

## **IMPIANTI COCLEARI**

La protesi cocleare converte un segnale uditivo in una piccola corrente elettrica che, attraverso appositi elettrodi impiantabili, stimola le cellule del nervo acustico. Le protesi cocleari sono applicate a pazienti affetti da sordità profonda dovuta al meccanismo di trasduzione dell'orecchio interno. Essere affetto da sordità profonda significa avere una soglia di risposta al suono che eccede di 90dB il livello di percezione normale.

Si può parlare di sordità congenita o acquisita. Le cause congenite comprendono le infezioni virali durante la gravidanza, traumi alla base del cranio durante il parto, anossia e somministrazione di farmaci ototossici alla madre. La sordità acquisita può derivare da un eccesso di esposizione al rumore, fratture dell'osso temporale, farmaci ototossici e neuroma acustico.

### **Storia**

I primi effetti della corrente elettrica sulla coclea umana sono descritti da Volta nel 1790 e nel 1957 i francesi Djourno ed Eyries, dopo una serie di esperimenti sull'animale, avevano installato un elettrodo stimolante direttamente nel nervo acustico di un paziente. Alla metà degli anni '60 la collaborazione fra William House e l'azienda 3M portò allo sviluppo del primo sistema monoelettrodo intracocleare. Questo tipo di impianto è stato adottato anche in Italia su alcuni pazienti nei primi anni '80. Nel 1985 in U.S.A. furono brevettati i primi impianti multicanale (multielettrodo) che sono gli stessi che ancora oggi sono sviluppati e impiantati (circa 20000 unità al mondo ad oggi).

I candidati che possono beneficiare di un impianto cocleare sono i soggetti adulti e i bambini che rientrano nelle seguenti categorie:

#### **Adulti**

- Sordità severa o profonda in entrambi gli orecchi
- Sordità acquisita dopo l'apprendimento del linguaggio parlato
- Nessuna controindicazione di tipo medico
- Forte desiderio di tornare a sentire
- Limitati benefici da altri tipi di apparecchi

#### **Bambini**

- Sordità profonda in entrambi gli orecchi
- Età compresa fra 18 mesi e 17 anni
- Nessun beneficio dall'uso di altri tipi di apparecchio
- Nessuna controindicazione medica

- Forte motivazione e aspettative appropriate nel bambino e nella famiglia
- Inserimento in un programma educativo di riabilitazione dopo l'impianto

Il principio di funzionamento su cui si basano tutti gli impianti cocleari è il seguente: le fibre nervose sono stimulate da una serie di elettrodi che ricevono una piccola corrente elettrica da un circuito elettronico che decodifica il segnale prodotto da un trasduttore acustico (microfono). Il sistema è composto da componenti interni ed esterni.

I componenti interni comprendono:

- un ricevitore-stimolatore che è posizionato sotto la cute in posizione poco profonda in un alloggio ricavato nell'osso temporale. Il ricevitore-stimolatore è collegato ad una serie di elettrodi.
- l'array di elettrodi che è composto da 22 microelettrodi fissati lungo un tubo flessibile di materiale biocompatibile (in genere silicone) che viene inserito per circa 1,5cm dentro la coclea.

I componenti esterni comprendono:

- il processore del linguaggio che assomiglia ad un calcolatore tascabile del peso di circa 150 grammi.
- l'apparato auricolare che a sua volta è composto da:
  - a) una bobina trasmittente (un anello di circa 1,5cm) che è mantenuta posizionata sopra il ricevitore/stimolatore attraverso un piccolo magnete.
  - b) un microfono direzionale che assomiglia molto agli apparecchi amplificatori e si indossa come questi dietro l'orecchio.
  - c) due sottili fili elettrici che eseguono il collegamento fra microfono trasmettitore e processore.



