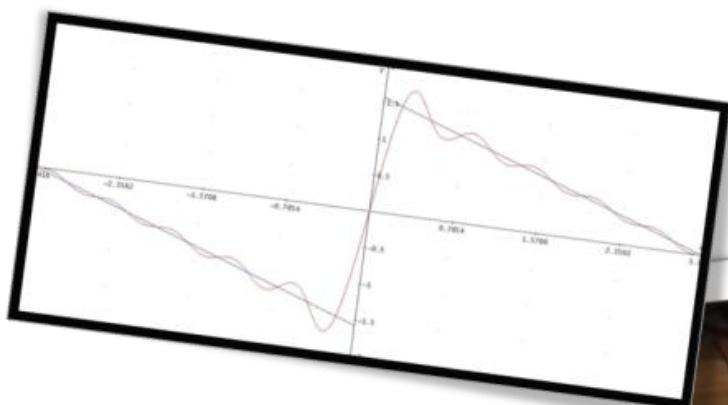




# Laboratorio di scienza del suono



## Sommario

<b>SOMMARIO .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>OBIETTIVI.....</b>	<b>4</b>
PRESENTARE I FENOMENI ACUSTICI E MUSICALI E I LORO BLOCCHI COSTITUENTI FONDAMENTALI .....	4
Onde, onde stazionarie, risonanza, onde in una molla .....	4
Onde sonore e propagazione del suono .....	4
Generazione, acquisizione ed elaborazione del suono .....	4
“APRIRE” UNA FINESTRA SCIENTIFICA DI OSSERVAZIONE SUL MONDO MUSICALE .....	4
Imparare a osservare e a descrivere un fenomeno eventualmente di natura artistica, come la musica, anche dal punto di vista scientifico e quantitativo .....	4
<b>SVILUPPARE CONCETTI, LINGUAGGIO E METODOLOGIA SCIENTIFICI .....</b>	<b>5</b>
<i>Concetti fisici</i> .....	5
Onde .....	5
Risonanza .....	5
Fenomeni oscillatori .....	5
Principio di sovrapposizione .....	5
<i>Concetti matematici</i> .....	6
Oggetti matematici per descrivere fenomeni periodici .....	6
Sovrapposizione di funzioni periodiche (sintesi di Fourier), battimenti e identità trigonometriche .....	6
Quando sono vicine due funzioni? .....	6
Approssimazione di funzioni periodiche: Analisi di Fourier .....	7
<b>METODOLOGIE E STRUMENTI.....</b>	<b>8</b>
LABORATORIO DI FISICA PER ESPLORARE LE ONDE (NON SOLO SONORE).....	8
UTILIZZO DI STRUMENTI INFORMATICI E MULTIMEDIALI PER L'ESPLORAZIONE E LA VISUALIZZAZIONE DEI FENOMENI OSCILLATORI E ACUSTICI .....	9
IL LABORATORIO MATEMATICO-INFORMATICO PER ESPLORARE, SCOMPORRE E RICOMPORRE LE FUNZIONI CHE DESCRIVONO I FENOMENI ACUSTICI .....	10
USO DI MATERIALI “POVERI” PER LA PRODUZIONE DI SUONI .....	10
<b>REALIZZAZIONE .....</b>	<b>11</b>
<b>PERCORSI REALIZZATI .....</b>	<b>11</b>
<i>Curriculare</i> .....	11
Istituto scolastico: Liceo Scientifico “Torricelli” -Bolzano.....	11
<i>Extra-curriculare</i> .....	15
Istituto scolastico: Liceo Scientifico “Leonardo da Vinci - Trento .....	15

# Laboratorio di scienza del suono

## Introduzione

Suoni, onde, microfoni e altoparlanti, funzioni periodiche, sovrapposizioni di segnali sinusoidali, simulazioni al computer ... tutte cose "tipiche" di un laboratorio di fisica o del mestiere di un matematico, di un tecnico del suono o di un moderno compositore di musica, ma che non si incontrano così spesso nelle aule scolastiche.

