

Malattie dell'orecchio e disturbi dell'udito

ELEMENTI DI FISICA ACUSTICA

L'evento fisico alla base della sensazione acustica è una variazione dello stato di riposo delle molecole del mezzo attraversato. Il periodico concentrarsi e allontanarsi delle molecole determina una variazione della pressione (FIG. 1.1B) che dà origine alla sensazione acustica. Il suono è prodotto da una sorgente che è in grado di perturbare lo stato di riposo delle molecole del mezzo in cui è collocata, comunemente, ma non necessariamente, l'aria (FIG. 1.1A). Le molecole iniziano a oscillare in avanti e indietro trasferendo la loro energia alle particelle vicine, determinando così la trasmissione del suono a distanza (FIG. 1.1C,D). Le modificazioni di pressione del mezzo attraversato dall'onda acustica possono essere rappresentate graficamente dall'oscillogramma (FIG. 1.1A), nel quale si evidenziano le variazioni di pressione nel tempo

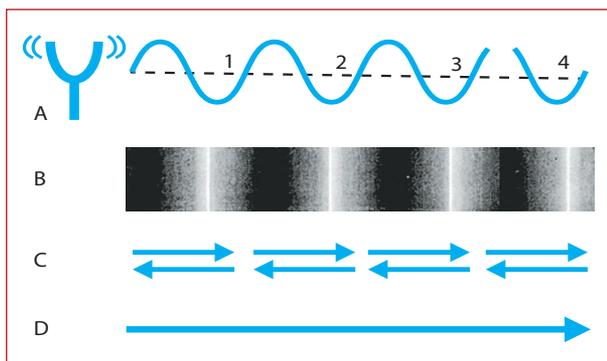


FIG. 1.1. Rappresentazione grafica del trasferimento nell'aria dell'onda acustica di un tono puro prodotto da un diapason. A) andamento della forma d'onda nel tempo di un tono puro (andamento sinusoidale); B) rappresentazione grafica della concentrazione (in scuro) e della rarefazione (in chiaro) delle particelle aeree lungo l'asse di propagazione del suono; C) movimento delle molecole del mezzo attraversato (aria); D) direzione della propagazione del suono.

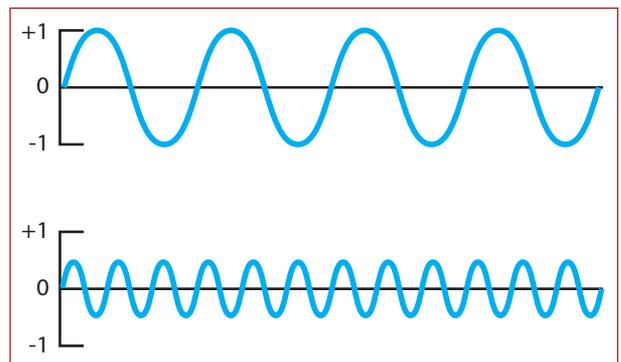


FIG. 1.2. Rappresentazione grafica di due toni puri a differente frequenza; dall'alto in basso suono a bassa e ad alta frequenza.

rispetto il teorico stato di riposo (FIG. 1.1A). Nel caso più semplice, l'oscillazione delle particelle ha un andamento sinusoidale (tono puro) che è caratterizzato da:

- 1 frequenza delle oscillazioni;
- 2 ampiezza delle oscillazioni.

La frequenza di oscillazione di un tono puro viene misurata in *Hertz* (Hz), cioè in numero di cicli al secondo (FIG. 1.2). Questo fenomeno determina la sensazione acustica di tonalità (*pitch*). Si distinguono, in relazione alle capacità di percezione dell'orecchio umano:

- 1 tonalità gravi, fino a 500 Hz;
- 2 tonalità medie, tra 1000 e 3000 Hz;
- 3 tonalità acute, oltre 3000 Hz;
- 4 ultrasuoni, oltre i 15.000-20.000 Hz;
- 5 infrasuoni, sotto i 20 Hz.

Gli ultrasuoni e gli infrasuoni non sono percepiti dall'uomo come sensazione acustica. I suoni puri sono prodotti dal diapason e dai sintetizzatori (audiometro, strumenti musicali elettronici). I segnali acustici che percepiamo normalmente sono di tipo complesso, cioè costituiti da forme d'onda irregolari (non sinusoidali). Questi segnali possono essere ricondotti, mediante l'a-

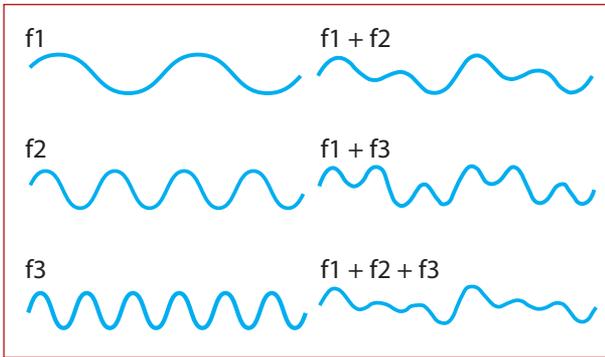


FIG. 1.3. I suoni complessi (colonna di destra) possono essere scomposti in suoni puri (colonna di sinistra) sommati tra loro.

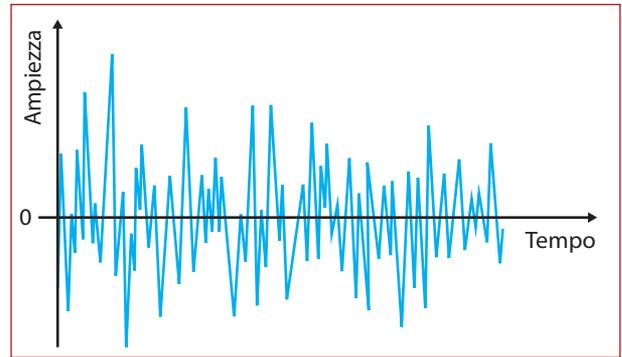


FIG. 1.5. Rumore caratterizzato da un andamento non periodico della forma d'onda.

