

Alfonso Lucifredi

Marco Ranoisio

## PHYSIX 'N' ROLL - ascoltaRE LA fiSica

*Un viaggio attraverso il mondo delle note, dei suoni, della musica in compagnia della scienza*

<http://festivalscienza.it/it/festival2007/evento.php?id=15>



Un'ampia branca della fisica prende il nome di 'Acustica' e studia tutti i fenomeni legati al mondo dei suoni. L'idea di questa mostra è di portare al pubblico una parte delle conoscenze di questo immenso campo di studi grazie al linguaggio universale della musica.

Non è nostra intenzione né obiettivo cercare di toccare tutti gli argomenti fondamentali di due tematiche così ampie e complesse, ma di rivelare al pubblico che in realtà i punti in comune tra scienza e musica non sono pochi, e che con l'utilizzo di semplici esperimenti e strumenti, e soprattutto con la nostra curiosità, possiamo scoprire alcuni affascinanti segreti del mondo dei suoni e delle sette note.

Andiamo per ordine: la scienza ci insegna che quando parliamo di "suono" ci riferiamo ad un fenomeno percepito dal senso dell'udito e tramutato da esso in impulsi codificati dal nostro cervello; tale fenomeno dipende da un'unica grandezza: la pressione che l'aria esercita sul timpano del nostro orecchio.

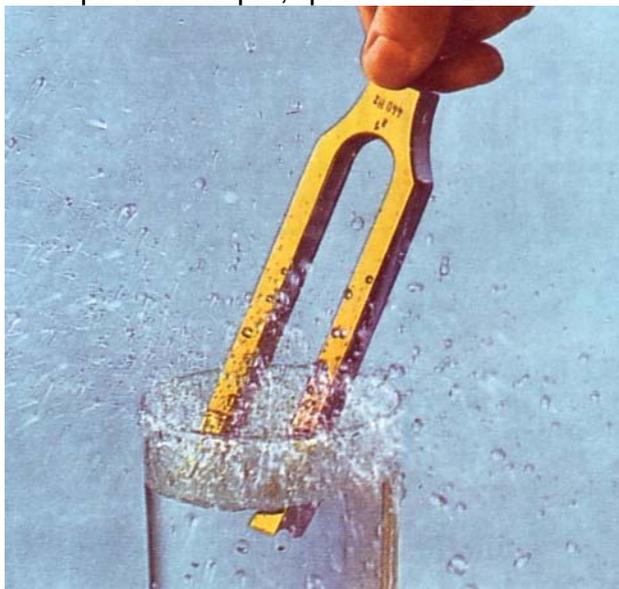
Un segnale acustico è difatti generato dalle oscillazioni di un corpo elastico che agiscono sulle molecole del mezzo circostante e le fanno comprimere e dilatarsi ripetutamente, generando in tal modo delle onde sonore. Tale fenomeno viene generato dalla trasmissione del movimento da una molecola a quelle vicine; la trasmissione avviene nello spazio, fino a giungere alla membrana del nostro timpano, dove giungono oscillazioni generalmente simili a quelle originarie.

Il suono è dunque un **fenomeno ondulatorio**, come la luce o le onde elettromagnetiche. Le onde sonore hanno alcune caratteristiche specifiche che è bene tenere presente: innanzitutto sono longitudinali, il che significa che le oscillazioni che le generano si muovono nella stessa direzione della propagazione; avvengono senza trasporto di materia, ma solo con la trasmissione del movimento di oscillazione tra molecole circostanti; sono sferiche, ovvero si diffondono nello spazio in tutte le direzioni; infine, ed è un elemento estremamente importante, si diffondono in tutti i mezzi possibili, ma non nel vuoto assoluto, a causa dell'assenza di materia.

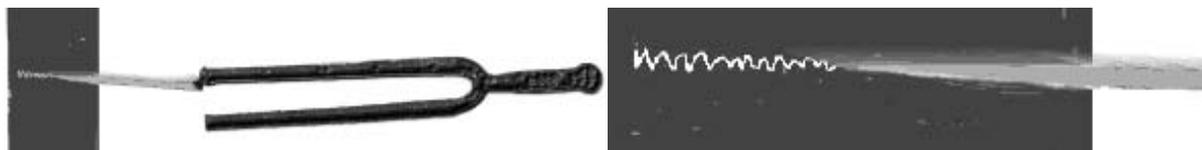
La velocità di propagazione del suono dipende dal mezzo in cui si diffonde; in linea generale più questo è compatto, e quindi più compresse sono le molecole che lo compongono, più rapido è il segnale. Questo è il motivo fondamentale per cui la velocità di propagazione del suono nell'aria (340 m/s) è tra le più basse, se paragonata ad altri mezzi di trasmissione comuni come l'acqua (1500 m/s) o l'acciaio (5200 m/s). Se utilizziamo un'asta di legno appoggiata da un lato ad una vecchia sveglia, dall'altra al nostro orecchio, con questa sentiremo il suono dell'orologio molto più chiaramente: questo perché il legno trasmette il suono con molta più nitidezza e minor dispersione dell'aria. Anche il nostro senso dell'udito utilizza per la trasmissione e decodificazione dei suoni tre ossicini posti in sequenza: incudine, martelletto e staffa. In ogni caso, la propagazione del suono avviene senza spostamento di materia.

