

Alla scoperta del suono

Alessandro Iscra, Liceo Classico e Linguistico Statale "G. Mazzini", di Genova

Lucia Dragotto, Istituto Comprensivo "S. Teodoro" di Genova

Le vibrazioni

Imparerai da queste pagine che il **suono** e le **vibrazioni** si assomigliano moltissimo, allora prima di scoprire che cos'è il suono, capiamo meglio che cosa sono le vibrazioni e come le percepiamo.

Le **vibrazioni** sono **movimenti** che hanno le seguenti caratteristiche:

- Sono **molto piccole**: l'oggetto che vibra si muove poco, pensa alle ali di un insetto mentre vola, ad una molla di una penna che hai smontato e a cui dai un pizzicotto, al vetro di una finestra quando fuori c'è molto rumore, ecc. In tutti questi casi l'oggetto che vibra si sposta di alcuni centimetri, millimetri, o –addirittura- lo spostamento è così piccolo da essere invisibile ai nostri occhi.
- Sono **rapide**, cioè le vibrazioni si susseguono con un **ritmo tale da non poterle contare**: se provi a contare quanti battiti di ali compie un'ape in un secondo, oppure quante volte vibra una molla pizzicata in un secondo, il ritmo è così veloce da non permetterti di distinguere le singole vibrazioni.
- In **molti casi** le vibrazioni **sono periodiche**, cioè si ripetono con regolarità. In questo caso, il tempo che impiega a compiersi una singola vibrazione si chiama periodo, ed il numero di vibrazioni in un secondo si chiama frequenza.

La frequenza , il periodo e l'hertz

La frequenza dipende dal periodo tramite la formula:

frequenza = 1 : periodo

se un oggetto vibra 100 volte in un secondo, significa che una singola vibrazione si compie in 1/100 di secondo; se un oggetto vibra con un periodo di 1/200 di secondo, significa che in un secondo compirà 200 vibrazioni.

Il numero di vibrazioni al secondo si chiama hertz, quindi da questo momento non dirai più 100 vibrazioni al secondo, ma 100 hertz.

Scoprirai che la frequenza, oppure il periodo, è la caratteristica più importante delle vibrazioni. Se rifletti bene comprendi innanzitutto che parli di vibrazioni solo se la loro frequenza è di almeno 10 hertz.

Come percepiamo le vibrazioni? Le vibrazioni le possiamo **vedere**, se il movimento è di almeno alcuni millimetri; se il movimento è più piccolo e la frequenza è minore di 1000 hertz le possiamo percepire con il **tatto**, ma il nostro senso più sensibile alle vibrazioni è l'**udito**, che riesce a sentire vibrazioni così *piccole* che né la vista, né il tatto riescono a percepire.

? *Cosa sono le vibrazioni?*

Cosa vuol dire vibrazione periodica?

Con quali sensi puoi percepire le vibrazioni?

Se delle vibrazioni hanno un periodo di 0,0002 secondi, quanto vale la loro frequenza?

L'ampiezza delle vibrazioni

Abbiamo più volte parlato di vibrazioni piccole, è arrivato il momento di dare un nome a "di quanto si sposta un corpo quando vibra": se l'ala di un'ape sale e scende di 1 cm, diremo che le sue vibrazioni hanno un'ampiezza massima di 1 cm. Se la stessa ala salisse di 1 cm e scendesse di 1,5 cm, diremo che l'ampiezza massima vale 1,5 cm.

L'ampiezza delle vibrazioni periodiche la definiamo insieme come il massimo spostamento che compie l'oggetto che vibra rispetto a quando è fermo.

L'ampiezza è, dopo la frequenza, la seconda caratteristica importante delle vibrazioni.

Se l'udito è il senso più sensibile alle vibrazioni, allora i suoni sono vibrazioni? Sì, e scopriremo insieme le sue caratteristiche.

Le vibrazioni e il suono

Ti proponiamo alcune semplici esperienze per convincerti che i suoni sono vibrazioni.

Le vibrazioni delle corde vocali: toccati la gola mentre elenchi le note DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI. Ti accorgi che la gola vibra?

Prova adesso ad emettere la "O" più grave che riesci e la "I" più acuta, sempre toccandoti la gola. Riesci a percepire con il tatto che la frequenza della "I" più acuta è maggiore di quella della "O" più grave?

Emetti una vocale a piacere, prima a voce bassissima, poi –sempre la stessa vocale- a voce altissima. Ti accorgi che l'ampiezza delle vibrazioni cambia?

Urla una nota grave con il palmo della mano a 3 centimetri dalla bocca. Senti la mano vibrare?

Appoggia l'orecchio sulla gola di un tuo compagno mentre egli emette una vocale. Ti accorgi di sentire un suono fortissimo?

Fai vibrare altri oggetti, ad esempio trascinando per qualche secondo il banco sul pavimento, batti sul banco con un pugno, ecc. in tutti questi casi l'oggetto vibra ed emette un suono.

