

FISICAST

per  
**SxT**

# Il suono

di  
Giovanni Organtini



## **Il suono**

*Giovanni Organtini e Gianluca Li Causi*

### **Abstract:**

**Che cos'è il suono? Come si produce la voce e come arriva alle nostre orecchie? E cos'è che distingue gli strumenti musicali? In questa puntata ci immergiamo nella fisica del suono con spiegazioni ed esperimenti.**

### **INIZIO**

**Introduzione: Tutti conosciamo la musica e proviamo piacere ad ascoltarla, ma cos'è realmente il suono? Come si produce in uno strumento e come facciamo a percepirlo? Ce lo spiega Giovanni Organtini, professore dell'Università La Sapienza di Roma.**

*Toccata e fuga di Bach*

**C: ...wow! Che capolavoro!**

G: ...e pensare che è frutto soltanto di impercettibili vibrazioni dell'aria, che si propagano come onde nello spazio!

**C: Oh, ma certo che tu non perdi occasione per smontare la magia di qualsiasi evento con le tue spiegazioni scientifiche! Ma goditi la musica! E lascia stare la fisica per una volta, no?**

G: Guarda che io la musica me la godo più di te! Dove mai si è visto che si gode meglio di uno spettacolo vedendone solo la metà?

**C: Che vuoi dire?**

G: Che tu di questo capolavoro ti godi soltanto la componente, diciamo così, sensoriale, quella che percepisci con le tue orecchie. Io invece, oltre a quella, posso apprezzare anche la meraviglia delle leggi fisiche che stanno alla base della produzione e della propagazione di questi suoni.

Insomma, io godo non solo della percezione del suono, ma anche della sua conoscenza! Posso quasi vederlo, io, il suono di quest'organo...

**C: Ohi! Comincio ad essere invidiosa... voglio vederlo anch'io questo suono. Posso?**

G: Certo che puoi! E come te potranno farlo tutti gli ascoltatori di FISICAST se registriamo questo colloquio.

**C: ...guarda che lo sto già facendo eh! Ormai ho imparato che quando si chiacchiera con te non bisogna farsi sfuggire niente...**

G: Ah, brava! Allora cominciamo a capire cos'è il suono e come lo percepiamo.

**C: Son tutta orecchi!**

G: E' proprio il caso di dirlo! (*Risate*) Facciamo così: prova a dire "aaaaaa".

**C: "aaaaaa"**

G: quando emetti questo suono senti che dai tuoi polmoni esce aria, che attraverso la trachea giunge alla laringe e infine passa nella cavità orale per poi uscire dalla bocca.

**C: Certo. Quindi è l'aria che esce dalla bocca che produce il suono?**

G: Non esattamente. È facile mostrare che non è il flusso d'aria che esce dalla bocca a provocare un suono: quando spegni le candeline della tua torta di compleanno, mica senti qualcosa?

**C: A parte gli applausi dei mie amici, no, in effetti...**

G: E d'altra parte puoi emettere suoni anche a bocca chiusa. Prova a dire "aaaaa" tenendo la bocca chiusa.

**C: "aaaaaa"... sì il suono è un po' diverso, ma è chiaro che non è l'aria che esce dalla mia bocca a produrre il suono.**

G: Infatti il suono è provocato dalla vibrazione delle corde vocali, che sono membrane elastiche che si trovano nella laringe. Quando espelli l'aria dai polmoni questa passa attraverso lo spazio esistente tra due di queste membrane, che sono affacciate l'una all'altra. Uno dei lembi delle corde vocali non è fisso e quindi è sospinto dall'aria verso l'alto. Però le membrane sono elastiche e perciò subito dopo la membrana torna al suo posto (anzi, va un po' più giù). Se continui a espellere aria mantenendo in tensione le corde vocali questo movimento continua e con esso l'emissione del suono.