Un semplicissimo esperimento può verificare la natura ondulatoria del suono: un imbuto collegato dal beccuccio ad un tubo di gomma, e alla cui estremità larga è stato fissato un foglio di carta con una manciata di sale sulla superficie, che vibrerà se si emettono suoni cantando o parlando (senza soffiare) dal tubo. In questo caso è il suono stesso che fa muovere i granelli.

Anche la vibrazione (generalmente non visibile) di un diapason ci conferma tale natura: se lo mettiamo in contatto con una pallina appesa questa rimbalzerà lontano dal diapason in vibrazione, e mettendolo dentro una vaschetta piena d'acqua, questa schizzerà via con forza.



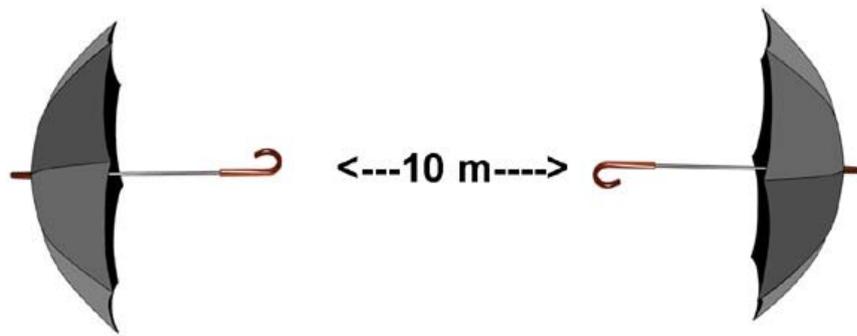
Un altro esperimento richiede sempre l'utilizzo di un diapason, con uno dei rebbi (le braccia vibranti) saldato, posto in vibrazione e fatto scorrere su un vetrino affumicato: questo lascia una traccia che ha una forma chiaramente riconducibile al grafico di un'onda.



L'emissione sonora dipende anche dal mezzo che la origina: in linea generale, più è compatto, o breve se di forma allungata, più frequenti saranno le onde e quindi le loro frequenze, e di conseguenza più alto il suono. Lo possiamo verificare 'suonando' i calici di vetro riempiti d'acqua a diverse altezze, oppure facendo vibrare aste metalliche di differente lunghezza.

La propagazione del suono offre vari spunti di sperimentazione: convogliando opportunamente le onde è possibile creare esperienze originali: una di queste sono le 'parabole acustiche': posizionando due ombrelli aperti, uno verso l'altro, a una distanza di alcuni metri, è possibile sentire distintamente il suono emesso da una radiolina posta all'interno di uno dei due ascoltando all'interno

del secondo ombrello.



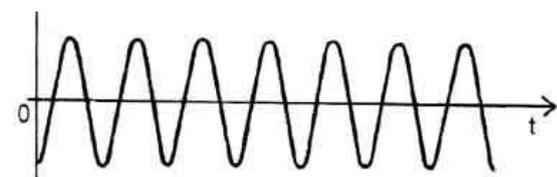
Anche i due classici bicchieri collegati da uno spago possono permettere una trasmissione sonora sufficientemente chiara, pur utilizzando un mezzo di trasmissione molto piccolo e limitato.

Modificando l'ambiente di propagazione anche il suono può cambiare: se emettiamo una nota cantando costantemente e nello stesso tempo muoviamo la mandibola, ci accorgeremo che il suono cambia leggermente. Su un principio simile si basa l'effetto '**talkbox**', lanciato negli anni '70 dal cantautore americano Peter Frampton, che permette di far 'parlare' la chitarra e le tastiere, amplificando il loro suono all'interno di un tubo che convoglia il suono dentro la bocca, la quale poi lo modula con i suoi movimenti. Il suono risultante è una via di mezzo tra lo strumento originario e la voce umana. Su un modello simile si basa il suono dello **scacciapensieri**, il quale utilizza la cavità della bocca sia come cassa di risonanza che come strumento di modulazione delle note. La curiosità principale circa questo strumento, oltre al fatto di essere apparso in forme simili in varie parti del mondo grazie alla sua facilità di creazione (è noto come *Jew's harp* o *gewgaw* in Inghilterra, *marranzanu* in Sicilia, *trunfa* in Sardegna, *munharpe* nei paesi nordici, e ne esistono versioni simili in India, nel Tibet, in Giappone, in Siberia e in altre zone ancora), è il fatto di essere un idiofono, ovvero uno strumento il cui suono viene prodotto dalla sua stessa vibrazione, senza corde o membrane. Altri esempi di strumenti idiofoni sono le maracas, le nacchere, lo xilofono, la marimba.