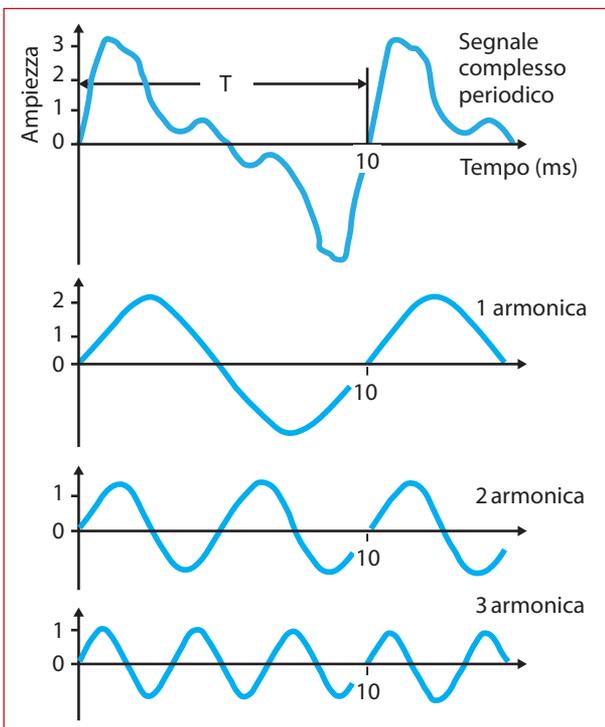


FIG. 1.4. Suono complesso periodico. In alto è rappresentata la forma d'onda, mentre nei tre diagrammi sottostanti sono rappresentate la frequenza fondamentale (quella con la minore frequenza) e le armoniche, le cui frequenze sono multipli interi della frequenza fondamentale.

analisi di Fourier, a un insieme di toni puri tra loro associati (FIG. 1.3). I segnali acustici sono poi distinguibili in:

- 1 suoni complessi periodici, costituiti da una frequenza fondamentale (la più grave) e da frequenze armoniche, multiple della fondamentale (FIG. 1.4), e che sono generate dalla laringe (voce) e dagli strumenti musicali;
- 2 rumori, se la forma d'onda del segnale non presenta alcuna periodicità (FIG. 1.5).

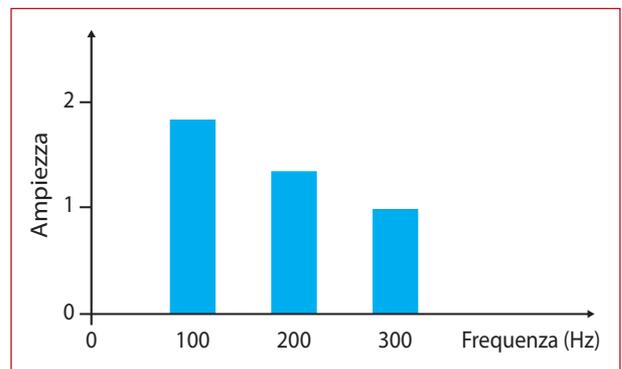


FIG. 1.6. Rappresentazione grafica dell'analisi spettrale di un suono complesso periodico. Sull'asse delle ascisse sono riportate le frequenze presenti nel segnale acustico, mentre su quello delle ordinate è riportata l'intensità delle diverse componenti frequenziali.

Gli eventi acustici possono essere anche rappresentati nel dominio delle frequenze (spettro); in questo caso sull'asse delle ascisse è riportata la frequenza e su quello delle ordinate l'intensità (FIG. 1.6).

L'intensità della sensazione acustica (*loudness*) è viceversa determinata dall'ampiezza delle vibrazioni; tanto maggiore è l'ampiezza tanto maggiore è la sensazione acustica di intensità. L'intensità può essere misurata in termini di potenza o di pressione. La potenza esprime l'effettiva capacità che ha una determinata sorgente sonora (amplificatore HiFi, pressa, autoveicolo, ecc.) nel produrre rumore. L'unità di misura è il *Watt* (lavoro/tempo - W). Molto più utile per definire la percezione che noi abbiamo di un certo suono è la misura della pressione acustica, espressa in *Pascal* (Newton/m²), unità di misura che valuta l'effettiva intensità del suono nel punto in cui viene misurato e che è correlata con la distanza esistente tra la sorgente sonora e il punto di rilevamento. Il Pascal è un'unità di misura fisica che non rispecchia le caratteristiche funzionali dell'orecchio

TABELLA 1-I. Suddivisione anatomo-funzionale dell'organo dell'udito.

Sistema di trasmissione dell'energia meccanica vibratoria. È formato da:

- orecchio esterno (padiglione e meato acustico esterno);
- orecchio medio (cassa del cavo del timpano con membrana timpanica e apparato di trasmissione della cassa, finestra rotonda, finestra ovale);
- liquidi labirintici (perilinfia, endolinfia) membrane dell'orecchio interno (membrana di Reissner, membrana tectoria, membrana basilare).

Sistema di trasduzione dell'energia meccanica vibratoria in energia nervosa. È costituito da:

- cellule sensoriali dell'organo di Corti.