Datti un colpetto con le dita sulla testa, ti accorgi di produrre una vibrazione che percepisci come un suono?

Con questi semplici esperimenti avrai capito che il suono e le vibrazioni sono collegati. Adesso rifletti su questi aspetti:

- Perché quando ascolti suoni non fortissimi gli oggetti intorno a te non vibrano?
- Perché se ti tocchi la gola mentre emetti una consonante o un suono sibilato come la "S" non senti la gola vibrare?
- Se i suoni sono vibrazioni, come arrivano a te senza toccare l'oggetto che vibra?

I prossimi due paragrafi risponderanno a queste domande.

La grande sensibilità del senso dell'udito

Perché quando ascolti suoni non fortissimi gli oggetti intorno a te non vibrano? In realtà **in presenza di un suono tutti gli oggetti intorno a te vibrano**, ma **le vibrazioni sono così piccole** che non le riesci né a vedere né a percepire con il tatto; per questo motivo il suono può sembrare diverso dalle altre vibrazioni. Abbiamo

già scritto che per vedere le vibrazioni, il movimento deve avere un'ampiezza di almeno un decimo di millimetro, invece per *toccare* le vibrazioni con il tatto, queste possono essere ampie solo un millesimo di millimetro. Il nostro orecchio è molto più sensibile: il suono entra dall'orecchio esterno e raggiunge una piccola **membrana** che si chiama **timpano** e lo fa vibrare. Tramite alcuni ossicini, le vibrazioni sono trasmesse al **nervo acustico** che ci fa percepire il suono tramite il **cervello**. Il **nervo acustico** è **sensibilissimo**, infatti ci fa percepire il suono se il timpano vibra con un'ampiezza di solo un **miliardesimo di centimetro**, cioè **un centomilionesimo di millimetro!**

Ecco spiegato perché le vibrazioni ed il suono sembrano due cose diverse: il nostro orecchio è **centomila volte più sensibile** alle vibrazioni del nostro tatto. Sappiamo benissimo che quando ci sono dei suoni molto forti, se tocchiamo gli oggetti che ci circondano, alcuni di questi vibrano.

Perché se ti tocchi la gola mentre emetti una consonante o un suono sibilato come la "S" non senti la gola vibrare? Quando emetti le vocali, nella tua gola vibrano le *corde vocali*, che sono vicino alle tue dita che stanno toccando la gola. Quando emetti un suono sibilato, questo viene emesso dentro la bocca, è meno intenso, e le tue dita non riescono ad avvicinarsi a dove nasce il suono.

? Perché i suoni non sembrano vibrazioni?

La frequenza e le note musicali

Pensa alle note musicali, che differenza c'è fra un DO e un LA? **Si tratta della frequenza**: ogni nota musicale ha una sua frequenza, essa potrebbe sostituire il nome della nota, ma il mondo della musica fa parte dell'arte ed è bene che le note conservino il loro nome. Più la **frequenza è grande** più **la nota è acuta o alta**. Alle **frequenze più piccole** corrispondono le **note gravi o basse**. Conosci un solo DO, un solo LA, un solo SI? No, se canti a voce la scala delle note musicali, potrai dire DO, RE, MI, FA, SOL, LA, SI... DO RE MI FA..., riuscendo con la tua voce ad emettere almeno due note che hanno lo stesso nome, ma frequenza diversa. I nomi delle note si ripetono ogni sette e vale la seguente regola: data una nota, se raddoppi la sua frequenza ottieni una nota diversa, ma che ha lo stesso nome di quella di partenza. Per distinguere due note che hanno lo stesso nome, ma frequenza diversa, si usa il termine *ottava*, quindi si dice che il LA della quarta ottava ha frequenza 440 hertz, quindi la nota che la 880 hertz (il doppio di 440) è della quinta ottava; il LA a 220 Hz (la metà di 440) è della terza ottava.

La tabella qui sotto ha **le frequenze** (in hertz) **delle note musicali** dalla seconda alla settima ottava. Come puoi notare, la frequenza per ogni nota raddoppia da una serie a quella successiva (siccome sono riportati solo i valori interi, in alcuni casi sembra che il raddoppio non sia esatto).

Ottava/Nota	2	3	4	5	6	7
DO	65	131	262	523	1046	2093
RE	74	147	294	587	1175	2349
MI	83	165	330	659	1319	2637
FA	88	175	349	698	1397	2792
SOL	98	196	392	784	1568	3136
LA	110	220	440	880	1760	3520
SI	124	247	494	988	1976	3951

? A quale caratteristica del suono sono abbinare le note musicali?

Che cosa succede se la frequenza di una nota musicale viene raddoppiata?