**C: E quanto velocemente vibrano queste membrane?**

G: Le corde vocali vibrano rapidamente, tra gli 80 e i 200 Hz, che vuol dire tra 80 e 200 vibrazioni al secondo. La voce degli uomini ha frequenze inferiori, con tonalità crescenti dal "basso" al "baritono" e al "tenore", mentre quella delle donne ha frequenze più alte, crescenti dal "contralto" al "mezzosoprano" al "soprano": i cosiddetti "registri vocali".

L'aria che espelli quindi, non serve di per sé a produrre il suono, ma serve a spingere le corde vocali in modo da farle vibrare. Se fossimo in grado di mettere direttamente in oscillazione le corde vocali con la muscolatura, non avremmo bisogno di farci passare l'aria attraverso per emettere i suoni. Ma non siamo fatti così e la muscolatura delle corde vocali è soltanto in grado di tenderle più o meno intensamente per variarne l'elasticità modulando la spinta del flusso d'aria.

**C: Però questa vibrazione si deve trasmettere fino al mio orecchio, altrimenti non sentirei nulla!**

G: E' giusto. L'oscillazione delle corde vocali si trasmette a quella delle particelle d'aria circostanti. Quando le corde vocali vanno su l'aria nella bocca vicino la laringe è spinta in quella direzione. Questo spostamento provoca una riduzione della pressione vicino alla laringe, cosicché le molecole di aria che si trovano lì vicino vengono risucchiate indietro. Così facendo le particelle di aria vanno su e giù alla stessa frequenza con la quale oscillano le corde vocali e, a loro volta, urtano le molecole a loro adiacenti, che dunque fanno altrettanto producendo quella che in fisica si chiama un' "onda longitudinale".

**C: Un'onda d'aria? Come le onde del mare?**

G: Sí e no. Le onde del mare sono "onde trasversali", mentre quelle sonore sono "onde longitudinali".

**C: E cioè?**

G: Pensa alla propagazione delle onde sulla superficie di uno stagno: le onde si espandono sul piano orizzontale, ma l'acqua oscilla secondo la verticale. Onde così sono chiamate "trasversali".

Nel caso delle onde "longitudinali", invece, l'oscillazione ha la stessa direzione della propagazione dell'onda, come avviene appunto nell'onda sonora che viaggia dalla tua bocca alle mie orecchie facendo oscillare le molecole dell'aria nella stessa direzione.

Per farla semplice, pensa alla membrana di un grosso altoparlante, si vede benissimo che fa: oscilla energeticamente spingendo l'aria e risucchiandola indietro ed è così che produce l'onda sonora nell'aria.

**C: Oh capito.**

G: C'è anche un'altra differenza tra le onde su uno stagno e le onde della tua voce: le prime si espandono a cerchio, in due dimensioni, dal punto dove sono state generate, mentre le seconde si propagano tridimensionalmente, espandendosi a sfera attraverso il volume d'aria che ti circonda.

Puoi visualizzarle come una serie di gusci sferici, che si espandono dalla tua bocca, nei quali l'aria è alternativamente compressa e rarefatta.

**C: Ok. Però poco fa abbiamo fatto quell'esperimento di dire "aaaa" con la bocca chiusa e tu mi sentivi lo stesso anche se le molecole d'aria nella mia bocca non potevano certo urtare quelle dell'aria esterna!**

G: E' vero. Ti sentivo lo stesso perché quando le particelle di aria che vibrano nella tua bocca urtano sulle labbra chiuse e le mettono a loro volta in vibrazione. E fanno lo stesso con le pareti interne della tua cavità orale e poiché questi tessuti sono mezzi elastici l'onda di compressione si trasmette attraverso di essi, e anche attraverso le ossa del cranio, mettendo infine in vibrazione l'intera superficie esterna della tua testa. È questa vibrazione che fa oscillare le particelle d'aria che si trovano all'esterno, attraverso le quali il suono giunge fino al mio orecchio.

