoacusia neurosensoriale;
- storia di infezioni congenite connesse ad un danno uditivo neurosensoriale;
- storia di meningiti batteriche;
- peso alla nascita inferiore a 1,5 Kg;
- terapia intensiva per più di 5 giorni (quindi soprattutto neonati sottopeso e/o prematuri);
- anomalie cranio-facciali;
- prolungata ventilazione meccanica;
- uso di farmaci ototossici;
- iperbilirubinemia (“ittero”);
- indice di Apgar da 0 a 3 (valutazione dell'adattamento del neonato alla vita extrauterina effettuata subito dopo il parto basata su 5 parametri (frequenza cardiaca, respirazione, tono muscolare, riflessi, colore della pelle), che fornisce un punteggio da 0 a 10);
- stigmate che si associano a ipoacusia neurosensoriale;
- ossigenazione insufficiente;
- gravi problemi broncopolmonari.

I bambini selezionati con questo criterio vengono sottoposti ad esame adoperando come metodica diagnostica i potenziali uditivi evocati al tronco (ABR).

L'ABR (Auditory Brainstem Response) è un esame che dà informazioni circa il funzionamento dell'orecchio interno concentrandosi in particolar modo sulla meccanica della coclea e sul modo in cui le informazioni raccolte dall'apparato uditivo raggiungono il cervello; permette quindi di identificare non solo un danno dell'orecchio medio e delle chiocciola, ma anche eventuali danni alle terminazioni nervose.

L'esame si effettua attaccando sulla testa del paziente degli elettrodi, i quali registrano l'attività del cervello in risposta ai suoni. Il paziente durante il test deve dormire o, comunque, rimanere tranquillo; non è necessaria alcuna sua reazione fisica.

Anche in questo caso, il procedimento è non invasivo e relativamente rapido (20-30 minuti con gli apparecchi più moderni), però il costo è elevato.

Da studi svolti è però emerso che l'ipoacusia grave-profonda bilaterale è presente nel 4-5 per cento dei nati a rischio audiologico e nello 0,1-0,2 per cento dei neonati sani.

Pertanto l'ABR individua solo il 50% delle ipoacusie, poiché solo la metà della gente ipoacusica mostra palesi fattori di rischio alla nascita.

La soluzione sarebbe quella di effettuare uno screening audiologico di massa, ossia di sottoporre a d analisi tutti i neonati, in modo tale da poter distinguere dalla popolazione dei soggetti sani quelli presumibilmente ipoacusici il prima possibile, e per fare questo ci si serve di un esame che utilizza le emissioni otoacustiche.

## **3.2 Procedura**

### **3.2.1 TEOAE**

L'esame delle TEOAE è completamente obiettivo, veloce (circa 2-3 minuti), non fastidioso, non invasivo, poco costoso e attendibile. Esso costituisce il primo step di un programma di screening audiologico. Non richiede collaborazione da parte di chi si sottopone al test; ci consente quindi di conoscere lo stato di salute della coclea, e quindi l'eventuale presenza di una sordità, specialmente nei più piccoli. Esso è utilizzabile già a poche ore dalla nascita (anche se nelle prime 24-48 ore di vita è probabile un mancato, o un minore, passaggio delle otoemissioni a causa della presenza di cerume, di venice caseosa o di un versamento endotimpanico ad ostacolare la conduzione meccanica); questo permette di ridurre in misura notevole i tempi per l'avvio delle susseguenti fasi di intervento, consentendo la chiusura della fase diagnostica e l'inizio della riabilitazione entro i primi 7-8 mesi di vita.

È eseguibile nei punti nascita, nei nidi e in terapia intensiva neonatale.

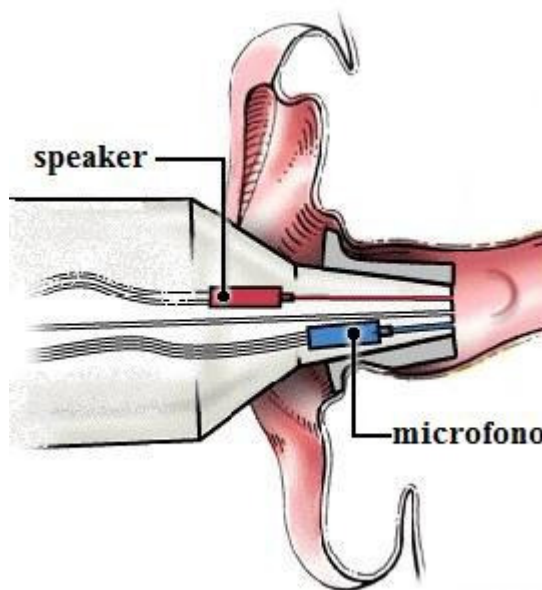
Nel 1988 fu sviluppata presso i laboratori "Institute of Laryngology and Otology" di Londra il primo dispositivo per la registrazione delle TEOAE adeguatamente semplice, ridotta ed economica, da poter essere introdotta sul mercato. Questo apparecchio prese l'appellativo dal nome dell'istituto e dall'anno in cui venne messo a punto ILO 88.