Estendi la tabella

Calcola le frequenze delle note della prima e dell'ottava ottava

Sapendo che le note diesis della quinta ottava hanno le seguenti frequenze: DO#: 554 hertz; RE#: 622 hertz; FA#: 740 hertz; SOL#: 831 hertz; LA#: 932 hertz, costruisci la tabella delle frequenze delle note diesis dalla seconda alla quinta ottava.



Hai a disposizione molti file, ognuno dei quali riproduce per 5 secondi un suono che ha la frequenza indicata dal nome. Ad esempio, il file f440.wav riproduce per 5 secondi la frequenza di 440 hertz che corrisponde alla nota LA della quarta ottava. Chiedi al tuo insegnante come scaricare i file e prova a riprodurre un po' con il tuo telefonino oppure con il tuo computer.

La trasmissione del suono

Quasi tutti gli oggetti trasmettono le vibrazioni, per convincerti di questo esegui i seguenti semplici esperimenti:

Muovi avanti e indietro il fondo di una penna o matita nella direzione della punta. Noti che anche la punta si muove nello stesso modo? Ovviamente sì!

Muovi avanti e indietro il capo di una cordicella lasca, anche l'altro capo si muove nello stesso modo? Probabilmente no.

Muovi avanti e indietro il capo della stessa cordicella di prima, tenuta tesa con l'aiuto di un compagno, anche l'altro capo si muove nello stesso modo? Sì.

Prendi due siringhe di plastica da iniezioni (le più comuni da 5 cc vanno benissimo). Butta subito via l'ago con la sua protezione, perché è molto pericoloso (ti puoi pungere in profondità e prenderti una brutta infezione), taglia con un coltello seghettato la punta di una delle due siringhe, in modo da ottenere un tubicino. In questo tubicino infila due stantuffi, uno da un lato e l'altro dall'altro. Se muovi avanti e indietro uno stantuffo si muove anche l'altro? Sì. Cosa c'è fra i due stantuffi? L'aria!

Nel tubicino di prima, togliti uno stantuffo, riempi lo spazio che rimane con acqua e rimetti lo stantuffo. Se muovi avanti e indietro uno stantuffo, si muove anche l'altro? Sì

Che cosa hai notato con questi esperimenti? Che i **movimenti si trasmettono lungo gli oggetti solidi** (matita e cordicella tesa), **liquidi** (acqua dentro la siringa) e **gassosi** (aria dentro la siringa), **tranne che nella cordicella lasca**. Siccome con le tue mani riesci a fare movimenti con un ritmo troppo lento per poterli chiamare vibrazioni, puoi immaginare che gli stessi oggetti che trasmettono i movimenti lenti, trasmetteranno anche le vibrazioni.



Puoi rispondere adesso alla domanda: se i suoni sono vibrazioni, come arrivano a te senza toccare l'oggetto che vibra? Il **suono arriva alle tue orecchie tramite l'aria**, e fa vibrare il timpano. E' la stessa aria che trasmette il suono dalla bocca al palmo della mano e che lo fa vibrare se urli emettendo una vocale. Al mare, se immergi le orecchie in acqua, senti i suoni dei sassi che muovi con i piedi o sono mossi dalle onde. In questo caso è l'acqua a trasmetterli fino alle tue orecchie. Se appoggi l'orecchio sul banco e batti su di esso con un dito, è il banco a trasmetterti il suono all'orecchio. Con questi esempi ti abbiamo fatto capire che il suono può trasmettersi alle tue orecchie anche tramite i liquidi ed i solidi, ma in questi casi comunque attraverserà una piccola parte di aria: quella che rimane dentro le tue orecchie.

Puoi realizzare il classico gioco del telefono con lo spago: prendo due bicchieri di carta e sul fondo di ciascuno fai un piccolo foro in cui infili dall'esterno i capi di uno spaghino, in modo che i due bicchieri siano collegati con il filo. Fai uno o più nodi all'interno per evitare che lo spago esca dal foro. Tieni il filo teso. Se parli dentro un bicchiere, come se fosse la cornetta di un telefono, un tuo compagno sente la tua voce uscire dall'altro bicchiere. Perché? Il suono che tu emetti, fa vibrare il fondo del bicchiere; lo spaghino teso trasmette le vibrazioni al fondo dell'altro bicchiere che, vibrando, riproduce il suono.



? *Come arriva il suono alle tue orecchie dall'oggetto che vibra?*

Gli infrasuoni e gli ultrasuoni

Prendi un foglio di cartoncino oppure un tuo quaderno e muovilo energicamente avanti e indietro. Mentre fai questo movimento, un tuo compagno tiene di fronte al quaderno che stai muovendo un sottile foglio di carta (come, ad esempio, la carta assorbente o quella igienica) alla distanza di circa 30 cm da te. Noterete che il foglio sottile si muove con la stessa frequenza del quaderno, perché l'aria trasmette questo movimento dal quaderno al foglio sottile. Il movimento del foglio sottile è molto più ampio di quello prodotto dalle vibrazioni.