Sistema di trasferimento dell'energia nervosa e di trasformazione in sensazione uditiva. È formato da:

- fibre del ramo cocleare del nervo acustico, che costituiscono i prolungamenti periferici e centrali delle cellule che formano il ganglio di Corti;
- via acustica afferente e suoi nuclei (nucleo cocleare dorsale, nucleo cocleare ventrale, complesso olivare superiore, nucleo del lemisco laterale, corpo quadrigemino inferiore, corpo genicolato mediale, aree corticali acustiche e aree associative, vie nervose di collegamento fra i vari nuclei della via acustica centrale).

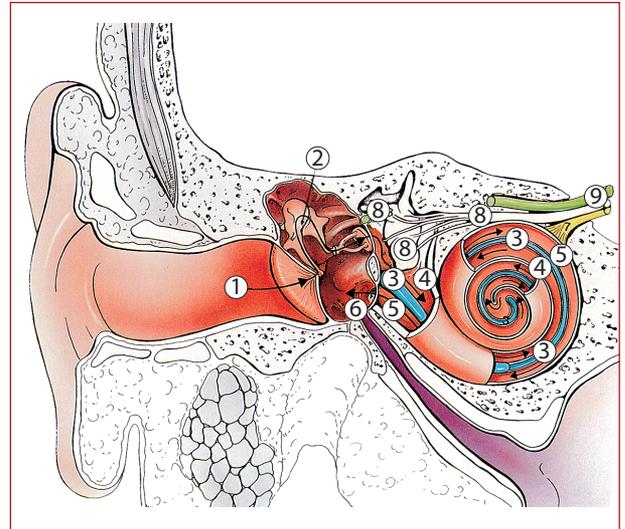


FIG. 17. Suddivisione schematica e funzionale dell'organo dell'udito: 1) membrana timpanica; 2) cassa del timpano con sistema timpano-ossiculare; 3) canale cocleare; 4) scala vestibolare; 5) scala timpanica; 6) ostio timpanico della tuba di Eustachio; 7) ramo cocleare del nervo acustico; 8) vestibolo e nervo vestibolare; 9) nervo faciale.

umano il quale, nell'analisi dell'intensità, segue una curva logaritmica e non lineare (legge di Weber e Fechner), con un range molto ampio tra il minimo suono percepibile e quello la cui percezione provoca dolore (almeno 10^6). È stata quindi introdotta la misurazione dell'intensità acustica in *decibel* (dB), inteso come 20 volte il logaritmo in base 10 della pressione effettivamente rilevata rispetto alla *pressione di riferimento* (P_0), definita per convenzione pari a $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal (valore che corrisponde, per convenzione, alla minima intensità acustica percepibile da parte di un soggetto giovane e non affetto da patologie uditive a 1000 Hz).

$$db = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

Il dB non deve essere quindi inteso come un'unità di misura assoluta, ma come un'unità di misura relativa in quanto correlata alle caratteristiche della sensibilità dell'orecchio umano, in cui lo 0 non corrisponde all'assenza di suono (condizione presente solo nel vuoto) ma al minimo suono che percepibile. Inoltre, l'introduzione della misura logaritmica consente di ridurre l'ampio range di intensità percepibile con una modalità di analisi simile a quella svolta dall'orecchio stesso. In termini di dB il range dell'udibile nell'uomo è compreso tra circa 0 (minimo suono percepibile) e 100-120 dB (soglia di fastidio o di dolore). Al fine di correlare il valore espresso in dB a

una sensazione acustica può essere utile ricordare che in un ambiente giudicato silenzioso il livello di rumorosità è pari a circa 40 dB; la normale voce di conversazione si pone su valori di circa 60 dB mentre un ambiente particolarmente rumoroso (fabbrica, discoteca) può arrivare a valori di 85-110 dB. Rumori di tipo esplosivo (armi da fuoco) o prodotti da motori molto potenti (aerei, razzi, ecc.) possono superare i 120 dB.

ANATOMO-FISIOLOGIA DELL'ORECCHIO

ANATOMIA DELL'ORECCHIO

L'organo dell'udito, sotto il profilo anatomo-funzionale, è composto dal sistema di trasmissione dell'energia meccanico-vibratoria, dal sistema che la trasforma in energia nervosa (trasduzione mecano-acustica) e dal sistema che la trasferisce alla corteccia del lobo temporale, ove diviene sensazione acustica (FIG. 17 e TAB. 1-I). L'orecchio viene suddiviso in:

- 1 orecchio esterno;
- 2 orecchio medio;
- 3 orecchio interno;
- 4 nervo acustico;
- 5 vie uditive centrali.

Orecchio esterno

È composto dal padiglione auricolare e dal condotto uditivo esterno. Il padiglione auricolare è costituito da un lembo di cartilagine, ricoperto da cute, a forma di conca, che si proietta ai lati del capo (FIG. 1.8). Al centro del padiglione auricolare si apre l'orifizio del condotto uditivo esterno. Il condotto uditivo esterno è un canale che si estende in profondità per circa 24 mm e la cui struttura è fibro-cartilaginea nel terzo laterale e ossea nei due terzi mediali. Il punto di passaggio tra parte ossea e cartilaginea è caratterizzato da un restringimento, detto istmo. Ha una forma ellittica e un decorso non perfettamente rettilineo in quanto caratterizzato da una curvatura verso l'avanti e il basso (FIG. 1.9). In profondità il condotto uditivo esterno è chiuso dalla membrana timpanica ed è rivestito, in tutto il suo decorso compresa la superficie esterna del timpano, da cute.

Orecchio medio

L'orecchio medio è suddiviso in (FIG. 1.10):

- ❶ tuba uditiva o di Eustachio;
- ❷ cassa del timpano;
- ❸ apparato mastoideo.