E cosa c'entra tutto questo con la percezione dei fenomeni acustici da parte dei nostri sensi, con l'emozione che ci dà la musica, con il linguaggio musicale: le note, gli intervalli, le scale, gli accordi...

Ecco, quindi, la nostra idea: portare all'attenzione degli studenti esperienze di osservazione, misura, confronto e ascolto di eventi sonori che conducono alla scoperta degli aspetti più affascinanti dei fenomeni acustici. Insieme a queste esperienze, sviluppare concetti e un linguaggio matematico per parlare e quindi per "vedere" i fenomeni acustici: funzioni trigonometriche e loro somme, decomposizione di una funzione periodica in segnali sinusoidali, e quindi applicazioni all'analisi del timbro, alla consonanza e dissonanza di un accordo. Il tutto realizzato con attività pratiche di simulazione al computer e di laboratorio fisico e matematico.



## Obiettivi

Il laboratorio intende promuovere la cultura scientifica negli studenti e, nello specifico, avvicinare i mondi della musica, della fisica e della matematica, spesso distanti fra loro nella mente delle persone.

I fenomeni acustici sono analizzati in termini dei loro costituenti fondamentali. Partendo dai concetti base di onde e trigonometria si arriva a descrivere una piccola parte del complesso edificio che costituisce il suono: la musica, le scale tonali, il timbro degli strumenti, consonanza e dissonanza, etc.

## Presentare i fenomeni acustici e musicali e i loro blocchi costituenti fondamentali

Onde, onde stazionarie, risonanza, onde in una molla

Onde sonore e propagazione del suono

Generazione, acquisizione ed elaborazione del suono

## “Aprire” una finestra scientifica di osservazione sul mondo musicale

Imparare a osservare e a descrivere un fenomeno eventualmente di natura artistica, come la musica, anche dal punto di vista scientifico e quantitativo

## Sviluppare concetti, linguaggio e metodologia scientifici

Il laboratorio si sviluppa attraverso un percorso nel quale i concetti fisici e matematici si integrano e non formano dei blocchi chiusi e isolati.

L'acustica non ha grandi spazi nella tradizione curriculare della fisica e tanto meno è vista come occasione per introdurre idee e modi di operare propri della matematica. Il percorso mette al centro *l'onda sonora* e la sua rappresentazione secondo le molte modalità offerte dalle tecniche sperimentali proprie della fisica nonché dal punto di vista del linguaggio matematico.

Si sottolinea come il percorso conduca alla valorizzazione dell'interazione costruttiva fra matematica e fisica, non considerate come momenti distinti e disgiunti di lettura ed interpretazione di fenomeni. Al contrario, si cerca di evidenziare il ruolo d'interconnessione tra le due discipline: la fisica necessaria per costruire modelli interpretativi del mondo e la matematica necessaria per formalizzare idee e questi stessi modelli altrimenti non "quantificabili".

### Concetti fisici

La fisica del suono si snoda attraverso concetti che vengono introdotti anche nei normali percorsi curricolari

#### Onde

Concetto base affrontato all'inizio del percorso, quando si analizza come si generano e si propagano i suoni. Cosa si muove? Cosa si sposta? È facile trovare nei ragazzi delle preconcezioni sul fenomeno ondoso relativo al suono ed è interessante notare che spesso gli studenti non riescono a visualizzare l'onda longitudinale: abituati forse alle immagini di onde trasversali, descrivono l'onda sonora come uno spostamento di materia.

#### Risonanza

Che cosa significa risonanza e perché è così importante nella fisica del suono?

#### Fenomeni oscillatori

L'oscillatore armonico come primo scalino per comprendere la complessità dei fenomeni che ci circondano. Il diapason: suoni puri e sinusoidi.