Perché non si sente un suono assordante? Anche se l'aria trasmette questo movimento ai tuoi timpani, la natura ha voluto che tutti i movimenti che hanno una frequenza più bassa di 16 hertz non sono percepiti come suoni; se non fosse così sentiremmo ogni movimento dell'aria in modo assordante e saremmo sempre disturbati. **Le vibrazioni che giungono al nostro orecchio con una frequenza più bassa di 16 hertz si chiamano infrasuoni.** Quando la frequenza supera i 16 hertz iniziamo a percepire suoni gravi, che diventano sempre più acuti man mano che la frequenza aumenta; quando vengono superati i 20000 hertz, **le vibrazioni non le sentiamo più e si chiamano ultrasuoni.** Infrasuoni ed ultrasuoni possono essere sentiti da molti animali: gli elefanti e i piccioni sentono gli infrasuoni, i cani ed i gatti sentono gli ultrasuoni (i cani fono a 35000 hertz, i gatti fino a 60000 hertz).

? *Inventa e scrivi una frequenza di un infrasuono e quella di un ultrasuono*



Riproduci alcuni file delle vibrazioni a diverse frequenze. Qual è la massima frequenza che riesci a sentire? Confrontala con quella percepita dai tuoi compagni (possibilmente con la stessa ampiezza, cioè riproducendo i suoni con lo stesso volume). Qual è la minima frequenza che riesci a sentire? È vicina o lontana da 16 hertz? Avrai notato che per te gli infrasuoni iniziano ad una frequenza più alta di 16 hertz, probabilmente fai fatica a sentire 30 o 40 hertz. Questo è dovuto a due motivi: per sentire suoni molto gravi la loro ampiezza deve essere molto elevata e gli oggetti che riproducono questi suoni devono essere grossi, le cuffiette o gli altoparlanti delle casse di un computer sono troppo piccoli.

Avrai notato che la massima frequenza che percepite non è la stessa per ognuno di voi: man mano che cresci la massima frequenza che ascolti diminuisce: fino a 20 anni sentirai probabilmente anche 19000 hertz, a 60 anni è già difficile sentire 15000 hertz, perché la membrana del timpano è meno tesa.

La misura dell'ampiezza e il decibel

Quando l'aria trasmette il suono, spinge avanti e indietro gli oggetti colpiti. La spinta che vibra è una forza, proporzionale all'area dell'oggetto colpito dal suono. Una forza proporzionale all'area si chiama pressione. Siccome la forza si misura in newton (1 newton è la forza con cui la Terra su cui viviamo attira un oggetto che ha una massa di 102 grammi) e l'area in metri quadrati, la pressione si misura in newton/metro quadrato. 1 newton/metro quadrato si chiama pascal. Un modo per misurare l'ampiezza del suono è tramite la pressione massima che l'aria esercita mentre vibra. Per misurare l'ampiezza del suono si usa una grandezza che non è proporzionale all'ampiezza; questa grandezza si chiama decibel, ed usa questa regola:

a 0 decibel corrisponde una pressione di 29,7 milionesimi di pascal; ogni volta che la pressione raddoppia, l'ampiezza aumenta di 6 decibel, ogni volta che la pressione decuplica, l'ampiezza aumenta di 20 decibel. Così a 20 decibel abbiamo una pressione di 297 milionesimi di pascal. Per arrivare a 120 decibel si aumenta 6 volte di 20, siccome ogni volta l'ampiezza decuplica, otteniamo $29,7 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 29,7$ pascal, che è una pressione in grado di scuotere il nostro corpo facendolo vibrare. Un suono così intenso inizia a fare male all'orecchio e l'ampiezza di 120 decibel si chiama soglia del dolore. Suoni di ampiezza più bassa di 0 dB sono così deboli da non essere percepiti. L'ampiezza di 0 dB corrisponde alla soglia di udibilità.

Suono tipico	Ampiezza in decibel
Fruscio di foglie	10
Sussurro sottovoce a 1 metro di distanza	10..20
Conversazione a voce	50..60
Strada con molto traffico	70..80
Discoteca	120..130