**Figura 1**



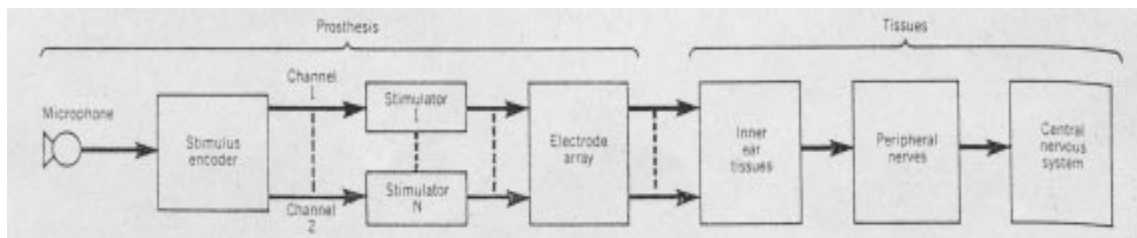
**Figura 2**

### Principio di funzionamento

1. Le onde sonore sono captate dal microfono inserito nell'auricolare che provvede alla traduzione in segnale elettrico.
2. Il segnale è inviato al processore che lo elabora con particolari software e genera un segnale che il cervello è in grado di interpretare come suono.
3. Questo segnale ritorna, attraverso lo stesso cavo, al dispositivo auricolare e viene trasmesso a radiofrequenza, attraverso la cute, al dispositivo ricevitore.
4. Il ricevitore invia il segnale agli elettrodi posizionati nella coclea che vanno a stimolare direttamente il nervo acustico.
5. Il nervo acustico invia il segnale elettrico al cervello dove viene interpretato come suono.

### Analisi dei componenti

Se un paziente profondamente sordo mantiene una grande percentuale delle 30.000



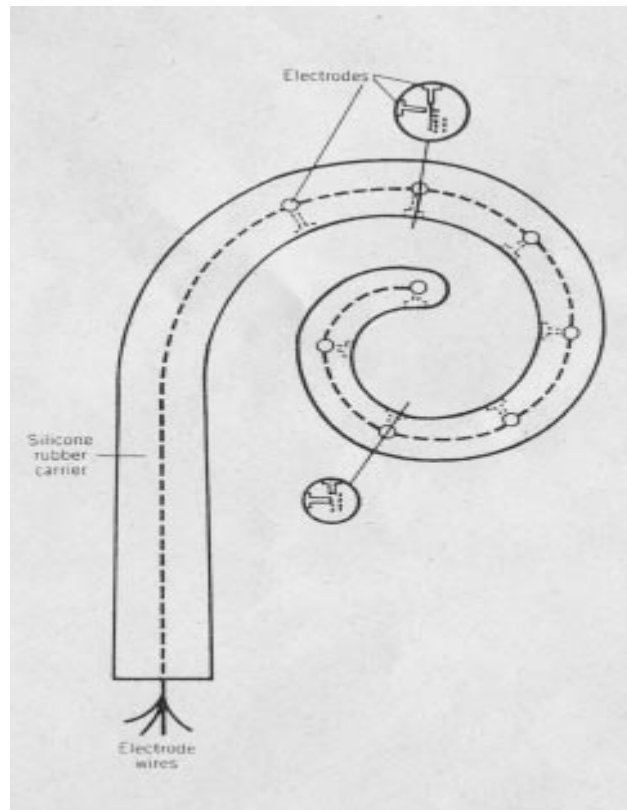
**Figura 3**

fibre nervose uditive, è possibile stimolarle in modo da codificare frequenze ed intensità al sistema nervoso centrale. Uno schizzo di una protesi é mostrato in figura 3. Le fibre nervose sono stimulate da un array di elettrodi che riceve correnti elettriche piccole da circuiti elettronici che decodificano i segnali prodotti da un trasduttore acustico.

Le protesi si presentano sia come sistemi a canale singolo sia a più canali. Le più vecchie includevano un solo paio di elettrodi, cmentre quelle recenti ne contengono di più. In entrambi i casi gli elettrodi possono essere impiantati all'interno o all' esterno della scala cocleare. Inserendo la protesi all' interno della scala del timpano, si piazzano gli elettrodi il più vicino possibile alle cellule eccitabili e questo riduce il numero di cellule periferiche che sono stimulate da un particolare elettrodo.