In un secondo tempo venne messo in commercio un nuovo sistema denominato ILO 92.

Gli strumenti e i dispositivi per la registrazione delle OAEs, vengono classificati in quattro generazioni:

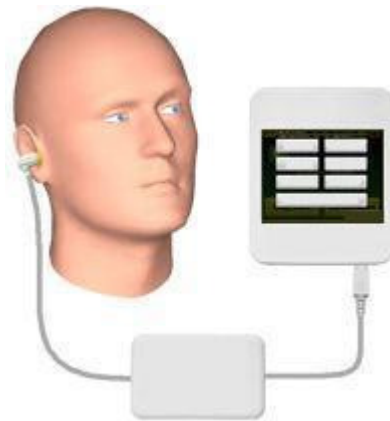
- prima generazione: ILO 88 del Otodynamics;
- seconda generazione: i dispositivi, ridotti in dimensione, sono diventati piccoli apparecchi esterni che comunicano con un host-PC tramite la porta parallela o tramite collegamento USB;
- terza generazione: i dispositivi sono diventati palmari per facilitare l'uso del test;
- quarta generazione: i dispositivi sono diventati PC-indipendenti e con grande capacità di memoria (200-300 esami) per facilitare uno screening universale.

Per registrare le emissioni otoacustiche viene introdotta per circa 1 cm nel canale uditivo del neonato, preferibilmente mentre è addormentato, una piccola sonda, contenente uno speaker, che emette gli stimoli sonori necessari per stimolare la chiocciola, e un microfono ad alta sensibilità, che raccoglie le risposte evocate.



*Fig. 3.1: Sonda inserita nel condotto uditivo*

La sonda è poi connessa ad un preamplificatore e ad una scheda di acquisizione, possibilmente poco ingombranti e portatili, utilizzati per memorizzare ed elaborare le risposte raccolte dal microfono.



*Fig. 3.2: Esempio di dispositivo per esame TEOAE*

Per aumentare il più possibile la qualità dei dati raccolti e ridurre al minimo il rumore ambientale, le acquisizioni si possono effettuare in camera anecoica (cioè “priva di eco”, che limita al massimo la riflessione dei segnali sulle pareti). Oltre a ciò è indispensabile che la sonda rimanga ferma nel canale uditivo (“buon accoppiamento”) per cercare di evitare l’aggiunta di ulteriore rumore; di solito per riuscire ad ottenere questo vengono aggiunti alla sonda dei piccoli beccucci di gomma per poter avere posizionamento appropriato e buon isolamento.

Oggi vengono utilizzati dei sistemi di rilevamento di OAEs di dimensioni ridotte controllati da un microprocessore in cui la misurazione avviene automaticamente che riduce il numero di falsi negativi a meno dell'1% del totale.

Prima di iniziare l’acquisizione, il software attua la sincronizzazione e la calibrazione dell'apparecchio per fare in modo che il sistema stesso sia in grado di gestire i dati raccolti dalla sonda, eliminando automaticamente quelli che vengono considerati dal software inadatti in termini di rapporto segnale-rumore.

I principali parametri delle TEOAE utilizzabili per scopi clinici sono: soglia, ampiezza, latenza e spettro di frequenza.

È possibile distinguere due tipi di soglia: una detta soglia di comparsa, che coincide con la più bassa intensità dello stimolo sonoro atta ad evocare una risposta, e l'altra, detta soglia di saturazione, data dal valore di intensità oltre il quale non si notano più incrementi di ampiezza.

L'ampiezza è condizionata, oltre che dal tipo di stimolo, anche da fattori specifici come la

frequenza di risonanza dell'orecchio medio, le frequenze dei picchi dominanti e il sistema di registrazione delle TEOAE. La particolarità delle risposte evocate, che si riscontra in tutte le orecchie, concerne la funzione ingresso-uscita; essa, variabile da soggetto a soggetto, è lineare, e passa da lineare a non lineare arrivando alla saturazione delle risposte quando ci si avvicina ai 70 dB . A livello cocleare questo fenomeno si traduce con l'impossibilità da parte delle OHC, di amplificare i movimenti della membrana cocleare.