Il timbro

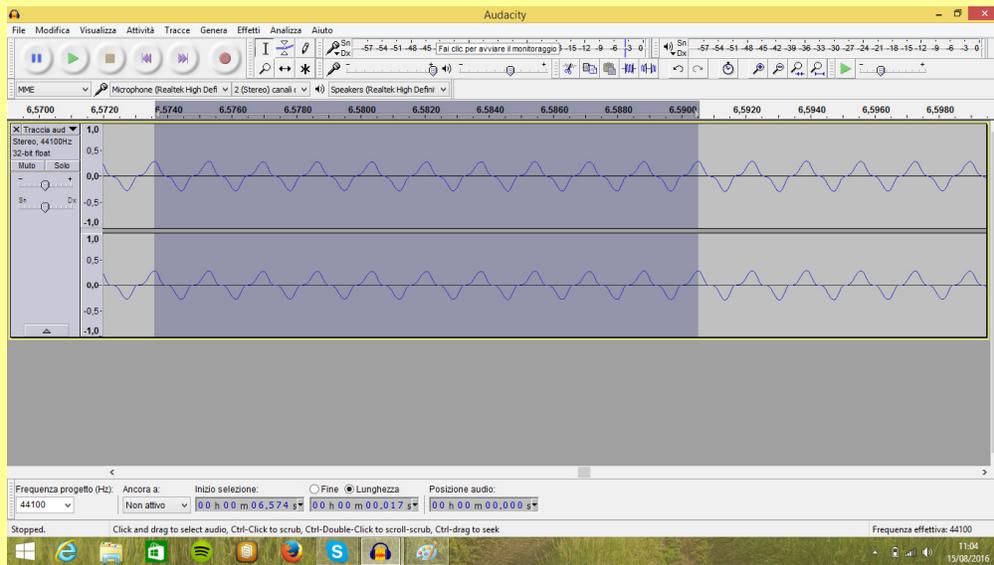
Due note uguali le sentiamo nello stesso modo? No, se fosse davvero gli strumenti musicali non sarebbero così tanti. Se tu e un tuo compagno provate ad emettere la stessa nota *in coro* le vostre voci singole saranno diverse, al punto da farvi riconoscere da un altro compagno che vi sente. Un **LA a 440 Hz di Andrea sarà diverso da un LA a 440 Hz di Marco**. Cosa cambia? Il **modo** in cui **vibra l'aria**. Per capire meglio, prova a generare un infrasuono a 2 hertz spostando avanti e indietro un tuo quaderno due volte al secondo. Puoi fare questo movimento in diversi modi: dolcemente, a scatti e con un'infinità di vie di mezzo fra un movimento dolce ed uno più scattante. Per ciascuna di queste infinità di modi possibili, l'infrasuono generato avrà un timbro diverso... peccato che non lo possiamo sentire per distinguere la differenza.



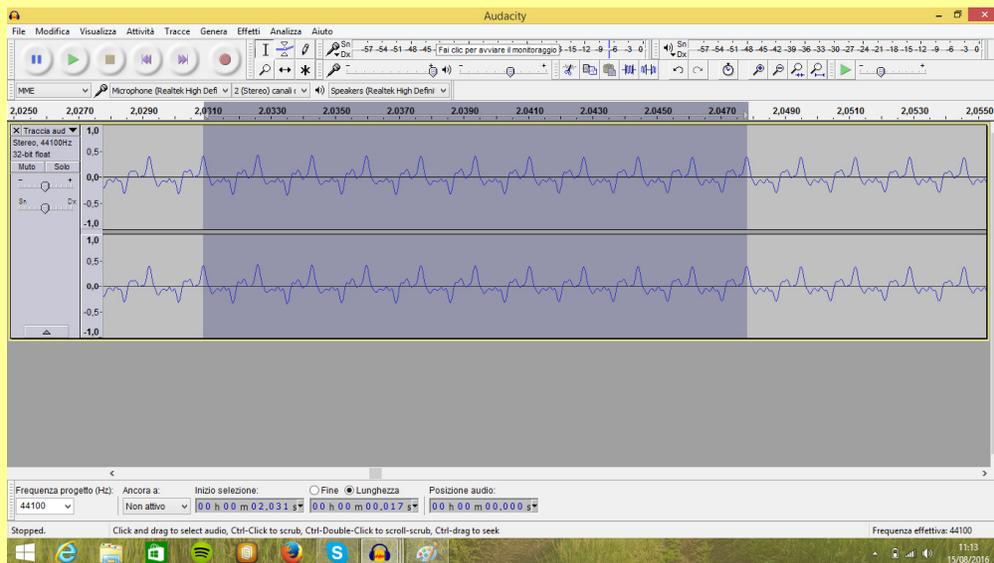
? Perché due vocali uguali emesse da due persone le sentiamo diverse?

Scarica sul tuo computer l'applicazione Audacity, il sito ufficiale è www.audacityteam.org/download/ (l'installazione non è difficile). Questa applicazione gratuita permette di fare molte esperienze interessanti sul suono e sulla musica. Accertati che il tuo PC abbia un microfono collegato (se è un portatile lo avrà già dentro) e registra del suono. Con lo zoom (lente di ingrandimento) potrai vedere la forma delle vibrazioni e, se sono periodiche, potrai misurare approssimativamente il loro periodo e la loro frequenza.