#### Principio di sovrapposizione

Che cosa accade quando due onde s'incontrano? Si scontrano e si distruggono o esiste una diversa chiave di lettura di questi processi? Attraverso l'uso di molle "slinky", diapason di differenti intonazioni e altri strumenti si studia il comportamento delle onde, dagli aspetti più elementari fino ai fenomeni di battimento acustico. Si scopre che le preconcezioni sono presenti e importanti nello studio di questi argomenti: ciò richiede ai ragazzi un certo sforzo di astrazione per giungere a conclusioni coerenti e consistenti.

## Concetti matematici

Il nucleo dei concetti matematici che il laboratorio propone agli studenti ruota attorno alle serie di Fourier: sono utili anche per introdurre oggetti e questioni matematiche d'interesse più ampio (approssimazione "ottimale" di una funzione generale con funzioni "semplici", vari concetti di distanza tra due funzioni, concetti geometrici di base del calcolo integrale).

### Oggetti matematici per descrivere fenomeni periodici

Dopo le esperienze fatte nel laboratorio di fisica, è abbastanza naturale accettare le funzioni che dipendono dal tempo come lo strumento principale per la descrizione qualitativa e quantitativa di un fenomeno acustico. Se il suono in esame è dotato di una struttura periodica, come succede per esempio (in prima approssimazione) quando si analizza una nota musicale, diventa naturale occuparsi di funzioni periodiche.

### Sovrapposizione di funzioni periodiche (sintesi di Fourier), battimenti e identità trigonometriche

Il comportamento della corda vibrante, osservato nel laboratorio di fisica, spinge a chiedersi quali forme d'onda si possano ottenere sovrapponendo funzioni sinusoidali di frequenza multipla di una data fondamentale. Semplici esperimenti con applet appositamente create per il progetto, o con pacchetti software come Derive, Mathematica o Maple, mettono in evidenza come sovrapposizioni di questo tipo consentano di "costruire" forme d'onda ricche e complicate.

Problema strettamente correlato è quello della sovrapposizione di sinusoidi con frequenze vicine: il fenomeno dei battimenti può essere esplorato come sopra per "via software", per poi darne una (parziale) giustificazione matematica grazie alle identità trigonometriche fondamentali.

### Quando sono vicine due funzioni?

Negli esperimenti sulla sintesi di Fourier, alcune sovrapposizioni di sinusoidi opportunamente scelte sembrano "approssimare sempre meglio" forme d'onda ben note e suggestive (un dente di sega, un'onda quadra...). In che senso le nostre somme di funzioni trigonometriche sono delle buone approssimazioni della "forma d'onda limite"? Grazie a varie considerazioni euristiche, si arriva a una ragionevole nozione di "distanza euclidea" tra funzioni, che descrive molto bene quanto

osservato in precedenza. Di riflesso, si arriva a introdurre anche il concetto di integrale di una funzione.

#### Approssimazione di funzioni periodiche: Analisi di Fourier

---

Dalla sintesi all'analisi di Fourier: come possiamo cercare di approssimare, nel modo migliore possibile, una data funzione periodica con la sovrapposizione di un fissato numero di sinusoidi? La ricerca dei coefficienti di Fourier di una funzione periodica viene presentata quindi come un problema di approssimazione ottimale, ossia di ricerca del “polinomio trigonometrico” di distanza minima dalla funzione data. Il problema è affrontato dapprima dal punto di vista “sperimentale”, tramite apposite applet, poi in maniera matematicamente rigorosa: con la scusa di impraticarsi con il concetto di integrale, non è difficile ottenere le relazioni di ortogonalità tra le funzioni trigonometriche ... A questo punto, la soluzione del problema di approssimazione ottimale può essere trovata con strumenti matematici elementari.