**C: ...ma che dici! La tua faccia mica vibra mentre parli!**

G: Lo dici tu. Vibra eccome! Solo che l'ampiezza di questa vibrazione è così piccola che non riesci a vederla.

**C: ...accidenti, non l'avrei mai detto! E quando l'onda sonora arriva alle tue orecchie che cosa succede?**

G: Succede la stessa cosa che succede nella tua bocca quando emetti suoni a bocca chiusa. L'aria che vibra impercettibilmente vicino al mio orecchio ne urta il timpano, che è una sottilissima membrana elastica, mettendolo in movimento alla stessa frequenza. Il timpano, attraverso una catena di ossicini, genera delle piccole onde in un fluido, presente nell'orecchio interno, nel quale sono immersi i recettori dell'udito. Si tratta di piccolissime ciglia, che seguono il movimento di queste ondate, collegate a cellule nervose che inviano al cervello uno stimolo diverso a seconda della loro frequenza di oscillazione. È così che percepisci il suono.

**C: Wow! Sembra complicatissimo!**

G: E allo stesso tempo semplice. Per produrre un suono devi semplicemente mettere in vibrazione qualcosa, devi fare in modo che questa vibrazione si propaghi alle zone circostanti e infine rivelare questa vibrazione nello stesso modo: facendo vibrare il ricevitore alla stessa frequenza.

In effetti, se togliessimo uno solo di questi elementi non udremmo più alcun suono. Se per esempio togliessimo l'aria da questa stanza il suono non potrebbe più propagarsi e anche se tu urlassi io non sentirei nulla!

**C: E' vero. Ricordo un esperimento a scuola nel quale si metteva un campanello sotto una cupola di vetro, nella quale poi si faceva il vuoto**

**con una pompa. Si vedeva che il campanello suonava, ma non si sentiva nulla.**

G: Infatti. Su questo punto quasi tutti i film di fantascienza che si vedono al cinema contengono un errore madornale. Nello spazio, dove non c'è un'atmosfera attraverso la quale far propagare il suono, non si possono sentire le esplosioni! Si vedono, ma non si sentono. L'unico film che mi ricordo in cui questa condizione è riprodotta realisticamente è il capolavoro di Kubrick: "2001, odissea nello spazio".

**C: Non ci avevo mai fatto caso, ma pensa tu! E dunque, tornando a dove avevamo cominciato, come si produce il suono dell'organo?**

G: Facendo vibrare l'aria presente all'interno della canna, che poi è lo stesso principio col quale funzionano tutti gli strumenti a fiato.

**C: E perché le canne dell'organo sono così diverse l'una dall'altra?**

G: Il suono prodotto da una canna dipende dalla sua lunghezza. In una canna d'organo, infatti, si producono quelle che i fisici chiamano "onde stazionarie".

**C: Stazionarie? Stazionario vuol dire "che non si muove", non mi sembra un aggettivo adatto a un'onda...**

G: Eppure è così. In generale, un'onda si propaga liberamente procedendo lungo una certa direzione, ma se a un certo punto incontra un ostacolo viene riflessa e torna indietro. Avrai visto per esempio che le onde di uno stagno si riflettono sulla riva o se incontrano una roccia che sbucca dall'acqua.

**C: Sì, certo.**

G: Anche in una corda di chitarra succede la stessa cosa quando l'onda incontra il punto dove la corda è bloccata, sul ponticello. In quel punto, chiamato "nodo dell'onda", la corda non può oscillare e l'onda si riflette tornando indietro, opposta all'onda incidente. La sovrapposizione di queste due onde, chiamate "onda diretta" e "onda riflessa", crea un'oscillazione nulla nei due nodi alle estremità e massima al centro della corda.