La prima figura di sotto mostra il suono di un flauto, puoi vedere la forma delle vibrazioni che salgono e che scendono allo scorrere del tempo verso destra. Le vibrazioni dell'aria colpiscono una membrana dentro il microfono che assomiglia al timpano di un'orecchia. Il movimento della membrana sposta la traccia in alto e in basso di un numero compreso fra -1 e +1, proporzionale al movimento verso l'interno o l'esterno del microfono. Con il tasto destro del mouse, sono state selezionate dieci vibrazioni. La prima inizia a 0,5735 secondi da quando è iniziata la registrazione. La decima si trova a 0,5905 secondi dall'inizio. 10 vibrazioni durano $0,5905 - 0,5735 = 0,017$ secondi. Una vibrazione dura allora $0,017:10 = 0,0017$ secondi, che è il periodo della nota emessa dal flauto. La frequenza vale $1/0,0017 = 588$ hertz, il RE della quinta ottava.



La seconda figura mostra il suono di una pianola giocattolo che emette la stessa nota del flauto. Verifica che la durata di 10 vibrazioni è la stessa della figura precedente, ma la forma delle vibrazioni è molto diversa. Le stesse note emesse dal flauto e dalla pianola le sentiremo con timbri diversi.



Puoi fare molti esperimenti con il suono e Audacity, ad esempio registrare e vedere la forma delle vibrazioni che emetti quando canti una vocale. Perché le tracce sono due? Le tracce sono due perché quasi sempre i suoni che usi con il PC sono stereofonici. Quando si riproduce la musica stereofonica, l'auricolare sinistro e quello destro della cuffietta suonano in modo diverso, per fare percepire l'effetto ambiente a te mentre ascolti la musica.

Con due microfoni

Se riesci a collegare al tuo computer due microfoni e li metti un po' distanti fra loro (almeno 1 metro) puoi notare che le tracce registrate sono diverse, puoi anche fare suonare due strumenti diversi avvicinandoli molto ciascuno ad un microfono e confrontare le forme delle vibrazioni.

Le onde sonore

Getta un sassolino dentro un bicchiere pieno d'acqua. Cosa osservi? Che appena il sassolino entra nel bicchiere l'acqua esce **immediatamente**: il sassolino entrando nell'acqua la sposta e la fa uscire. Ripeti l'esperimento facendo cadere il sassolino al centro di una bacinella rotonda piena d'acqua, vedrai che il sassolino produce delle **onde** che **impiegano un po' di tempo a raggiungere i bordi**.



Batti le mani o fai scoppiare un palloncino vicino a te: lo scoppio lo senti immediatamente. Con l'aiuto di un tuo compagno fai scoppiare un palloncino ben visibile a cento metri di distanza in un posto silenzioso da poter sentire lo scoppio da così lontano. Ti accorgerai che **passa qualche frazione di secondo da quando vedi il palloncino scoppiare a quando senti lo scoppio**.



Come le increspature dell'acqua causate dal sassolino impiegano tempo a spostarsi verso i bordi,

anche le vibrazioni dell'aria impiegano tempo a spostarsi. Si dice che le increspature dell'acqua e il suono sono onde ed hanno una loro velocità. Le onde provocate dal sassolino percorrono meno di un metro in un secondo. Il **suono è molto più veloce**: la sua velocità nell'aria vale circa **330 metri al secondo**.

? Perché da quando vediamo un fulmine a quando sentiamo il tuono possono passare alcuni secondi?

Dai metri al secondo ai chilometri all'ora

Nelle scienze fisiche si usa misurare la velocità in metri al secondo, ma sei sicuramente più abituato a misurarla in chilometri all'ora. Quanti secondi ci sono in un'ora? 3600, quindi se percorri 1 metro in 1 secondo, percorri 3600 metri in un'ora, cioè 3,6 km in un'ora; quindi ad ogni metro al secondo corrispondono 3,6 km all'ora. La velocità di 330 metri al secondo corrisponde a $330 \times 3,6 = 1188$ chilometri all'ora. I mezzi di trasporto che usiamo ogni giorno viaggiano a velocità più basse di quella del suono. Alcuni aerei da guerra, razzi, missili ed i proiettili che escono da un'arma da fuoco superano la velocità del suono e si chiamano oggetti supersonici



Puoi capire meglio cos'è un'onda se tutti gli studenti di una classe si dispongono in fila "a trenino": il compagno dietro tiene le braccia tese ma non troppo sulle spalle del compagno che sta davanti a lui. Al battito di mani dell'insegnante, l'ultimo alunno si piega avanti e torna subito indietro. L'alunno che sta davanti ripete lo stesso movimento, e così via. L'insegnante filma tutto. Il film mostrerà il simpatico fenomeno di un'onda, che non corrisponde ad un movimento del trenino, dato che i piedi di ogni alunno rimangono fermi.