La latenza è il tempo che trascorre dall'istante in cui si invia lo stimolo al momento in cui appare un picco di risposta predefinito. Essa è determinata fondamentalmente dalla tipologia di stimolo usata (click o tone burst), ma soprattutto dipende dalla frequenza della otoemissione. Il valore standard di latenza stabilito è di 20 ms per gli adulti e di 12 ms per i neonati e i bambini; esso permette così la visualizzazione di gran parte delle risposte TEOAE. Lo spettro delle TEOAE dipende da diversi fattori quali lo spettro dello stimolo, la durata della stimolazione e la risonanza dell'orecchio in cui viene fatta la registrazione. Per tali motivi lo spettro delle TEOAE è specifico per il soggetto e contiene picchi di frequenza che possono variare individualmente in numero e frequenza. Questi picchi normalmente dominano lo spettro nelle frequenze tra 0,5 e 4 KHz ed hanno una notevole stabilità nel tempo.

Lo stimolo sonoro usato nelle TEOAE è un "click", che ha generalmente un'intensità fissa.

L'esecuzione tecnica è semplice e rapida: entro pochi secondi, la strumentazione darà un chiaro risultato, che sarà di normalità ("PASS") o di anormalità ("FAIL" o "REFER"), il tutto senza arrecare il minimo fastidio al neonato.

Se la risposta del test è "PASS", il neonato termina lo screening. Se la risposta è "FAIL", l'esame viene ripetuto, se possibile già il giorno successivo; infatti, anche se il risultato è "FAIL", il neonato non deve essere subito considerato affetto da deficit uditivo. La presenza di secrezioni nel canale uditivo, la rumorosità dell'ambiente, i movimenti del neonato, eventuali errori nella procedura del test sono i principali motivi per i quali la risposta al test potrebbe essere "FAIL" anche in assenza di problemi audiologici. Se ad un successivo controllo la risposta fosse ancora "FAIL", il neonato viene sottoposto ad analisi più approfondite. Un altro aspetto molto importante è che tale esame non necessita di personale specializzato in materia audiologica.

Le TEOAE hanno però degli svantaggi dovuti al fatto di non poter variare frequenza e

intensità dello stimolo:

- non ho selettività in frequenza; quindi la risposta ottenuta non dà alcuna indicazione riguardo le frequenze interessate dal danno;
- non ho quantizzazione del danno; infatti la risposta non è evocabile già a partire da un deficit di appena 30-40 dB.

### **3.2.2 DPOAE**

Si tratta di una metodica molto più complicata che, insieme alle ABR, viene utilizzata per confermare e quantizzare il deficit uditivo; costituisce quindi il secondo livello previsto dallo screening e viene effettuato solo sui bambini che hanno avuto esito “FAIL” nell'esame delle TEOAE.

La strumentazione è più complessa, ma sempre costituita da microcomputer e sondino, e anche in questo caso il procedimento prevede l'invio dello stimolo all'orecchio, la registrazione della risposta evocata e la sua elaborazione.

Lo stimolo sonoro utilizzato è costituito da due toni puri con intensità e rapporti frequenziali variabili, ma in precisa correlazione tra loro.

A differenza delle TEAOE, la procedura richiede personale qualificato e richiede un tempo molto più lungo.

Con i DPOAE c'è però la possibilità di variare intensità e frequenza degli stimoli; ho quindi i seguenti vantaggi:

- selettività in frequenza; la risposta ottenuta dà indicazioni circa le frequenze interessate dal danno;
- quantizzazione del danno; infatti la risposta è evocabile anche in presenza di un deficit di 45-55 dB;
- alta affidabilità e precisa corrispondenza tra la soglia dell'esame audiometrico convenzionale e la soglia dei DPOAE.

Gli “svantaggi”, costituiti dalla maggior durata del test, dalla complessità del procedimento e dalla necessità di personale specializzato, sono in realtà svantaggi relativi, in quanto, come già precisato, questa metodica non rientra nella strategia di screening, ma nell'approfondimento proprio del secondo livello previsto dal programma.

## **CAPITOLO 4**

### **COME INTERVENIRE DOPO L'ESAME**

L'esame svolto con le OAE non quantifica la perdita uditiva, ma rivela solo la sua presenza; perciò i soggetti risultati positivi devono poi rivolgersi ad uno specialista per la conferma della diagnosi e per un eventuale trattamento.

Una carenza lieve (circa 30-40 dB) provoca nel bambino solo un leggero ritardo del linguaggio e qualche disturbo di pronuncia. In tal caso è necessario stimolare il neonato sfruttando tutti i vari canali di comunicazione, verbali e non; ad esempio, può essere utile parlargli a voce più alta del normale, evidenziare il movimento delle labbra, la mimica facciale e la gestualità. Ovviamente occorre poi sottoporre il bambino a periodici controlli.