Tutti questi argomenti sono presentati senza dimenticare i fenomeni acustici da cui siamo partiti. Tutti i passi proposti agli studenti sono accompagnati da prove d'ascolto per evidenziarne le implicazioni acustiche: si cerca di mostrare come l'analisi e la sintesi di Fourier siano intimamente legate alla fisiologia dell'udito, e come possano essere usate per ricostruire il timbro di uno strumento musicale o la voce umana. Si affronta anche, a grandi linee e con prove di ascolto, lo studio di un semplice modello per misurare la consonanza e la dissonanza di due note musicali, basato sull'analisi di Fourier delle note e sul fenomeno dei battimenti.

## Metodologie e Strumenti

Il laboratorio è stato pensato per permettere agli studenti di sperimentare delle metodologie differenti dalla classica lezione frontale e per consentire una via decisamente sperimentale alla costruzione dei concetti fisici e matematici.

Il laboratorio si è sviluppato in 4 forme generali.

## Laboratorio di fisica per esplorare le onde (non solo sonore)

Laboratorio di fisica vero e proprio sia a scuola sia presso il laboratorio di Comunicazione delle Scienze Fisiche dell'università. In esso sono esplorati i fenomeni fisici alla base delle onde e dei suoni, quali la propagazione acustica e le onde stazionarie. Il laboratorio di fisica nel progetto è inteso come luogo fisico ma anche come modo di lavoro a cui gli studenti devono avvicinarsi.

Di seguito un elenco, non esaustivo, degli strumenti utilizzabili all'interno del laboratorio:

*Vari tipi di pendoli* per lo studio del moto armonico ("semplici", composti, accoppiati, asticelle risonanti). Oggetti di solito di semplicissima realizzazione (e comunque già disponibili) che permettono di osservare molti aspetti fondamentali dei moti periodici. In particolare si utilizzano semplici configurazioni con pendoli accoppiati (fili con pesetti) sospesi e di periodo [quasi] eguale che "risuonano" o vanno in battimento. Perfetti per i concetti di risonanza.

*Giradischi* con registratore  $y-t$ , anche per figure di Lissajoux. Si tratta di un piatto rotante con un sistema che "proietta" il movimento circolare su un asse costruendo, di fatto, meccanicamente e geometricamente le funzioni trigonometriche. La combinazione di proiezioni su due direzioni (perpendicolari) conduce alla visualizzazione di moti (armonici) sfasati (e le relative figure di Lissajoux).



Figura 1: Giradischi doppio

*Diapason* di vario genere. Dato che si dovrà spesso fare riferimento a suoni "puri", è utile avere a disposizione gli strumenti fisici dedicati alla generazione di tali suoni. Particolarmente importanti sono i diapason accordabili in frequenza (spostando un piccolo peso collegato ai rebbi), un diapason molto "lento" con fissato un pennino che lo rende a tutti gli

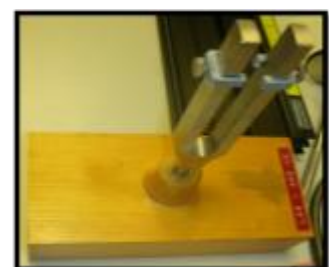


Figura 2: Diapason accordabile



effetti un “sismografo” (le oscillazioni vengono trascritte dal pennino su una superficie che gli scorre sotto).

**Strumenti musicali.** Se si parla di musica si deve parlare anche di strumenti musicali!

**Molle e corde di vario genere,** incluso un sistema di accoppiamento con altoparlante

**Ondoscopio ad acqua:** molte scuole lo posseggono già. In ogni caso si può utilizzare anche una versione al computer.

**Visualizzazione di modi normali** di vibrazione (lamine vibranti di Chladni, eccitate da un archetto da violino e cosparse di polvere sottile, e tubo di Kundt, completo di sistema di eccitazione elettrica e di misurazione dei massimi).

Fra i **generatori di suoni insoliti** nel laboratorio si cita una “pentola cinese”, in grado di trasferire l’energia vibrazionale dei suoi modi normali all’acqua che contiene (creando onde e spruzzi), nonché un tubo vuoto e chiuso ad un estremo da una retina metallica. Quando questa viene riscaldata, è possibile eccitare (causa turbolenze dell’aria) i modi vibrazionali fondamentali dell’aria contenuta nel tubo. Anche la “classica” sirena di Seebeck è disponibile per una misura quantitativa diretta della relazione tra frequenza ed altezza.