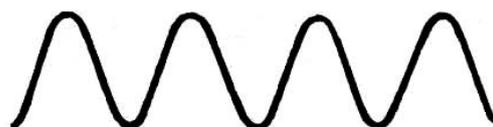
I suoni 'riflessi' dalle superfici generano invece l'**eco**, fenomeno percepibile dall'uomo alla distanza minima di 17 metri dagli ostacoli che lo riflettono: il motivo è dato dal tempo di propagazione del suono stesso nell'aria (340 m/s), la distanza percorsa (34 m minimi) e la sensibilità dell'orecchio umano, che non distingue due suoni differenti per intervalli inferiori a 0,1 secondi (quindi il tempo necessario per percorrere 34 m).

La posizione relativa dell'ascoltatore rispetto alla sorgente sonora, data la caratteristica propagazione longitudinale del suono, modifica leggermente il timbro risultante: un suono emesso da un oggetto in avvicinamento risulta più acuto dell'originale, in allontanamento più grave. Il tipico esempio è dato dal passaggio delle sirene delle macchine della polizia o dei pompieri. Questo è il celebre **effetto Doppler**, che prende il nome dallo scienziato tedesco che lo studiò per primo.

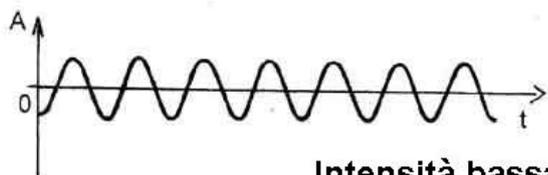
Ci tocca a questo punto affrontare il punto più 'fisico' dell'intero argomento: le caratteristiche delle onde sonore. Ne abbiamo due fondamentali: la **frequenza** (ovvero il numero di singole onde ripetute per unità di tempo, misurato in Hertz), e l'**ampiezza**, ovvero il valore massimo rispetto allo zero raggiunto dalla cresta della singola onda (misurato generalmente in decibel). Beninteso, ci occupiamo in questo caso di onde periodiche, ovvero emesse con frequenza e ampiezza regolare, e non di aperiodiche, che sostanzialmente generano rumore e non una tonalità ben definita.



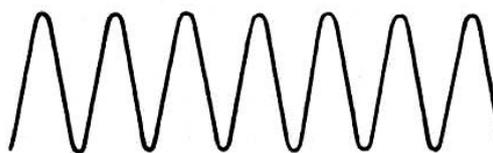
**Intensità alta**



**Frequenza bassa**



**Intensità bassa**



**Frequenza alta**

A queste due grandezze fisiche ne possiamo affiancare un'altra che non può essere quantificata con unità di misura, ma identifica la forma dell'onda, è riconoscibile visivamente e varia da strumento a strumento: questa caratteristica prende il nome di **timbro**. Strumenti differenti che emettono la stessa nota alla stessa intensità hanno in ogni caso timbri diversi.



**Nota emessa da un flauto**



**Nota di uguale intensità e altezza emessa da un violino**

Possiamo studiare tutte queste caratteristiche con semplici esperimenti: un particolare effetto (generalmente usato su chitarra o tastiere, ma non solo), è il "*pitch shifter*", che sostanzialmente cambia la frequenza del suono originale, abbassando o alzando la sua tonalità di intervalli definiti. Questo può produrre effetti particolarmente divertenti se applicati alla voce umana. Una curiosità: notoriamente inalando dell'elio la voce umana diventa più acuta per alcuni secondi. Ciò non è dovuto ad una temporanea modificazione delle corde vocali (l'elio è un gas inerte), ma al cambiamento di densità del mezzo in cui sono immerse (da aria ad elio), con conseguente cambiamento della loro frequenza di vibrazione.