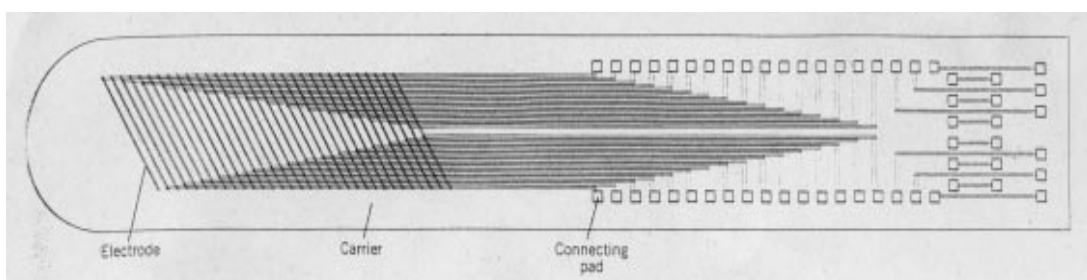
Le serie di elettrodi si presentano sia come fasci di fili che come array monolitici.

Nei modelli più vecchi (Figura 4) i fasci di fili sono disposti in elettrodi sferici o parzialmente sferici e separati da un isolante di gomma di silicone. Un fascio di fili di un array contiene 22 elettrodi.



**Figura 4**

Gli array monolitici (Figura 5) sono costruiti con strisce di conduttori su un substrato semiconduttore. Il substrato contiene elettrodi rettangolari, i fili sono ricoperti da uno strato isolante e gli elettrodi sono in contatto con i tessuti cocleari.



**Figura 5**

Gli elettrodi vengono guidati da circuiti eccitatori. Questi si distinguono in diversi gruppi a seconda del tipo di alimentazione applicata al carico del sistema elettrodo-tessuto:

1. Generatore di potenziale costante
2. Generatore di corrente costante
3. Generatore di carica

Nota: l'impedenza del generatore è molto maggiore di quella del carico.

In ogni caso i segnali sono applicati in maniera bifasica, cioè per ogni stimolo sono rilasciate uguali quantità di carica positiva e negativa.

La stimolazione a voltaggio costante può essere pericolosa perché l'impedenza dell'elettrodo spesso domina l'impedenza totale del circuito e quindi la corrente rilasciata al tessuto e le variazioni di impedenza dell'elettrodo possono causare cambiamenti nelle soglie di stimolazione e creare danni agli elettrodi ed ai tessuti.

I circuiti eccitatori scelti più frequentemente sono quelli a corrente costante. In questi la densità di corrente non è costante sulla superficie degli elettrodi (eccetto per quelli sferici ed emisferici). Tale fenomeno risulta importante a livello di stimolazioni locali, deterioramento degli elettrodi, danni ai tessuti.

Il genere di codifica in una protesi dipende sia dal design degli elettrodi che dai tipi di segnali usati per guidarli.

I processori possono essere sia ad un canale che multicanale. Tutti gli impianti cercano di codificare informazioni in frequenza contenute nel range del parlato umano (300-3000Hz) in stimoli elettrici che possano guidare uno o più elettrodi.

Stimulatori a canale singolo usano elettrodi interni o esterni all'orecchio interno. Si impiegano stimolazioni di vario tipo:

- analogiche
- pulsatili
- a onda quadra
- segnali modulati in ampiezza con portante a 16KHz

Nel caso di stimolazione a onda quadra, viene prodotto un segnale la cui frequenza è uguale alla frequenza fondamentale della pulsazione della glottide di una persona che parla. Nel caso di stimolazione pulsatile si può scegliere di seguire la frequenza delle pulsazioni della glottide o quella prodotta dall'apparato vocale del parlatore.

La scelta della frequenza costituisce un punto critico in fase di progettazione.