Figura 3: Pentola Cinese

**Altre esperienze** sono state realizzate per lo studio dei modi di *propagazione delle onde* (sonore), ossia fenomeni di “acustica geometrica” (specchi che focalizzano il suono), di interferenza (costruttiva e distruttiva, ad esempio nei fenomeni di messa in fase di coppie di altoparlanti stereofonici, di abbattitori di rumore ambientale, ecc.) e semplici esperimenti che evidenziano che il suono (non) si propaga in (assenza) presenza di un mezzo (elastico) – come la campana da vuoto.

## Utilizzo di strumenti informatici e multimediali per l’esplorazione e la visualizzazione dei fenomeni oscillatori e acustici

Agli studenti, tramite appositi software, è dato modo di analizzare, visualizzare e generare suoni e onde. Si utilizzano software specifici per vedere lo spettrogramma di una nota o della formante della voce e l’involuppo di un’onda.

Questi software permettono di analizzare il diverso timbro degli strumenti e a quali caratteristiche fisiche si possono associare suoni di diversi strumenti. Si studiano anche alcune illusioni acustiche (scale di Risset e Shepard).

L'uso dei normali oscilloscopi è stato accoppiato al computer per generare vari suoni e studiare alcuni fenomeni come ad esempio i battimenti.

Applet di vario genere sono utili per indagare le oscillazioni di vari tipi di corde e membrane vibranti "virtuali".

## Il laboratorio matematico-informatico per esplorare, scomporre e ricomporre le funzioni che descrivono i fenomeni acustici

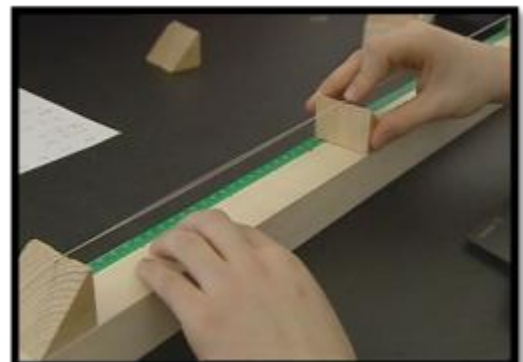
Il laboratorio matematico è finalizzato all'introduzione dei concetti di distanza tra funzioni, migliore approssimazione e serie di Fourier. Gli studenti utilizzano Derive o altri software per costruire e sommare funzioni. Nel laboratorio è introdotta la nozione di integrale definito come "area del sottografico" di una funzione e con i software è possibile indagare alcune proprietà matematiche, fra le quali la linearità dell'integrale e l'ortogonalità delle funzioni seno e coseno.

Per arrivare a capire come una qualunque funzione periodica possa essere ben approssimata con opportuni polinomi trigonometrici gli studenti possono usare applet create appositamente per questo scopo.



## Uso di materiali "poveri" per la produzione di suoni

Si utilizzano molti oggetti "poveri" che suonano in modo divertente ed interessante: carillon, barre vibranti, canne d'organo a lunghezza (e frequenza) variabile, tubi rotanti e fischianti. Si usa anche un monocordo (anche di tipo autocostruito dagli studenti). I monocordi sono anche utilizzati per far determinare agli studenti i rapporti di lunghezze per ottenere determinate sequenze di note (intervalli e scale).



## Realizzazione

Una tipica modalità di effettuazione di questo laboratorio comprende:

- un incontro presso la facoltà di scienze dedicato al laboratorio sperimentale (condotto da Luigi Gratton);
- un incontro dedicato al laboratorio di matematica e informatica (condotto da Sisto Baldo);
- un incontro dedicato agli aspetti di interpretazione scientifica delle questioni musicali (condotto da Stefano Oss).