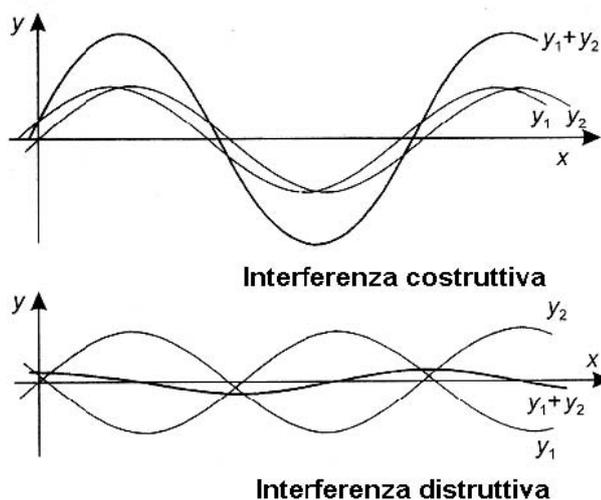
Per cambiare invece l'ampiezza dell'onda sonora, e quindi il volume, non occorre un megafono elettronico, ma la sua forma ci suggerisce che la propagazione del suono all'interno di un imbuto riesce ad aumentare l'ampiezza dell'onda risultante che esce dalla imboccatura più ampia.

Per quanto riguarda il **timbro**, basta suonare la stessa nota o accordo su due strumenti diversi per rendersi conto che questo varia a seconda dell'oggetto che la genera. Anche la voce può essere modificata parlando in un microfono coperto da un foglio di carta velina: si tratta di un semplice fenomeno di distorsione, e lo stesso principio avviene nella chitarra elettrica, dove un suono meno cristallino e definito genera note più potenti e aggressive, pur se sulla stessa tonalità.

Un esempio di distorsione della voce umana viene fornita dal **kazoo**, che non è uno strumento a fiato (bisogna parlarci dentro e non soffiare), ma un *membranofono* (strumento a membrana), in cui la voce dell'esecutore sollecita una piccola membrana tesa che vibrando aggiunge frequenze di disturbo a quelle originarie, generando un suono della voce modificato. La famiglia di membranofoni

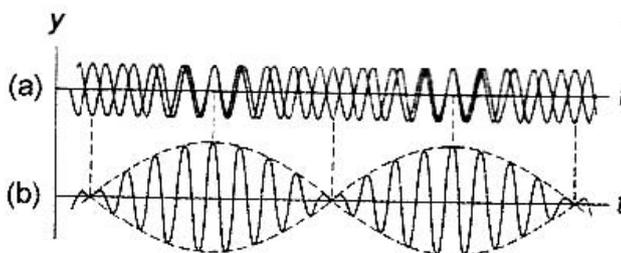
a cui appartiene il kazoo prende il nome di *mirliton*, l'altra grande categoria in cui questi strumenti sono classificati è quella dei tamburi, nei quali la membrana viene percossa con differenti oggetti.

La sovrapposizione di due o più suoni ne genera un terzo, definito *risultante*, che è dato dalla somma o sottrazione dei suoni che lo generano, in base alle loro ampiezze nei singoli momenti. Per onde di uguale frequenza si possono avere **interferenze costruttive** se il suono risultante ha ampiezza maggiore (dato dalle somme delle onde originarie) o **distruttive** (se dato dalla differenza tra le loro ampiezze). Nel primo caso l'ampiezza risultante è maggiore delle originarie, nel secondo è minore.



Un oggetto che vibra può emettere un suono, ma si può anche verificare l'esatto opposto: un segnale sonoro può far vibrare un oggetto nelle vicinanze. Tale fenomeno è detto **risonanza**, e si può verificare ponendo a contatto un diapason in vibrazione con la cassa armonica (che ha esattamente la funzione di amplificare e rafforzare il suono) di un violino o di una chitarra, o anche avvicinando ad esso un altro diapason non vibrante.

Un tipo di interferenza particolare si verifica nel caso di interazione tra onde aventi identica ampiezza e frequenza appena differente. La risultante in tal caso presenta frequenza costante, e intensità che varia nel tempo. Il segnale sonoro che ne risulta ha continue variazioni di volume, definite **battimenti**.



Accordando una chitarra si può verificare l'effetto suonando la corda da regolare insieme ad un'altra già accordata. Quando la tonalità corretta è raggiunta, i battimenti spariscono.

Sullo stesso principio si basa lo strumento 'scientifico' per eccellenza, ovvero il **Theremin**, il quale, tramite l'utilizzo di segnali provenienti da due oscillatori elettronici miscelati correttamente dal movimento delle mani nell'aria, genera dei battimenti nel capo dell'udibile. Non a caso questo strumento venne ideato da uno scienziato, il fisico russo Leon Theremin. Esso fu il primo strumento musicale elettronico della storia, venne difatti creato nel lontano 1920, ancor prima della chitarra elettrica o dell'organo Hammond.