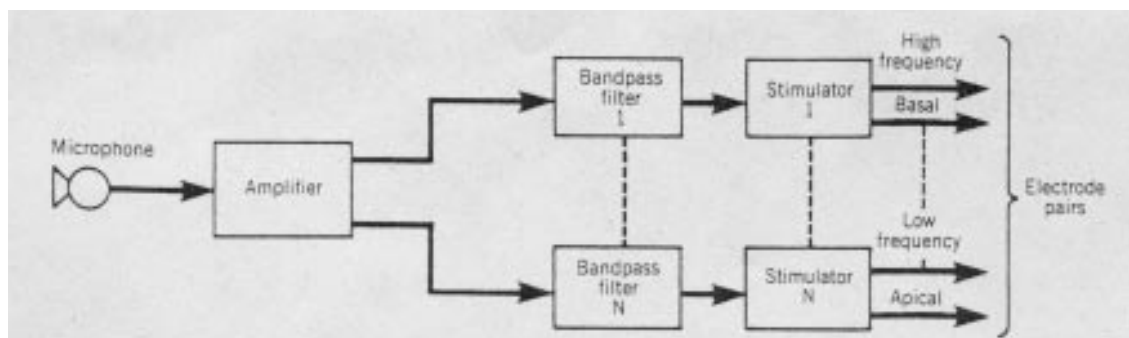


Figura 6

Gli array di elettrodi a più coppie permettono strategie di codifica più complesse. In uno dei più semplici di questi schemi (figura 6), c'è un filtro multiplo che decompone il segnale audio e invia ciascuna porzione di esso ad una singola coppia di elettrodi. Questo sistema è però carente nel trasmettere informazioni ad alte frequenze alle fibre che rispondono con priorità alle basse.

Comunque su soggetti che hanno portato sia il singolo che il processore 4-canali, si è riscontrato un funzionamento migliore con dispositivi multicanale.

Nonostante lo studio sulla disposizione di frequenza lungo le cellule del ganglio spirale (le alte frequenze sono disposte alla base, le basse all'apice della coclea) negli impianti non necessariamente la schiera di coppie di elettrodi è impiantata in ordine spaziale.

Questo complesso sistema di circuiti analogici e digitali è stato compattato in un pacchetto esterno processore/trasmittitore e una parte invece impiantata ricevitore/stimolatore.

### **Valutazione delle protesi cocleari**

L'uso di un impianto cocleare comporta molti benefici tangibili. La protesi aiuta a riconoscere i suoni dell'ambiente esterno come il clacson delle auto, l'allarme incendio, il suono del telefono, il bussare alla porta. Coloro che utilizzano tali impianti leggono meglio il labiale e sono più comprensibili a chi li ascolta. Dalle prime stimolazioni del nervo uditivo gli studiosi cercano di quantificare i vantaggi che l'impianto può comportare. I test comprendono accertamenti psicofisici (discriminazione in frequenza e in ampiezza), prove di comprensione del linguaggio parlato con e senza l'uso di impianti cocleari. Le procedure del primo test cercano di determinare se un paziente è un possibile candidato per un impianto, inoltre è stilato un profilo di base per fare un confronto con i risultati ottenuti dopo l'impianto. La maggior parte dei gruppi di ricerca seleziona pazienti divenuti sordi dopo aver imparato a parlare, mentre solo pochi si interessano dei pazienti sordi dalla nascita (sordità congenita). La valutazione del paziente inizia con una diagnosi di sordità profonda dopodiché si passa a test più approfonditi. Sono inviati stimoli elettrici attraverso l'orecchio medio per capire quante cellule nervose sono sopravvissute e se queste sono sufficienti per il buon funzionamento della protesi cocleare. Un ruolo importante riveste la disponibilità e la motivazione del paziente che, oltre ad avere i requisiti fisici per l'impianto, deve essere disposto a sostenere un programma che è più sperimentale che terapeutico. Dopo l'impianto seguono ulteriori test sulla percezione delle vocali, delle consonanti e dei discorsi aperti.

Il numero di pazienti con protesi cocleari è molto ristretto (20000 al mondo) e la quasi totalità riguarda l'"house-urban" ovvero l'impianto a canale singolo. Non ci sono dati sufficienti per stabilire se sia migliore l'impianto a canale singolo o multiplo oppure quale sia il tipo di processore più adatto. Infatti, dobbiamo considerare che le percezioni dei pazienti possono differire in relazione al tipo di patologia che può rendere una sordità diversa da un'altra.

Un dato oggettivo, riscontrato in quasi tutti i pazienti impiantati, è il miglioramento della percezione del linguaggio labiale.