#### **4.1 Protesizzazione**



*Fig. 4.1: Esempio di protesi acustica*

Dopo aver diagnosticato una perdita uditiva nel bambino, talvolta viene prescritto l'utilizzo di una protesi. Lo scopo è quello di permettere al bambino di udire bene i suoni ambientali e del parlato. La prescrizione della protesi è di competenza dell'audiologo, ma la decisione deve coinvolgere anche l'audiometrista, l'audioprotesista, il logopedista e i genitori, per poter ottenere risultati migliori. Il tipo di protesi da utilizzare sarà scelto in base all'età del bambino, alla sua perdita uditiva e al suo sviluppo motorio. E' necessario somministrare al bambino ipoacusico dei segnali sonori

molto amplificati, in modo da potenziare la percezione delle informazioni acustiche essenziali per sviluppare l'apprendimento del linguaggio. Molto importante è la modalità di applicazione della protesi; l'apparecchio deve essere presentato con naturalezza, senza drammatizzare il momento delicato. Il bambino dovrà avere la possibilità di osservarlo, toccarlo, manipolarlo e scoprirlo. Applicata la protesi, il bimbo si trova immerso in un mondo di suoni a lui prima sconosciuti; la meraviglia provata può rendergli più facile superare il fastidio della procedura.

Il piccolo paziente deve abituarsi gradualmente a portare la protesi acustica, aumentando via via il tempo di applicazione. In generale, più il bambino è piccolo e più è facile per lui adattarsi all'apparecchio acustico.

## **4.2 Impianto cocleare**

Un impianto cocleare (coclea artificiale, orecchio bionico) è un orecchio artificiale elettronico in grado di ripristinare la percezione uditiva nelle persone con sordità profonda, e viene usato quando le protesi acustiche non ottengono il risultato sperato. Nel caso di bambini di età compresa tra i 12 e i 24 mesi, l'impianto cocleare viene usato se la loro sordità è profonda bilaterale con deficit maggiore o uguale a 90dB, e non hanno ottenuto grandi benefici con l'utilizzo di una protesi e di riabilitazione logopedica per un periodo di almeno 6 mesi. Invece, nei bambini di età compresa tra i 2 e i 18 anni, l'impianto viene preso in considerazione per sordità gravi o profonde che hanno una percentuale di riconoscimento di parole, a lista aperta con bocca schermata, inferiore al 50% indossando la protesi acustica.

Una delle variabili più importanti nel condizionare le prestazioni post impianto del bambino è l'età al momento dell'impianto; maggiore è l'età del bambino, minore è la sua plasticità cerebrale. Pertanto, prima viene eseguita la procedura d'impianto e maggiore sarà lo sviluppo delle abilità percettive e della produzione verbale. Di conseguenza, attualmente c'è l'orientamento ad eseguire l'impianto cocleare tra i 12 ed i 18 mesi (prima dei 12 mesi vi sono problematiche di natura valutativa funzionale, anestesilogiche e di procedura chirurgica). Buoni risultati si hanno anche con bambini sordi congeniti che hanno avuto discreti risultati protesici eseguendo l'impianto in età prescolare.



## **Conclusione**

Anche se il fenomeno delle OAEs è molto complesso e ancora soggetto a studi, la loro analisi, in particolare l'esame delle TEOAE, sta diventando sempre più importante.

Tale test è infatti veloce, poco invasivo, poco costoso e affidabile. Inoltre permette di identificare i neonati ipoacusici già a poche ore dalla nascita, e questo dà la possibilità di intervenire in modo adeguato nel più breve tempo possibile con diagnosi, trattamenti e, nei casi più gravi, con protesi e impianti cocleari.

## **Bibliografia e Sitografia**

- 1) Rivista: “European archives of oto-rhino-laryngology”: official journal of the European federation of oto-rhino-laryngological societies with the German Society for oto-rhino-laryngology, head and neck surgery
- 2) “Endoscopic anatomy of the middle ear”, Tschabitscher, Klug, Wien, New York: Springer, 2000
- 3) “An introduction to the physiology of hearing”, Pickles, London: Academic Press, 1982
- 4) Rivista: “Ear and hearing: the official journal of the American auditory society”, Baltimore: Williams and Wilkins, 1980-
- 5) Rivista: “Journal of Acoustic Society of America”
- 6) “Nuovo manuale di logopedia”, De Filippis Cippone, Trento: Erickson, 1998
- 7) [www.otoneuro.it](http://www.otoneuro.it)
- 8) [www.otodynamics.com](http://www.otodynamics.com)
- 9) [mwl.die.uniroma.it](http://mwl.die.uniroma.it)
- 10) [www.gruppootologico.it](http://www.gruppootologico.it)
- 11) [www.audiologia.unina.it](http://www.audiologia.unina.it)
- 12) [www.giampaolopalmeri.it](http://www.giampaolopalmeri.it)