La tuba di Eustachio è un canale che pone in comunicazione la rinofaringe con la cassa del timpano. È costituita da un canale osseo, nel suo terzo più vicino

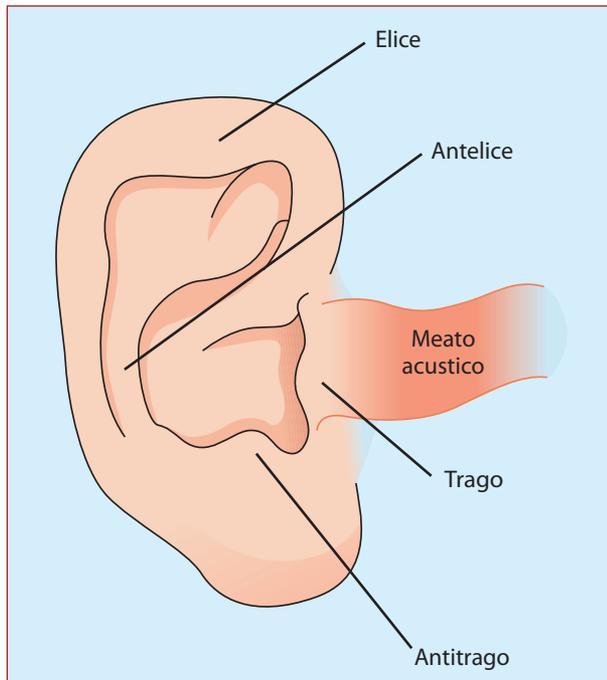


FIG. 1.8. Schema della faccia laterale del padiglione auricolare con le sue diverse componenti anatomiche.

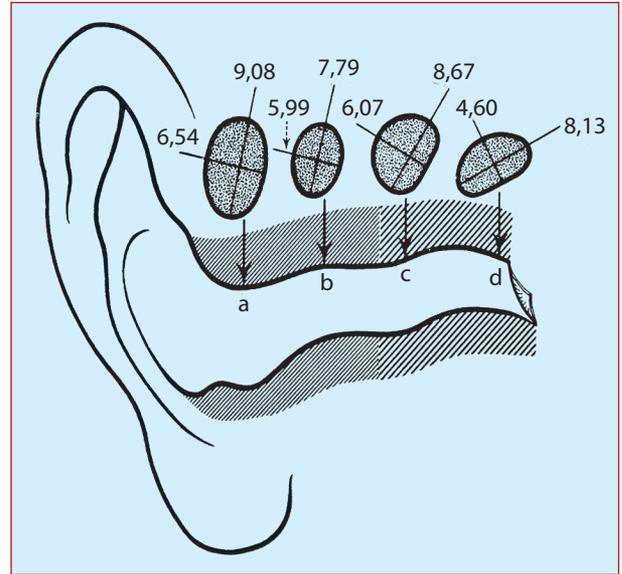


FIG. 1.9. Morfologia del condotto uditivo esterno e suo calibro in millimetri.

alla cavità dell'orecchio medio, e fibro-cartilagineo, nei suoi due terzi più vicini alla rinofaringe. Sulla superficie esterna della parte fibro-cartilaginea si inseriscono i muscoli peristafilini (elevatore e tensore del palato). Questi muscoli trovano come altro punto di inserimento il palato molle e sono innervati da rami motori della terza branca del nervo trigemino.

La cassa del timpano (FIG. 1.11) è una fessura appiattita a forma di lente biconcava; vi si distinguono due pareti, laterale e mediale, e una circonferenza suddivisa in quattro pareti: anteriore, posteriore, superiore, inferiore (FIG. 1.12). La parete laterale è costituita quasi interamente dalla membrana timpanica. Quest'ultima (FIG. 1.13) è posta su un piano diretto in basso e in avanti e ha forma ellittica, più sviluppata in altezza (9-10 mm) che in larghezza (8-9 mm). È formata da tre strati:

- ❶ cutaneo, più esterno;
- ❷ fibroso, intermedio;
- ❸ mucoso, più interno.

Nella membrana del timpano si riconoscono due parti:

- ❶ la *pars tensa*, più estesa, in cui è presente lo strato fibroso;
- ❷ la *pars flaccida*, che ne costituisce la porzione superiore ed è caratterizzata dalla mancanza dello strato fibroso.

Nella parte superiore e centrale della *pars tensa* si inserisce il manico del martello, che assume un decorso diretto dall'alto in basso e leggermente dall'avanti all'indietro.

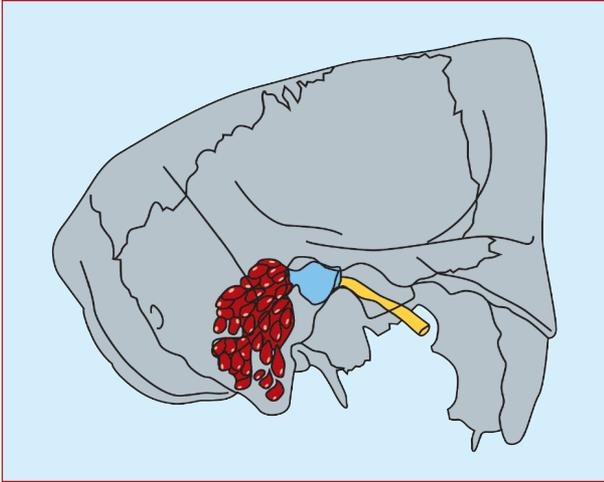


FIG. 1.10. Suddivisione dell'orecchio medio in tuba di Eustachio (in giallo), cavità dell'orecchio medio (in blu) e apparato mastoideo (in rosso).