Il theremin ha una struttura piuttosto semplice, essendo costituito da una parte centrale di dimensione variabile contenente le parti elettroniche, e da due antenne, di cui una verticale posta al lato destro dell'esecutore, e una orizzontale e di forma semicircolare al lato sinistro. Per controllare e modificare il suono l'esecutore allontana e avvicina le mani dalle due antenne, per controllare l'intonazione dal lato destro, per modificare il livello di volume dal lato sinistro. Oltre alla particolarità di essere l'unico strumento musicale al mondo che si suona senza essere toccato, il theremin possiede anche il fascino di essere particolarmente difficile da suonare, in quanto è necessario basarsi unicamente sul proprio orecchio per poter ottenere suoni di una tonalità ben definita. A livello di timbro il suono che viene prodotto, che è un'unica nota per volta (non possono essere prodotti accordi), può variare tra la voce femminile e il violino.

Il theremin ha avuto un ampio utilizzo nelle colonne sonore dei film di fantascienza, ma anche nei thriller e nelle produzioni che richiedevano ambientazioni particolarmente sinistre o misteriose. È frequentemente utilizzato dai musicisti di strada per il suo grande impatto visivo. Alcuni gruppi e artisti rock come i Led Zeppelin (in *Whole lotta love*), i Portishead, i Queens of the Stone Age, la Jon Spencer Blues Explosion, Serj Tankian, e gli italiani Le Vibrazioni ne hanno utilizzato differenti modelli, dal vivo o in studio. L'esempio più celebre di melodia creata col theremin è però la sigla iniziale della serie originale di *Star Trek*, seguita da quella dei cartoni animati di *Scooby Doo*.

Il principio del funzionamento fu scoperto da Theremin durante alcuni esperimenti militari in cui utilizzava amplificatori a valvole: i suoni che questi generavano potevano in certi casi essere modificati muovendo le mani all'interno del campo magnetico generato dalle valvole. Il modello iniziale dello strumento era particolarmente voluminoso, ma aveva sostanzialmente le stesse caratteristiche dei modelli attuali, e prese il nome originale di *eterofono* (che però venne presto ribattezzato theremin per la grande popolarità riscossa negli anni dal suo inventore).



Theremin stesso era un musicista (suonava il violoncello) e presentò la sua invenzione nei circoli musicali che frequentava, dove ottenne un grande interesse. Lo stesso Lenin lo contattò poco tempo dopo per organizzare un vero e proprio tour delle capitali europee in cui presentare lo strumento, principalmente per motivi propagandistici e di immagine della Russia postrivoluzionaria. Ovunque lo strabiliante strumento venne presentato il suo successo fu enorme; a Parigi addirittura nacquero dei disordini causati da migliaia di persone che non erano riuscite ad accedere al teatro in cui aveva luogo l'esibizione. Nel 1928 Theremin presentò il proprio strumento a New York a un ristretto gruppo di musicisti e magnati, tra cui Arturo Toscanini ed Henry Ford. Ben presto venne creata un'azienda per la costruzione e la commercializzazione dell'eterofono (ribattezzato proprio in questa occasione col nome di theremin), i cui diritti vennero poi venduti anche alla major RCA. Ad un enorme successo di pubblico non corrispose però un risultato commerciale di uguale livello, dati gli elevati costi dello strumento (i modelli attuali non utilizzano tecnologia a valvole ma a transistor, che li rende molto più economici), e la crisi economica di quegli anni, in seguito al crollo della borsa del 1929.

Robert Moog, tra i primi e più importanti creatori di sintetizzatori musicali, conobbe personalmente Theremin e da lui imparò i segreti per produrre lo strumento nella maniera ottimale. La Moog è tuttora la più importante casa costruttrice di theremin, e tra le poche esistenti al mondo. Sono molto diffusi anche i theremin artigianali, che sono spesso più economici (in certi casi invece delle antenne vengono utilizzate delle fotocellule), e a volte vengono venduti anche come kit ancora da assemblare.

Tra i pochi virtuosi dello strumento la più celebre è sicuramente Clara Rockmore, una musicista russa che abbandonò la sua attività di violinista per motivi di salute, e si dedicò interamente al nuovo strumento. Tra i più celebri thereministi attuali vi è sicuramente la russa Lidia Kavina, discendente dello stesso Theremin.