Gli incontri hanno una durata di circa 3 ore ciascuno. È auspicabile, per questioni di sostenibilità didattica, che il terzo incontro avvenga per ultimo.

Gli ultimi due incontri, se richiesto e possibile, possono avvenire nelle sedi scolastiche. In ogni caso le modalità di effettuazione per i singoli gruppi devono essere concordate e programmate con congruo anticipo fra docenti di scuola superiore ed universitari e possono variare a seconda delle specifiche esigenze.

L'aspetto più importante, lo si deve sottolineare, è la programmazione delle attività e la loro collocazione nell'ambito di un percorso/progetto scolastico curricolare che sia di appropriato contorno agli incontri veri e propri del PLS.

## Percorsi realizzati

Proponiamo ora una descrizione del modo in cui sono stati realizzati, in anni scolastici precedenti, due percorsi di Scienza del Suono, uno in ambito curricolare e l'altro extra-curricolare.

### Curricolare

Istituto scolastico: Liceo Scientifico "Torricelli" -Bolzano

**Docenti partecipanti:** Diego Gottardi, Lara Magnago

**Numero studenti:** 15

**Tipo di gruppo:** classe

**Durata /Scansione temporale:** 21 ore, in 7 incontri da 3 ore.

### **Modalità:**

Introduzione alla fenomenologia del suono, esperimenti che necessitano di attrezzature particolari da svolgere presso il laboratorio di Trento, laboratorio di matematica per approfondimenti con uso di applet sviluppate dai docenti universitari. Attività da sviluppare su tre incontri condotti dai docenti universitari (Oss, Gratton e Baldo 1 incontro ciascuno) affiancati dai docenti di classe.

### **Descrizione dell'attività con il gruppo:**

Il lavoro si sviluppa a partire da esperienze di laboratorio che riguardano la produzione di suoni mediante diapason e strumenti musicali anche di tipo artigianale e sull'analisi mediante strumenti (microfoni e oscilloscopio) e software dedicato (audacity). L'analisi strumentale è preceduta da una fase di discussione dove gli studenti formulano ipotesi sulla natura del suono e che vengono verificate o falsificate nel corso delle attività sperimentali. Inoltre si svolge il lavoro di modellizzazione matematica per costruire una rappresentazione dei fenomeni esaminati che consenta di prevedere il comportamento del suono e di stabilire quali siano le grandezze che determinano una certa percezione piuttosto che un'altra. Questo tipo di analisi dovrebbe portare anche a scoprire come sia possibile sintetizzare un particolare suono a partire da altri.

### **Obiettivi dell'attività con gli studenti:**

1. Utilizzare il metodo scientifico
2. Analizzare un problema "reale" utilizzando le proprie conoscenze
3. Sviluppare un modello che permetta di apprezzare lo stretto legame tra matematica e fisica
4. Sollecitare l'interesse per aspetti quotidiani della fisica sottovalutati o ignorati

### **Prerequisiti disciplinari:**

1. Conoscenze matematiche di base riguardo le funzioni goniometriche
2. Conoscenze di base riguardo i fenomeni ondulatori

### **Risultati raggiunti**

Sviluppo del senso critico e dell'autonomia operativa; sviluppo delle capacità di discussione in fase di analisi di un problema non conosciuto.

### **Risposta degli studenti:**

molto positiva soprattutto per quel che riguarda le attività sperimentali; comprensione dell'importanza dell'attività di modellizzazione.

### **Strutturazione degli incontri:**

#### *I incontro: "fenomenologia del suono"*

---

Esperimenti iniziali (strumenti musicali e loro ipotetico funzionamento, "visione delle vibrazioni di uno strumento", ecc.); discussione informale sulla fenomenologia del suono e formulazione di prime ipotesi sulla sua natura fisica; suggerimenti su eventuali esperimenti da effettuare per indagare la natura del suono.