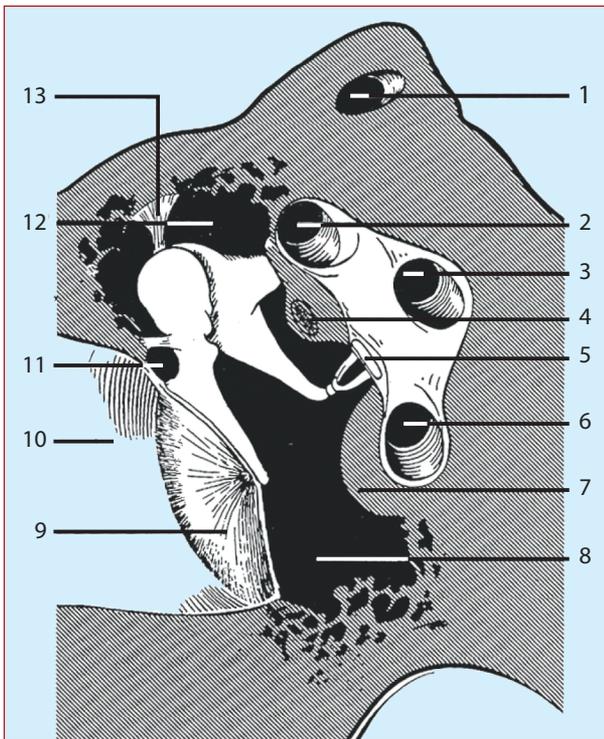


FIG. 1.11. Spaccato della cassa del timpano, in nero le cavità, in chiaro la catena ossiculare con i legamenti e in grigio l'osso temporale. 1) canale semicircolare superiore; 2) canale semicircolare laterale; 3) canale semicircolare posteriore; 4) nervo faciale; 5) staffa; 6) condotto cocleare; 7) promontorio; 8) ipotimpano; 9) membrana timpanica; 10) condotto uditivo esterno; 11) recesso della pars flaccida; 12) epitimpano; 13) legamento superiore del martello (da: Bairati).

La parete mediale della cassa del timpano (**FIG. 1.12**) presenta, nella sua parte centrale, un rilievo rotondeggiante, detto promontorio, corrispondente al giro basale della chiocciola. La sua superficie è solcata dal nervo timpanico, ramo del nervo glossofaringeo. Posteriormente e inferiormente al promontorio si trova la nicchia della finestra rotonda, che comunica con l'estremità inferiore della scala timpanica della chiocciola e che è chiusa dalla membrana secondaria del timpano. Superiormente alla finestra rotonda si trova la nicchia della finestra ovale, orifizio di forma ellittica in cui si fissa, per mezzo del legamento anulare, la platina della staffa. Superiormente e posteriormente alla finestra ovale vi è una sporgenza arcuata costituita dal segmento timpanico del canale osseo che riveste il nervo faciale (acquedotto di Falloppio). La parete anteriore presenta nel suo terzo superiore l'ostio timpanico della tuba uditiva. La parete posteriore è occupata superiormente dall'*aditus ad antrum*, orifizio che conduce all'antra timpanico. La parete superiore è formata dal *tegmen tympani*, lamina ossea che separa la cassa del timpano dalla fossa cranica media. La parete inferiore è in contiguità con il golfo della giugulare. La cavità dell'orecchio medio può essere suddivisa in cinque regioni (**FIG. 1.14**):

- 1 *atrio*, rappresentato dalla parte di cassa timpanica che può essere esaminata attraverso il condotto uditivo esterno; l'atrio contiene il manico del martello, parte del processo lungo dell'incudine e il capitello della staffa;
- 2 *epitimpano* (o *attico*), localizzato dalla parte più alta della cassa del timpano e delimitato lateralmente dal muro della loggetta, su cui si inserisce la *pars flaccida* della membrana timpanica; l'epitimpano contiene la testa del martello e il corpo e l'apofisi breve dell'incudine;
- 3 *protimpano*, cavità vuota posta anteriormente in cui si apre la tuba di Eustachio;
- 4 *ipotimpano*, cavità vuota posta inferiormente;
- 5 *retrotimpano*, cavità dalla morfologia estremamente complessa posta nella parte più posteriore della cassa del timpano e in cui si trovano le due finestre, ovale e rotonda, e la staffa.

A eccezione dell'atrio, e talvolta di parte del retrotimpano, tutte le restanti regioni dell'orecchio medio non possono essere visualizzate dall'ispezione attraverso il condotto uditivo esterno (otoscopia); per la loro esplorazione è necessario ricorrere a indagini radiologiche o a particolari approcci chirurgici.

La catena degli ossicini (**FIG. 1.11-1.15**) è composta da martello, incudine e staffa. Il martello presenta nella