Dal punto di vista elettronico lo strumento è suddiviso in due stadi: il primo contiene due oscillatori che generano frequenze identiche nel campo degli ultrasuoni (nel modello Etherwave Standard della Moog sono nell'ordine dei 290 KHz). Uno dei due è però collegato ad un condensatore connesso direttamente all'antenna destra. Muovendo la mano, che è un conduttore, all'interno del campo magnetico generato dall'antenna, è possibile modificarlo ed in tal modo si cambia anche capacità del condensatore collegato all'antenna: la capacità è funzione della frequenza, che pertanto viene modificata. Abbiamo quindi due segnali simili, ma con una leggera differenza di frequenza, generati da due oscillatori, nel campo degli ultrasuoni. Ad esempio nell'Etherwave Standard abbiamo l'oscillatore fisso che produce 290 KHz, quello collegato all'antenna che genera un ultrasuono variabile tra 287 e 290 KHz. Entrambe le frequenze non sono udibili, ma l'interferenza tra le due genera un terzo suono dato dalla loro differenza, che va a ricadere nel campo dell'udibile, nel nostro esempio tra 0 e 3 KHz (anche se tra 0 e 20 Hz si tratta di infrasuoni, e quindi non udibili). Il campo magnetico in prossimità dell'antenna genera note sempre più acute più ci si avvicina ad essa. Superata una certa distanza (zona dello zero) il campo si inverte, e le note diventano più acute se invece ci si allontana dall'antenna. Il secondo stadio dello strumento converte la frequenza di battito prodotta in una tensione ad essa proporzionale; modificando il campo magnetico generato dall'antenna orizzontale (anche in questo caso avvicinando o allontanando la mano) si modifica l'altezza (volume) del suono generato dal primo stadio. Con la mano posta all'interno dell'antenna il

volume si azzera. Passato il secondo stadio, il suono deve essere amplificato da un sistema esterno. I thereministi utilizzano di solito un amplificatore come *monitor* per sentire perfettamente le note suonate, non avendo riferimenti visivi precisi e dovendosi basare principalmente sul proprio orecchio.

Con sufficiente pratica è possibile imparare le principali tecniche utilizzate per suonare strumenti più classici tipo violino o pianoforte, come lo staccato, il legato, il vibrato, il tremolo. Lo strumento offre inoltre un'ampia estensione, riuscendo a coprire circa 5 ottave (più di una chitarra).

I modelli più recenti di questo strumento dispongono di potenziometri che permettono di regolare la forma dei due campi magnetici generati dalle antenne (a seconda che il musicista preferisca compiere movimenti più o meno ampi) e anche la forma delle onde generatrici, in maniera tale da modificare il timbro del suono.

Una curiosità riguardante il *range* delle frequenze udibili riguarda il fatto che questo può variare leggermente con l'età, in particolare per quanto riguarda toni particolarmente alti (intorno ai 20 KHz, limite degli ultrasuoni). Fino ai 18-20 anni inoltre, se si è particolarmente fortunati, si possono percepire frequenze leggermente più alte, prima che l'impianto uditivo completi il suo accrescimento e cominci ad usurarsi. Un celebre caso venne fornito dai *Welsh boys*, due ragazzi che millantarono doti di telepatia e divennero celebri comunicando tra di loro senza emettere apparentemente alcun suono: in realtà il loro trucco risiedeva nell'utilizzo di un fischietto ad ultrasuoni collegato ad una pompetta ed opportunamente nascosto col quale riuscivano a parlare in codice Morse, e il cui suono soltanto loro erano in grado di sentire. Di recente sono state anche commercializzate suonerie per cellulari che operano su frequenze estremamente alte, e che in teoria dovrebbero essere udite unicamente dai teenagers (*Teen Buzz*).

Quando invece parliamo di **infrasuoni** ci riferiamo invece a tutte quelle frequenze delle onde sonore comprese tra 0 e 20 Hz, quindi al di sotto della soglia di sensibilità dell'orecchio umano. Sebbene l'uomo non sia in grado di percepirle, molti altri animali non solo riescono a sentirle bene, ma le utilizzano anche per comunicare. Tra gli esempi meglio conosciuti ci sono le balene (in particolare le megattere), gli elefanti, gli ippopotami, i rinoceronti e gli okapi, ma anche animali di taglia molto più piccola, come piccioni, faraone, merluzzi, seppie, polpi, calamari e galli cedroni eurasiatici.