**C: ...e ora mi dirai che in una canna d'organo avviene lo stesso che una corda di chitarra...**

G: Esattamente. Ora ti spiego come funziona una canna d'organo, che altro non è se non un tubo, solitamente di legno o di metallo e solitamente posto in verticale, con un taglio, detto "labium", vicino all'estremità inferiore. Soffiando aria nella canna dall'estremità vicina al labium, si produce un flusso d'aria che viaggia velocemente da sotto in su. Per il teorema di Bernoulli, di cui abbiamo

parlato nella puntata sul volo, quest'aria in moto crea una depressione che richiama aria dall'esterno, attraverso il labium, ed è lì che si genera il suono.

### **C: Quindi il labium funziona un po' come la laringe umana?**

G: Sostanzialmente sì. L'aria in ingresso nel labium provoca una compressione locale dell'aria nella canna che, alternandosi alla depressione precedente, si propaga lungo il tubo nel quale è costretta, risalendo la canna fino all'estremità superiore.

Qui la canna può essere chiusa o aperta. Se è chiusa, in questo punto si avrà un "nodo", cioè un punto in cui la vibrazione dell'aria si annulla e l'aria rimane ferma poiché l'onda di pressione arrivata lì non può propagarsi oltre (anzi si riflette indietro). In prossimità del labium invece avremo un "ventre" dell'onda, cioè un punto in cui l'ampiezza di vibrazione dell'aria è massima.

### **C: E se la canna è aperta?**

G: Se è aperta, avremo un ventre anche all'estremità superiore poiché l'aria, trovando sbocco all'esterno è massimamente libera di muoversi.

Naturalmente, il suono prodotto dipenderà dalla lunghezza della canna.

### **C: E perché mai?**

G: Il motivo è semplice. L'onda sonora è un'alternanza di nodi e ventri e il movimento dell'aria cambia verso da un ventre al successivo. La distanza tra due ventri concordi si chiama "lunghezza d'onda" e caratterizza la tonalità del suono: se la lunghezza d'onda è grande percepiamo un suono grave, se è piccola percepiamo un suono acuto. Perciò la tonalità di una canna d'organo dipende dalla distanza tra nodi e ventri nella sua cavità, che come abbiamo visto si trovano al labium e all'estremità. Perciò ad una canna lunga corrisponde un suono basso e ad una canna corta un suono acuto. Per l'esattezza la lunghezza d'onda è 4 volte la lunghezza di una canna chiusa e due volte la lunghezza di una canna aperta.

### **C: Ah, ecco. Canna lunga suono grave, canna breve suono acuto.**

G: Esatto. Ed è facile dimostrarlo.

### **C: Ah sì?**

G: Hai mai soffiato dentro il cappuccio di una penna a sfera?

### **C: Sì! Si sente un bel fischio...**

G: Guarda un po'. Ne ho uno. Proviamo?

**C: Dai!**

G: *Fiiiiii!* Sentito che suono acuto con questa lunghezza del cappuccio?

**C: Se il cappuccio fosse più lungo il suono quindi avrebbe una lunghezza d'onda maggiore...**

G: ...e quindi sarebbe più basso. Vogliamo provare?

**C: ...con cosa?**

G: Con il cappuccio di un pennarello, come questo.

**C: Fai collezione di tappi di penne e pennarelli?**

G: È che li uso per fare lezione ai miei studenti. Senti qua: *Fiiiiii!*

**C: È vero, è più basso.**

G: Questo spiega perché le canne degli organi hanno diversa lunghezza, come dicevamo. Possiamo anche far la prova di una canna d'organo aperta. Useremo queste cannuce per le bibite.

**C: Addirittura!**

G: Sì. Prima devo fare in modo che la cannuccia possa suonare. Ricordi il meccanismo della laringe, no?

**C: Sì, nella laringe ci sono le corde vocali che sono un lembo di tessuto elastico che deve vibrare al passaggio dell'aria.**

G: Ecco. Noi dobbiamo realizzare quella che si chiama un' "ancia". Usando le forbici devo sagomare una delle estremità della cannuccia in modo che termini a punta. Così... Poi devo schiacciare le due porzioni di cannuccia rimaste a forma di triangolo l'una contro l'altra, anche con i denti, così...