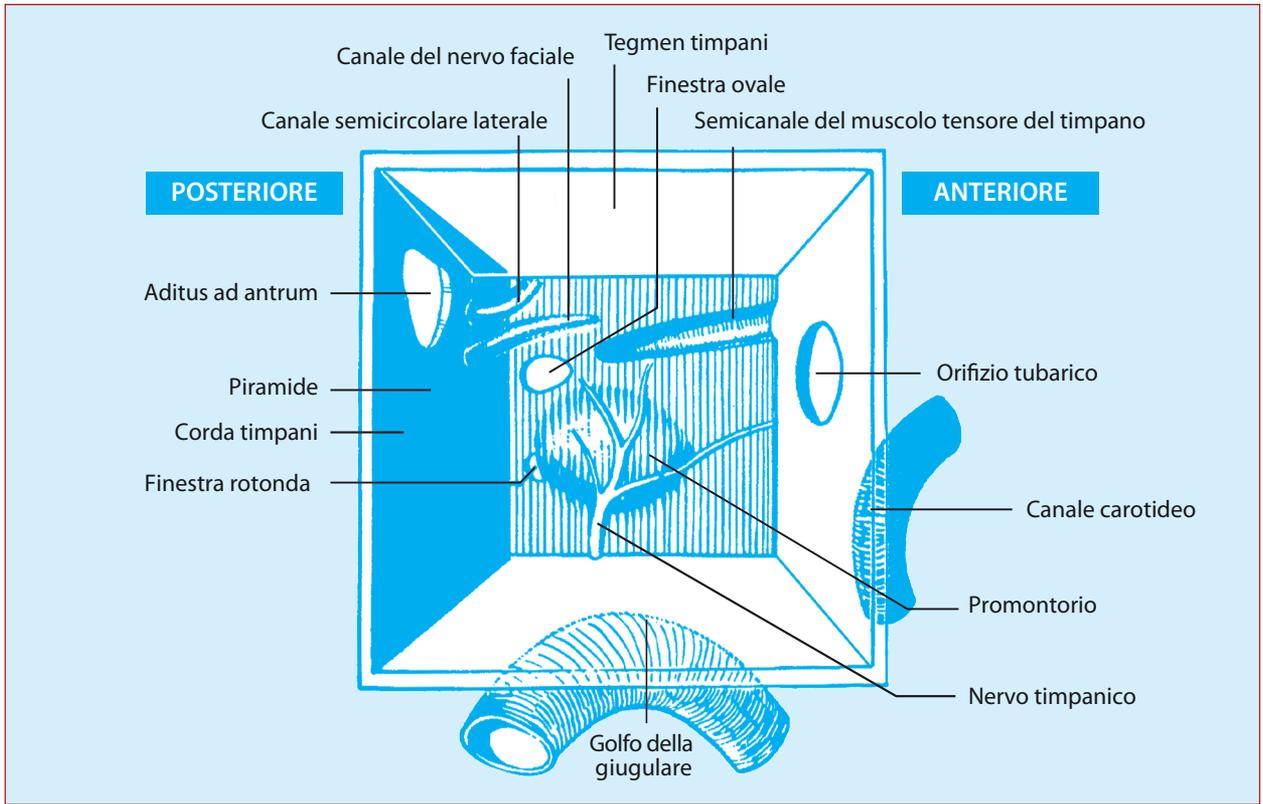


FIG. 1.12. Rappresentazione della cassa timpanica con le strutture contenute nelle sue pareti (da: Gardner *et al.*).

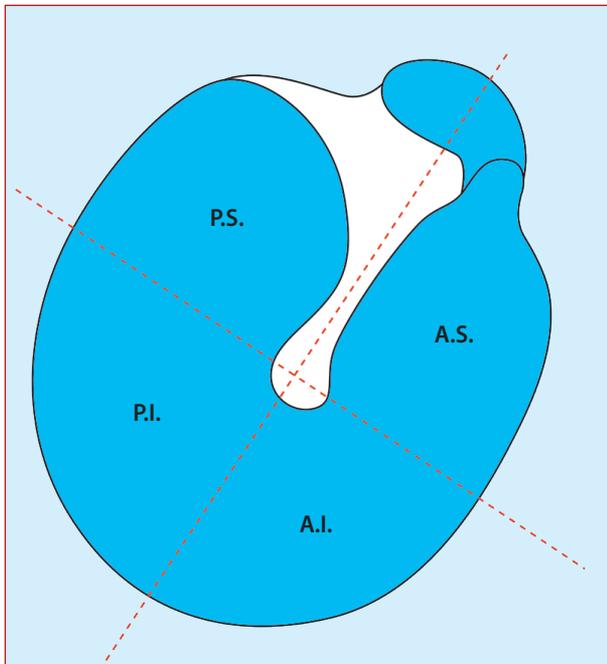


FIG. 1.13. Suddivisione della membrana timpanica (lato destro) in quattro quadranti (AS: antero-superiore; AI: antero-inferiore; PI: postero-inferiore; PS: postero-superiore).

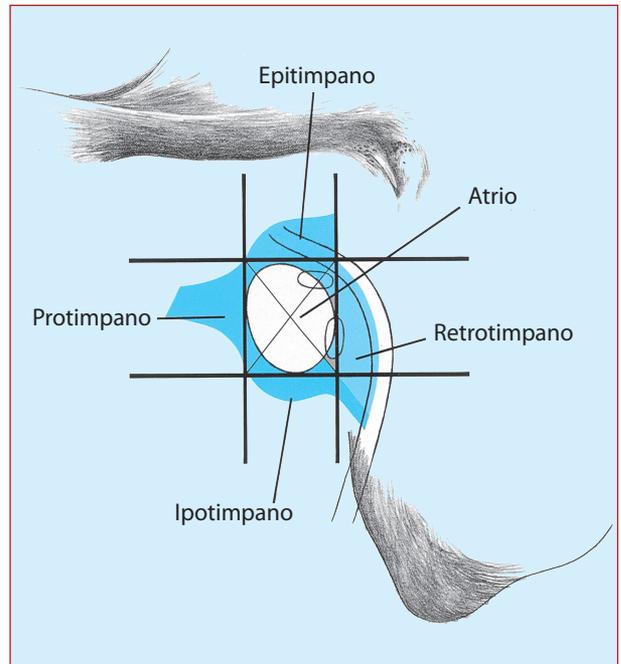


FIG. 1.14. Regioni dell'orecchio medio (orecchio sinistro) (da: Nadol *et al.*).