La particolarità delle onde sonore di frequenza bassa è di avere una lunghezza d'onda molto ampia: quelle che l'uomo riesce a distinguere meglio col proprio impianto uditivo hanno una lunghezza d'onda che varia da un massimo di un metro fino a un minimo di minuscole frazioni di centimetro. Al contrario le onde infrasonore hanno lunghezze che variano dalle decine di metri fino ai chilometri, e questo è un grande vantaggio a livello comunicativo: questo tipo di frequenze, infatti, non subisce le perturbazioni o l'attenuazione (se non in misura minore) da parte di ostacoli che invece bloccano frequenze più alte. Il motivo è che la capacità di un oggetto di riflettere un'onda sonora dipende dal rapporto tra la lunghezza d'onda e le dimensioni dell'oggetto stesso. Per questo motivo piccoli oggetti non hanno capacità di bloccare le onde infrasonore, mentre bloccano e riflettono le onde di frequenza più alta. Anche le molecole d'aria assorbono una buona parte dei suoni ad alta frequenza, lasciando praticamente inalterati i gli infrasuoni.

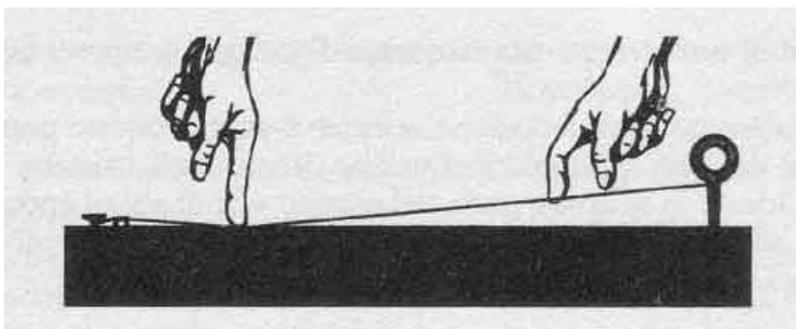
Inoltre, per gli stessi motivi, i suoni molto bassi possono coprire distanze notevoli: ad esempio sentiamo il rombo di un tuono, ma non sentiamo lo schianto del fulmine (a meno che non sia caduto molto vicino a noi), oppure sentiamo i suoni bassi provenienti dallo stereo di un'automobile al suo esterno, ma non gli acuti più alti (che vengono riflessi e rimangono dentro).

Al di sotto dei 20 Hz comunque riusciamo a percepire qualcosa, non con il nostro apparato uditivo ma con il petto, che rivela tali vibrazioni: ad esempio le esplosioni dei fuochi d'artificio, o il contraccolpo dato da alcuni impianti di amplificazione particolarmente potenti, come ad esempio quelli utilizzati – volutamente - al cinema, per ottenere un maggior coinvolgimento degli spettatori.

Un altro vantaggio riguarda le distanze coperte da questo tipo di forme di comunicazione:

generalmente, un suono parte dalla sua sorgente e si diffonde in tutte le direzioni in maniera sferica, se non viene deviato. Una forma a imbuto (ad esempio la tromba) può convogliare la diffusione del suono e migliorarla, ma in ogni caso il suo volume si attenua rapidamente, generalmente di sei decibel ogni volta che il percorso raddoppia. Gli infrasuoni invece possono propagarsi per chilometri restando pressoché invariati. Si è calcolato che gli infrasuoni generati dagli elefanti abbiano una potenza analoga a quella del tuono, e possano essere uditi dai propri conspecifici anche a 4 Km di distanza, grazie anche al fatto che ostacoli come cespugli o alberi non li perturbano minimamente. Stessa cosa per gli ippopotami, che utilizzano comunicazioni infrasonore sott'acqua lungo il corso dei fiumi, e che pare siano in grado di riconoscere distintamente a più di un chilometro di distanza; in tal caso, gli ippopotami sfruttano anche la velocità di propagazione nel mezzo liquido, quattro volte superiore rispetto all'aria, e una dispersione del suono molto minore.

La musica e la creazione di un sistema di notazione fisso e funzionale ha avuto una storia lunga e travagliata, e tuttora in evoluzione. In tutte le culture del mondo però sono nate indipendentemente forme di espressione musicale simili, basate su alcuni principi fisici piuttosto semplici. Tra i primi a studiare i rapporti fisici tra le note vi fu Pitagora, che creò uno strumento dotato di un'unica corda (*monocordo*) per poter studiare le relazioni fisiche tra i differenti suoni. Tale strumento è stato ribattezzato '**chitarrina pitagorica**', e consiste in un asse di legno con una corda tesa tra un occhiello rialzato e una puntina.



Sulla base di legno, tra i due estremi dello strumento, c'è un metro che permette la misurazione del tratto di corda suonato. La prima semplice scoperta che venne fatta con questo strumento è che a un tratto di corda breve corrisponde un suono acuto, ad un tratto lungo un suono grave; da ciò si deduce che la frequenza delle oscillazioni (e quindi l'altezza del suono) è inversamente proporzionale alla lunghezza di corda che la genera. Ciò che venne in seguito scoperto da Pitagora (e da tutte le popolazioni mondiali in tempi differenti) fu la comparsa di suoni 'simili' per lunghezze ben definite: ad esempio per una corda suonata a vuoto e esattamente alla sua metà, a un quarto della lunghezza, o a un ottavo, etc.