La riflessione del suono

Quando le onde provocate dal sassolino nella bacinella raggiungono il bordo, non spariscono, ma ritornano indietro. Si dice che le **onde** sono **riflesse dagli oggetti**. Anche il suono quando colpisce un oggetto viene

riflesso. La riflessione può essere minima, consistente o completa a seconda dell'oggetto. Pareti soffici, come la stoffa, riflettono poco il suono, mentre muri rigidi lo riflettono meglio. Quando il tuo insegnante spiega in classe, la sua voce arriva più volte alle tue orecchie perché oltre a quella che arriva direttamente dalla sua bocca, c'è anche quella che rimbalza sui muri dell'aula. Questo *miscuglio* lo percepisci come un **rimbombo** ed è quello che rende brutte le canzoni in ambienti chiusi. Se all'aperto parli verso un'unica parete lontana da te almeno 16,5 metri, senti il **fenomeno dell'eco**, che il tuo cervello riesce a percepire se il **suono riflesso arriva a te almeno un decimo di secondo dopo che tu l'hai emesso**. Se la parete che riflette il suono è lontana 16,5 metri, il suono percorrerà 16,5 metri per viaggiare da te alla parete ed altri 16,5 metri per tornare indietro; il suo percorso totale è lungo 33 metri. Siccome il suono impiega 1 secondo per percorrere 330 metri, allora impiega 1/10 di secondo per percorrerne 33.

? Descrivi il fenomeno dell'eco. Perché la parete che riflette il suono deve essere almeno 16,5 metri lontana da te?

Percepire l'ambiente tramite il suono

Se ti metti una benda, puoi provare se sei bravo ad orientarti tramite i suoni. Se parli in una stanza silenziosa, il rimbombo o l'eco ti aiutano a capire se la stanza è grande o piccola, non riesci ad evitare oggetti o persone in questo modo. L'udito non sostituisce la tua vista, ma alcuni animali possono emettere una grande varietà di suoni ed hanno orecchie che gli permettono di capire molto meglio di te da dove sono riflessi i suoni: è il caso dei pipistrelli, che sono bravissimi ad emettere ultrasuoni ed a capire dove sono gli oggetti che li riflettono. Così riescono a vedere il mondo che li circonda tramite i suoni: volano al buio e cacciano in questo modo le prede per nutrirsi.

Le imbarcazioni usano il suono per misurare quanto è profondo il fondale: un dispositivo elettronico emette onde sonore verso il fondale e misura il tempo impiegato per essere riflesso. Conoscendo la velocità del suono nell'acqua è facile misurare quanto è profondo il fondale marino.

La velocità del suono

Se nell'aria la velocità del suono vale circa 330 metri al secondo (cambia con la temperatura e con la pressione), **nelle altre sostanze è diversa**, ecco alcuni esempi:

sostanza	velocità del suono
anidride carbonica	260 metri al secondo
elio	970 metri al secondo
acqua	1500 metri al secondo
acciaio	6000 metri al secondo

? La velocità del suono è la stessa in tutti i gas?

Gli strumenti musicali e la risonanza

Ci sono tantissimi strumenti musicali: meccanici ed elettronici. Gli strumenti musicali producono il suono **perché qualcosa vibra**. Nelle chitarre a vibrare sono delle corde molto sottili che, da sole, producono un suono molto debole. Le onde sonore entrano tramite un foro nella cassa di risonanza della chitarra e, dentro, si riflettono molte volte. Ad alcune frequenze le onde si rafforzano e così la chitarra emette un suono molto più intenso di quello che emetterebbero le corde vibranti senza cassa. Il fenomeno è simile al

funzionamento dell'altalena: se spingi un'altalena in modo disordinato e casuale, l'ampiezza del dondolo è piccola, ma se dai piccole spinte al ritmo delle sue oscillazioni, riesci ad aumentare tantissimo l'ampiezza. I fischi e le canne d'organo usano la risonanza per aumentare l'ampiezza del suono generato dal sibilo dell'aria attraverso una strozzatura. Il sibilo contiene tantissime frequenze, ma solo di alcune l'ampiezza viene esaltata dal fenomeno della risonanza.

? A che cosa serve la cassa di una chitarra?



Dentro un sottile tubicino aperto, le onde sonore rimangono un po' imprigionate: rimbalzano avanti e indietro e solo una porzione esce dal tubo facendosi sentire. Il periodo della risonanza è quattro volte il tempo impiegato dal suono per attraversare il tubo quattro volte (intuitivamente penseremmo due, ma la dimostrazione matematica è troppo complicata). Battendo un tubo con le mani, o soffiando dentro di esso "di striscio" si può emettere una nota musicale. Se il tubo è lungo 18,75 centimetri = 0,1875 metri ed il suono viaggia a 330 metri al secondo, questo percorrerà l'intero tubo in un tempo di $0,1875:330 = 0,00056818$ secondi. Il periodo vale $4 \times 0,00056818 = 0,0022727$ secondi. La frequenza di risonanza vale $1/0,0022727 = 440$ hertz che corrisponde alla nota LA della quarta serie. Con l'aiuto del tuo insegnante puoi tagliare tubicini (del diametro da uno a due centimetri) per realizzare le note musicali che vuoi. Nella tabella trovi le lunghezze per le note FA, SOL, LA, SI della quarta ottava. Se costruisci questi tubicini puoi realizzare una semplice melodia sonora.