**Contenuti:** generazione di suoni con strumenti e diapason; "visione del suono" per mezzo di un oscilloscopio

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** dimostrazioni sperimentali e lavori in gruppo; discussione di classe.

#### *II incontro: "Suono e trasporto di materia e/o energia"*

---

Ipotesi e verifiche; analogie con vari tipi di onde: ondoscopi, molle e corde azionate "a mano"; tipologie diverse di onde; caratteristiche qualitative delle onde in relazione alla loro tipologia, sovrapposizione di onde sinusoidali mediante diapason.

**Contenuti:** esperimenti con molle e ondoscopio per verificare ipotesi emerse dalla discussione; verifica mediante diapason

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** dimostrazioni sperimentali e lavori in gruppo.

#### *III Incontro "Fenomeni periodici e loro rappresentazione matematica"*

---

Funzioni goniometriche e onde; caratteristiche delle funzioni goniometriche in relazione alla fenomenologia vista, in precedenza, in ambito fisico; laboratorio di matematica: somma di onde sinusoidali mediante applet o foglio elettronico.

**Contenuti:** laboratorio di informatica, lavoro individuale sulle caratteristiche delle funzioni goniometriche individuate facendo variare i parametri (ampiezza, frequenza, ecc.).

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** Lavoro effettuato mediante foglio elettronico e applet.

*IV Incontro: "Somma di onde sinusoidali"*

---

Principio di sovrapposizione; battimenti; caratteristiche delle onde ottenute mediante sovrapposizione di sinusoidi; interferenza; elaborazione del concetto di distanza di una funzione ottenuta per somma di sinusoidi da una funzione "incognita".

**Contenuti:** Verifica del comportamento di onde sonore reali rispetto a quanto previsto matematicamente. Sviluppo del concetto di composizione e scomposizione di un suono.

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** Laboratorio di matematica con applet per visualizzare la composizione di onde; laboratorio di fisica con microfoni diapason e software "audacity" per la verifica sperimentale in gruppo.

*V Incontro: "Visualizzazione del suono emesso da uno strumento"*

---

Onde periodiche "irregolari"; principio di sovrapposizione con molle o corde; corde vibranti e condizioni per la stazionarietà delle onde.

**Contenuti:** Incontro effettuato nel laboratorio didattico della facoltà a Trento, approfondimento del discorso iniziato nel precedente incontro.

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** Dimostrazioni sperimentali, esperimenti individuali o di gruppo con i materiali presenti nel laboratorio.

*VI Incontro "Introduzione dei fondamenti di analisi di Fourier"*

---

Scomposizione e composizione di suoni complessi a partire da onde sinusoidali.

**Contenuti:** Discussione e verifica su vari aspetti del suono sperimentati nel corso dei precedenti incontri in particolare sulla sintesi dei suoni sviluppando il concetto di distanza per le funzioni.

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** Lezione frontale e laboratorio di informatica con uso di applet; discussione guidata.

*VII Incontro "Tecniche di calcolo dei coefficienti di Fourier (cenni)"*

---

Sviluppo delle tecniche analitiche che portano allo sviluppo di Fourier.

**Contenuti:** Introduzione del concetto di integrale per la valutazione della bontà della riproduzione di un suono mediante componenti sinusoidali e analisi dei fattori che migliorano la qualità dello sviluppo.

**Modalità didattica, spazi e materiale utilizzato:** lezione frontale e laboratorio di informatica con uso di applet.

## Extra-curriculare

Istituto scolastico: Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci - Trento"

**Docenti partecipanti:** Elena Pizzinini, Roberta Tommasini

**Studenti:** 28 (gruppo misto). Studenti di varie classi dell'istituto, prevalentemente di quarta e quinta, due studentesse di seconda Liceo del Liceo Classico Prati di Trento

**Durata /Scansione temporale:** 6 incontri pomeridiani di 2 ore e mezza ciascuno

**Docenti Universitari/Personale Universitari:** S. Baldo, B. Danese, L. Gratton, S. Oss. I docenti universitari hanno curato tutti gli incontri durante il primo anno