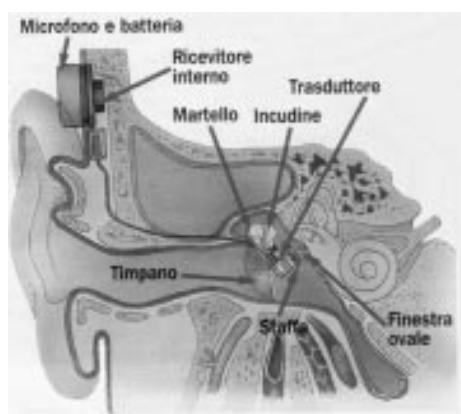
## Rischi dell'impianto

Qualsiasi tipo di intervento chirurgico comporta dei rischi; nel caso dell'impianto cocleare rivestono un ruolo fondamentale, per la buona riuscita dell'intervento, le tecniche di sterilizzazione e l'uso di materiali biocompatibili. La densità di corrente troppo elevata può recare danni, è quindi opportuno mantenere tale densità al di sotto di  $20 - 40 \mu C / cm^2 / phase$  anche se già a  $18 \mu C / cm^2 / phase$  si possono riscontrare danni minimi.

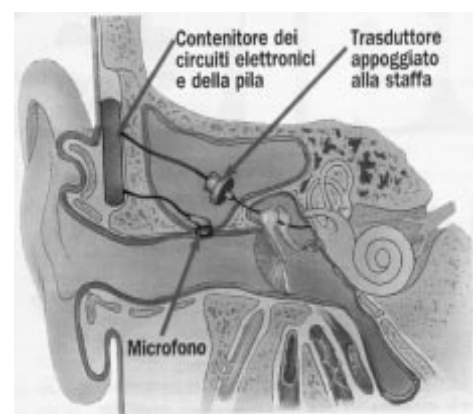
## Il futuro delle protesi cocleari

Il futuro delle protesi cocleari appare brillante: si stanno studiando nuovi schemi per mettere a fuoco tre aree, array di elettrodi, processore e stimolazione diretta del Sistema Nervoso Centrale. La stimolazione di strutture nel S.N.C. sarà usata in futuro. Esiste già un paziente con arrays di elettrodi impiantato sulla superficie del nucleo cocleare. Dato che i pazienti con totale perdita di cellule del nervo uditivo ricevono benefici dalla stimolazione del S.N.C., questo tipo di protesi probabilmente sarà usato sempre più frequentemente.

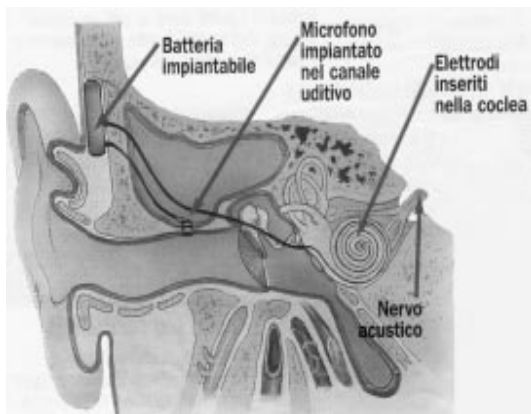
## Le diverse possibilità di impianto



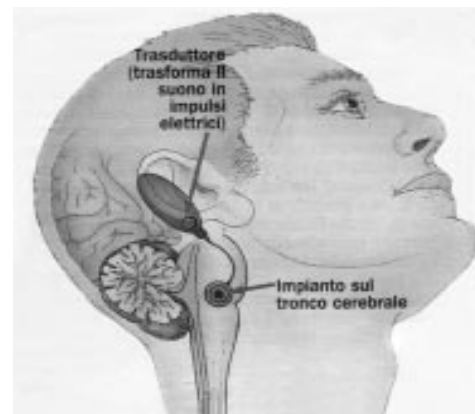
**Figura 7:** Soundbridge, protesi parzialmente impiantabile. Restano fuori, nascosti dai capelli, solo il microfono, il processore audio e la batteria. Il trasduttore viene impiantato all'interno.



**Figura 8:** Tica, protesi impiantabile. Capta con il microfono i suoni nel canale uditivo, il circuito elettronico li elabora e il trasduttore li passa alla staffa prima della finestra ovale.



**Figura 9:** *Impianto cocleare. Il suono, captato dal microfono nel canale uditivo, viene tradotto in segnale elettrico che “suona” gli elettrodi come i tasti di un piano.*



**Figura 10:** *Orecchio bionico, formato da una parte esterna, qui non visibile, che capta i suoni, una interna dietro l'orecchio, che li trasforma in impulsi, uno sul tronco cerebrale che passa l'impulso al nervo acustico.*