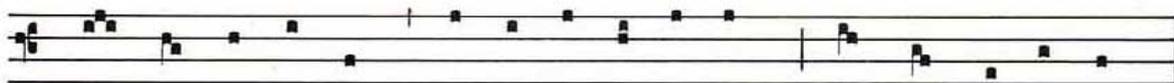
Al perfezionamento dei sistemi di notazione contribuì il monaco benedettino **Guido d'Arezzo**, nato ad Arezzo nel 995 e morto ad Avellino nel 1050, che per primo definì il metodo di notazione del *tetragramma* (dal greco *tetra*=quattro e *gramma*=segni, linee), un insieme di quattro linee su cui venivano riportate sei note: UT RE MI FA SOL LA.

I nomi di queste note derivavano da un inno composto nell'VIII secolo da Paolo Diacono, l'Inno a San Giovanni:

### Notazione quadrata



Ut que-ant la-xis Re-so - ná-re fi-bris, Mi-ra ge - sto-rum Fa-mu-li tu - o - rum,



Sol - ve pol-lu - ti La-bi - i re - a - tum, San - cte Jo - an - nes.

### Inno a San Giovanni (Notazione moderna)



Ut que-ant la - xis Re-so-na-re fi-bris, Mi ra ge - sto-rum Fa-mu-li tu - o - rum,



Sol - ve pol-lu-ti La-bi - i re - a - tum, San - cte Jo - an - nes.

*Affinché i tuoi servi, a gola spiegata, possano esaltare le tue gesta meravigliose, toglì, o San Giovanni, ogni impurità dalle loro labbra.*

Queste sillabe non si chiamano più *neumi* bensì *note* (**Nota** = appunto, annotazione).

Il nome **SI** dato al settimo suono venne aggiunto successivamente ricavandolo dalle iniziali di **S**ancte **J**ohannes.

Alla fine del XVI secolo UT venne trasformato in DO (da Giovanni Battista Doni) e le note da quadrate divennero prima romboidali ed infine tonde, e si aggiunse una quinta linea al tetragramma, ottenendo il definitivo *pentagramma* tuttora in uso.

Tutti questi miglioramenti ebbero origine dal sistema ideato da Guido d'Arezzo, che pertanto si può ben definire il fondatore della moderna notazione musicale.

Per secoli non venne trovato un sistema di notazione fisso e affidabile che non generasse imprecisioni muovendosi lungo l'intero arco delle note. Quello che diede i risultati migliori, ed è tuttora in uso, stabilì la suddivisione della tonalità tra due suoni 'simili' consecutivi (detta comunemente un'ottava) in dodici intervalli equidistanti, a cui corrispondessero pertanto dodici note. Delle 12 note che compongono un'ottava 7 vengono indicate con nomi semplici, mentre le restanti 5 con il prefisso *b* (bemolle o *flat*) o # (diesis o *sharp*).

Nella notazione occidentale, sebbene con nomi diversi (Do, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si nei paesi latini, A, B, C, D, E, F, G in quelli anglosassoni, dove le scale cominciano dal La (A)), le note corrispondono a valori 'assoluti' di frequenza in Hertz, stabiliti per convenzione.

Frequenza sonora (in Hz)	Nota musicale corrispondente
262	DO
277	DO# o Reb
294	RE
311	RE# o Mib
330	MI
349	FA
370	FA# o SOLb
392	SOL
415	SOL# o Lab
440	LA
466	LA# o Sib
494	SI
524	DO
554	DO# o Reb
588	RE
622	RE# o Mib
660	MI
698	FA
740	FA# o SOLb
784	SOL
830	SOL# o Lab
880	LA
932	LA# o Sib
988	SI
1048	DO

Si può notare che il valore di frequenza di una nota alta corrisponde al doppio della nota equivalente dell'ottava precedente; inoltre, il rapporto tra due frequenze successive equivale ad un valore fisso, ovvero la radice dodicesima di 2 (circa 1,059). Questo sistema venne proposto da Andreas Werckmeister nel 1691, e fu subito appoggiato da Johann Sebastian Bach, ed è tuttora il metodo di riferimento in vigore nel mondo occidentale.

Dalla concezione di un insieme di 12 note assolutamente equivalenti nacque inoltre il sistema dodecafonico, un nuovo metodo di composizione musicale, introdotto da Arnold Schoenberg agli inizi del '900 e che rivoluzionò la musica moderna, ma questa è un'altra storia...