### Breve descrizione

Al primo anno di laboratorio hanno partecipato 12 studenti, di cui 7 frequentanti la classe quarta e 5 la classe quinta. Il gruppo di studenti che hanno chiesto di partecipare al laboratorio del secondo anno (in totale 28) era composto prevalentemente da studenti di quarta (13, di cui 8 provenienti dalla stessa classe) e quinta (10). Inoltre hanno partecipato al laboratorio due studentesse di seconda liceo classico e tre studenti di terza, per i quali è stato previsto un intervento aggiuntivo (per definire le funzioni trigonometriche seno e coseno) prima degli incontri dedicati specificamente alla descrizione matematica del suono. Tutti gli studenti erano molto motivati e hanno partecipato attivamente al laboratorio. Si segnala in particolare l'assiduità nella frequenza.

### Obiettivi

1. Promuovere la cultura scientifica
2. Svolgere un'attività di orientamento in vista della prosecuzione degli studi
3. Favorire il collegamento tra scuola superiore e università
4. Ampliare l'offerta delle attività extracurricolari (a fronte di un variegato panorama di proposte che spaziano dalla danza, alla scherma, al teatro e alla poesia, raramente gli studenti interessati possono partecipare a qualche attività che riguardi le discipline scientifiche; nonostante vi siano nella scuola risorse in termini di competenze, strutture e spazi, non si riesce a rispondere all'esigenza degli studenti di approfondire e ampliare le conoscenze scientifiche.)

5. Migliorare il rapporto con le discipline scientifiche
6. Migliorare la percezione della validità dei modelli scientifici nella descrizione dei fenomeni
7. Far crescere la consapevolezza dell'importanza dell'interazione tra matematica e fisica

### Strutturazione degli incontri

#### *I incontro*

---

Incontro introduttivo in laboratorio. Dall'osservazione di vari fenomeni interessanti si deducono alcuni aspetti particolarmente significativi, senza preoccuparsi di darne una descrizione formale. Si cerca di far nascere l'interesse per i fenomeni sonori in modo che gli studenti sentano l'esigenza di una spiegazione e di una modellizzazione fisica e matematica

#### *II incontro*

---

Incontro con le grandezze caratterizzanti dell'onda attraverso semplici esperimenti; descrizione matematica di un'onda armonica; interferenza, battimenti, onde stazionarie e fenomeni di risonanza

#### *III incontro*

---

Incontro che come il successivo viene dedicato alla descrizione matematica dei fenomeni osservati. In laboratorio di informatica si osserva cosa accade sovrapponendo onde armoniche con frequenze multiple di una frequenza fondamentale, approfondendo il concetto di timbro di uno strumento musicale,, si approssima la funzione a dente di sega con polinomi trigonometrici, si cerca il modo per esprimere una misura della distanza tra funzioni

#### *IV incontro*

---

Tema dell'incontro è la ricerca dell'approssimazione ottimale di una funzione periodica qualunque con polinomi trigonometrici. Per raggiungere lo scopo viene introdotto in modo molto "leggero" l'integrale definito come area del sottografico di una funzione per poi ricavare le relazioni di ortogonalità tra seno e coseno, i coefficienti di Fourier. Segue la dimostrazione che i polinomi di Fourier consentono l'approssimazione ottimale cercata

#### *V incontro*

---

Incontro dedicato a prove di ascolto per identificare consonanza e dissonanza. Si "osservano" suoni al computer, si registrano note prodotte da un sintetizzatore, si analizza lo spettro del suono



*VI incontro*

---

Incontro conclusivo nel quale una cantante soprano ha trattato dal punto di vista del canto vari argomenti precedentemente affrontati: dove si genera il suono, quali sono le caratteristiche del suono emesso da un professionista, educato a utilizzare le potenzialità del corpo, postura, respirazione, per emettere il suono con un determinato timbro