In questo modo soffiando tra questi due lembi si produce un flusso d'aria molto veloce che, per effetto Venturi, risucchia i due lembi facendoli sbattere tra loro. Tocandosi i due lembi interrompono il flusso d'aria e quindi, non essendo più risucchiati tra loro, si riaprono per la loro elasticità lasciando nuovamente passare il flusso, che li risucchia di nuovo ripetendo questo ciclo finché continui a soffiare. Questa vibrazione si trasmette all'aria circostante producendo il suono.

**C: Come in un clarinetto!**

G: Proprio così. Ora metto l'ancia in bocca e l'unica difficoltà consiste nel trovare la posizione nella quale l'ancia vibra bene. Devo schiacciare



leggermente la cannuccia tra i denti e soffiare, muovendo avanti e indietro la cannuccia. A un certo punto la sentirete suonare. Proviamo... *Peeeeee!*

**C: Ahah! È divertente!**

G: Lo sarà ancor di più tra poco. La lunghezza d'onda del suono che hai sentito è pari a due volte la lunghezza della cannuccia. Se la cannuccia fosse più corta lo sarebbe anche la lunghezza d'onda del suono emesso che quindi risulterebbe più acuto.

**C: Basterà tagliare la cannuccia per dimostrarlo.**

G: È esattamente quel che voglio che tu faccia. Man mano che io suono tu tagli un pezzo di cannuccia. Pronta?

**C: Vai.**

*Giovanni suona mentre Chiara taglia*

**C: Bellissimo!**

G: Tutti gli strumenti musicali impiegano tecniche simili. Per esempio, in un pianoforte le corde sono vincolate agli estremi e il suono prodotto dipende essenzialmente dalla lunghezza della corda (e in misura minore dalla sua tensione e dalla densità del materiale di cui è fatta). Più la corda è lunga più è basso il suono prodotto, perché la lunghezza d'onda sarà sempre pari al doppio della lunghezza della corda.

**C: È in questo modo, se capisco bene, che si producono le diverse note con un violino o una chitarra, giusto?**

G: Sì. Il musicista cambia la lunghezza effettiva della corda pigiandola con un dito. Su un violino la corda sta ferma sul ponticello e nel punto in cui il musicista preme col polpastrello. La lunghezza d'onda prodotta è pari al doppio della distanza tra questi due nodi. Cambiando la posizione del polpastrello cambia la lunghezza della corda e quindi la nota prodotta.

**C: Però non mi torna una cosa: una canna d'organo e una corda di chitarra producono suoni diversi anche se sono lunghe uguali!**

G: Vero! Quel che abbiamo detto infatti riguarda soltanto il cosiddetto "tono fondamentale" di uno strumento, cioè la modalità di vibrazione con maggiore lunghezza d'onda e maggiore potenza, che caratterizza la tonalità grave o acuta del suono.

Ci sono però altre modalità di vibrazione, più deboli, che si aggiungono alla principale: sono i cosiddetti "armonici", vibrazioni che hanno sempre una frequenza multipla del tono fondamentale. Per esempio, uno strumento che

produce una frequenza fondamentale di 100 Hz produce anche degli armonici, cioè delle vibrazioni a 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, e così via. L'intensità di ognuno di questi armonici dipende però dalle caratteristiche specifiche dello strumento usato ed è questo che distingue uno strumento dall'altro anche quando suonano la stessa nota. E' quello che in musica si chiama "timbro" dello strumento e che ci permette di riconoscere un pianoforte da un clarinetto, anche se suonano la stessa nota.

...ed è sempre il timbro che ci permette di riconoscere le voci di due persone anche se hanno la stessa tonalità!

**C: Beh, fantastico! Ora anche io posso godere appieno della musica: non solo posso ascoltarla, posso persino vederla!**

**FINE**