Lunghezza	Frequenza	Nota
23,6 cm	349 hertz	FA
21,0 cm	392 hertz	SOL
18,75 cm	440 hertz	LA
16,70 cm	494 hertz	SI

Il microfono e l'altoparlante

Se vuoi trasmettere il suono molto lontano, le vibrazioni non riescono a raggiungere grandi distanze, allora conviene trasformarle in elettricità. Per questo scopo si usano i microfoni. I più semplici microfoni hanno una membrana che vibra e, tramite un semplice dispositivo, produce elettricità: un segnale elettrico molto debole, che non è in grado di accendere una lampadina. È facile trasportare un segnale elettrico a grandi distanze tramite due fili conduttori elettrici. Se il segnale diventa troppo debole, si può aumentare la sua ampiezza tramite un dispositivo elettronico che si chiama amplificatore. Un segnale elettrico amplificato dall'amplificatore può essere applicato ad un altoparlante: questo possiede una membrana che si mette a vibrare seguendo l'ampiezza del segnale elettrico, che viene di nuovo convertito in suono. Una cuffietta è formata da due auricolari. Un auricolare è un altoparlante in miniatura, che emette un suono molto debole, ma che possiamo sentire come molto forte perché viene emesso dentro le nostre orecchie.



L'effetto doppler

Sei in spiaggia ed osservi che le onde del mare arrivano con una frequenza di un sesto di hertz, cioè fra un'onda e l'altra passano 6 secondi. Ti tuffi in acqua e nuoti verso il largo. La frequenza con cui ti investono le onde aumenta, perché fra un'onda e la successiva, tu ti sei spostato verso dove l'onda passa prima. Se adesso nuoti rapidamente verso riva, tenti di "scappare" dalle onde. Se sei più lento di loro, la frequenza con cui ti investono diminuisce, fino a ridursi a zero se sei un bravo surfista e "calvalchi l'onda" muovendoti alla sua stessa velocità. La stessa cosa succede per il suono: se corri verso l'oggetto che emette il suono, senti questo più acuto, viceversa se ti allontani lo senti più grave. Una cosa simile succede se l'oggetto che emette il suono si avvicina o si allontana da te. Se l'oggetto che emette in suono si avvicina verso di te, questo "rincorre le sue onde" e tu percepirai una frequenza più alta di quella che emette, viceversa sentirai una frequenza più bassa. Ti accorgi di questo fenomeno quando incroci un mezzo di soccorso con le sirene in funzione.

Riassunto

I suoni sono vibrazioni, prodotte da un oggetto che vibra. Le caratteristiche del suono sono l'ampiezza, la frequenza e il timbro. L'ampiezza indica se un suono è intenso o debole, la frequenza –che ha senso solo se le vibrazioni sono periodiche- indica quante vibrazioni ci sono in un secondo e si misura in hertz. La durata di una vibrazione periodica si chiama periodo. Il timbro dipende da come vibra il corpo che emette il suono. A differenza delle vibrazioni che vediamo o tocchiamo quelle dei suoni possono essere molto piccole e le sentiamo perché le nostre orecchie sono estremamente sensibili. Le frequenza dei suoni periodici caratterizza le note musicali. Una nota si distingue per il suo nome e la sua ottava. Mantenendo lo stesso nome, se una nota aumenta di un'ottava, la sua frequenza raddoppia. Il nostro orecchio percepisce vibrazioni di frequenza fra 16 hertz e 20000 hertz. Vibrazioni di frequenza più piccola di 16 hertz si chiamano infrasuoni, quelle di frequenza maggiore di 20000 hertz si chiamano ultrasuoni. I suoni si trasmettono tramite i corpi solidi, liquidi e gassosi: arrivano dagli oggetti che vibrano alle nostre orecchie tramite l'aria. La trasmissione dei suoni richiede tempo, infatti i suoni si trasmettono come onde, che nell'aria hanno una velocità di circa 330 metri al secondo. Le onde hanno la caratteristica di essere riflesse dai corpi e questo ci fa percepire l'effetto dell'eco e del rimbombo. In una cassa o in un tubo le onde sonore rimbalzano avanti e indietro con un ritmo regolare, questo permette di aumentare l'ampiezza di una nota musicale generata da una debole vibrazione, come quella di una corda di chitarra. Il microfono e l'altoparlante sono stati inventati per trasmettere il suono tramite l'elettricità: il microfono trasforma le vibrazioni in segnali elettrici, l'altoparlante trasforma i segnali elettrici in suoni. Se ci muoviamo rispetto all'oggetto che emette il suono oppure se l'oggetto si muove rispetto a noi, la frequenza dei suoni cambia, il fenomeno si chiama effetto doppler.