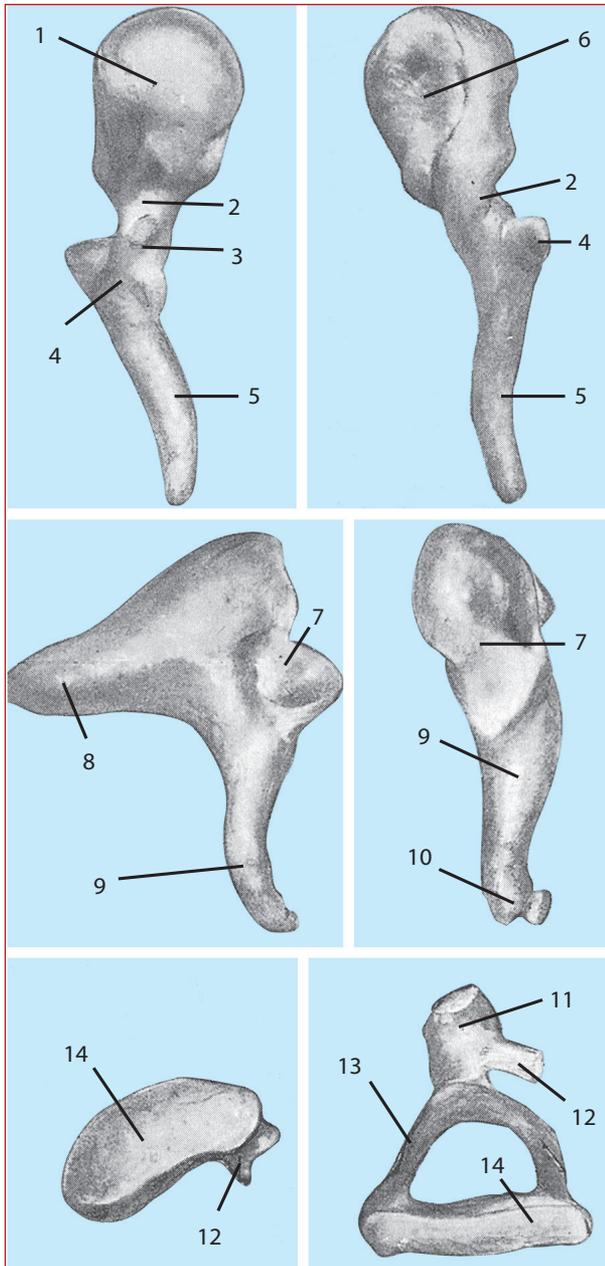


FIG. 1.15. Morfologia degli ossicini delle orecchie. Le due immagini appaiate si riferiscono allo stesso ossicino visto in due differenti proiezioni. Dall'alto in basso sono riprodotti il martello, l'incudine e la staffa: 1) testa del martello; 2) collo del martello; 3) inserimento del legamento anteriore del martello; 4) processo breve del martello; 5) manico del martello; 6) superficie articolare della testa del martello con il corpo dell'incudine; 7) fossa articolare dell'incudine; 8) processo breve dell'incudine; 9) processo lungo dell'incudine; 10) processo lenticolare dell'incudine con la superficie articolare con il capitello della staffa; 11) capitello della staffa; 12) tendine dello stapedio; 13) crura (anteriore e posteriore); 14) platina della staffa.

superficie postero-mediale della testa un'area ellittica che costituisce la superficie di articolazione con l'incudine. Alla testa fa seguito una parte più ristretta, o collo, che si continua in basso con il manico, adeso alla membrana timpanica. La faccia anteriore del corpo dell'incudine si articola con il martello; dalla faccia posteriore si stacca l'apofisi breve unita, a mezzo di un legamento, alla parete posteriore della cassa del timpano. L'apofisi lunga è diretta in basso; nella sua parte terminale presenta il processo lenticolare, che si articola con il capitello della staffa. Il capitello della staffa si continua con due piccoli archi, *crus anterior* e *crus posterior*, che si portano verso la platina. La platina della staffa, contenuta nella nicchia della finestra ovale, ha un contorno ovalare e presenta una faccia laterale, rivolta verso la cassa timpanica, e una faccia mediale, rivolta verso l'orecchio interno. Fra platina della staffa e finestra ovale è interposto un anello fibroso, chiamato legamento anulare della staffa. Gli ossicini sono sottoposti all'azione di due piccoli muscoli:

- 1 il *tensore del timpano*, che si inserisce medialmente al collo del martello;
- 2 lo *stapedio*, che si inserisce sulla *crus posterior* della staffa.

L'apparato mastoideo è costituito da un insieme di cellule ossee che occupano il processo mastoideo. La cellula più grossa è denominata antro e comunica con la cassa del timpano attraverso l'*aditus ad antrum*. Tutto il restante apparato mastoideo è costituito da un insieme di piccole cellule ossee che fanno capo all'antro e che occupano tutto il processo mastoideo, estendendosi fino alla radice dell'osso zigomatico e circoscrivendo il labirinto osseo (FIG. 1.16).

L'epitelio di rivestimento della tuba di Eustachio è costituito da una mucosa di tipo respiratorio, con cellule cilindriche e provviste di ciglia. Nell'orecchio medio l'epitelio è invece formato da una mucosa costituita da uno strato di cellule piatte.

Orecchio interno

L'orecchio interno è costituito da un labirinto osseo e da un labirinto membranoso, tra i quali si interpone lo spazio perilinfatico, nel quale è contenuto un liquido denominato perilinf.

Il labirinto osseo è formato da una cavità centrale, il vestibolo; da esso hanno origine posteriormente i tre canali semicirculari ossei e anteriormente il canale spirale della chiocciola. Il labirinto osseo comunica lateralmente con la cassa del timpano attraverso le finestre ovale e rotonda.

La chiocciola ossea è costituita da un blocchetto osseo di forma conoide, della lunghezza di 1 cm circa,

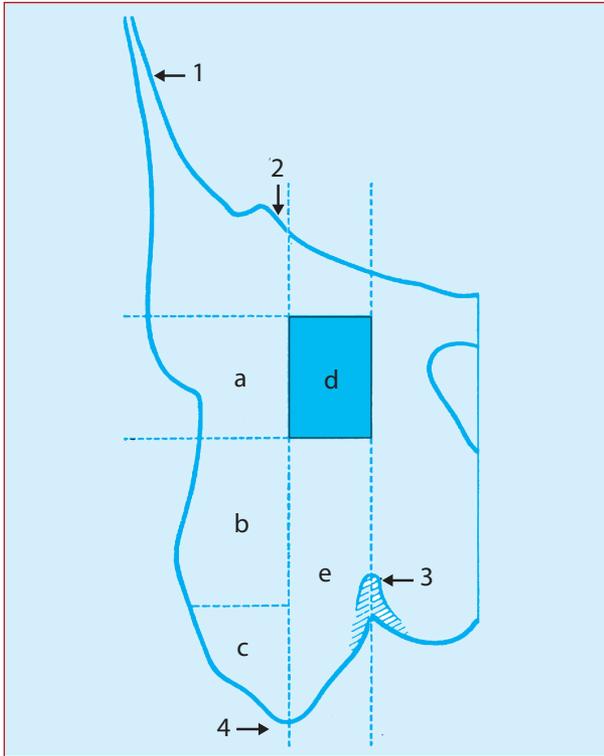


FIG. 1.16. Anatomia dell'apparato mastoideo: 1) squama del temporale; 2) divisione tra cellule mastoidee superficiali e profonde; 3) incisura digastrica; 4) apice della mastoide; a) cellule antrali superficiali; b) cellule sottoantrali superficiali; c) cellule della punta; d) antro mastoideo; e) cellule sottoantrali profonde (intersinuso-faciali).

nel cui interno è scavato il canale spirale della chiocciola. Questo canale si appoggia a un corpo centrale detto modiolo e si sviluppa in tre giri, basale, intermedio e apicale. Dentro il canale osseo vi è una sporgenza ossea, la lamina spirale ossea, sulla quale si inseriscono le strutture membranose della coclea (**FIG. 1.17**).

Nella parte basale del canale spirale si apre l'acquedotto della coclea, canalicolo stretto e lungo la cui estremità mediale è posta sul margine inferiore della rocca petrosa a livello della fossa cranica posteriore. L'acquedotto cocleare pone in comunicazione lo spazio perilinfatico cocleare con gli spazi subaracnoidei, che contengono liquido cefalorachidiano.

Il labirinto membranoso cocleare (canale cocleare), contenuto all'interno della chiocciola ossea, è lungo circa 36 mm e termina in prossimità dell'apice della chiocciola con un'estremità a fondo cieco. Al suo interno contiene un liquido detto *endolinfa*. Il canale cocleare suddivide la chiocciola ossea in due settori definiti *scala vestibolare* e *scala timpanica*, nei quali è contenuta perilinf. Le due scale comunicano fra di

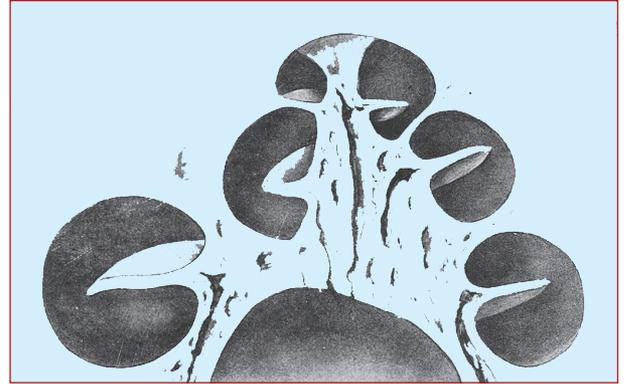


FIG. 1.17. Chiocciola ossea. Si evidenzia il canale osseo in tutto il suo sviluppo, il corpo centrale (modiolo) e il lembo spirale osseo che procede all'interno del canale cocleare.

loro in corrispondenza dell'apice della chiocciola per mezzo di un'apertura detta *elicotrema*. La scala vestibolare comunica con la cavità del vestibolo e con la finestra ovale, mentre la scala timpanica assume rapporto con la finestra rotonda. Il canale cocleare ha forma triangolare (**FIG. 1.18**). Il suo lato esterno, addossato alla parete della chiocciola, è costituito dalla stria vascolare, formata da cellule epiteliali a contatto, in profondità, con un ricco sistema di capillari. Il lato superiore (vestibolare) è costituito dalla sottile membrana di Reissner. Il lato inferiore (timpanico) è costituito dalla membrana basilare, che si presenta come un prolungamento della lamina spirale ossea. La membrana basilare è caratterizzata da una notevole rigidità nella parte più prossimale (più vicina alla finestra ovale) e da una notevole elasticità nella sua parte più distale.

Sulla membrana basilare si appoggia l'organo di Corti. Questo è costituito da una serie di cellule di sostegno che fanno da appoggio per le cellule cigliate interne ed esterne. Le cellule cigliate interne sono disposte in fila singola e sono circa 3500. Le cellule cigliate esterne sono disposte in triplice fila e sono circa 12.000. Insieme, creano un tunnel all'interno del quale circola perilinf (cortilinf).

Le cellule cigliate, interne ed esterne, sono caratterizzate dalla presenza di stereociglia, estroflessioni della membrana cellulare che protrudono nello spazio endolinfatico. Le stereociglia sono circa 50 e disposte longitudinalmente per ogni cellula cigliata interna, mentre sono circa 150 e disposte a W con apice rivolto verso la stria vascolare per ogni cellula cigliata esterna. Le stereociglia si presentano ordinate per file parallele con progressivo aumento di lunghezza (**FIG. 1.19**). Ogni stereociglia è connessa con quella adiacente, appartenente alla fila successiva, mediante un sottile filamento pro-