

ESPERIMENTI DI ACUSTICA CON UNO SMARTPHONE

ACOUSTIC EXPERIMENTS WITH A SMARTPHONE

Misura della velocità del suono nell'aria e nell'acqua, esperimenti su effetto Doppler, attenuazione sonora, interferenza e diffrazione: tutto con uno smartphone.

We show how the speed of sound - in air and in water - can be measured using a smartphone. We also describe a simple method to measure the Doppler effect, sound intensity attenuation, wave sound interference and diffraction.

Alfonso D'Ambrosio | IIS Kennedy | Monselice (IT)

✉ Alfonso D'Ambrosio | via De Gasperi, 20, 35043 Monselice, Italia
| alfonsodambrosio@yahoo.it

INTRODUZIONE

La maggior parte dei nostri studenti delle scuole secondarie di secondo grado ha in tasca uno *smartphone* di ultima generazione, che usa spesso per la messaggistica multimediale. Eppure uno *smartphone* è un prodotto di altissima tecnologia: al suo interno ci sono sofisticati sensori che permettono funzionalità quali il *touchscreen*, la rotazione intelligente, il riconoscimento vocale, il sensore di luce o il GPS, tanto per citarne alcuni.

I processori veloci, gli schermi ampi, la multimedialità rendono poi gli *smartphone* una eccellente piattaforma con cui gli studenti possono condividere esperienze didattiche e dati sperimentali.

Le numerose App che permettono di utilizzare i sensori dei cellulari (sensori di movimento, acustici, magnetici, igrometrici) consentono l'uso dello *smartphone* quale strumento di misura, se non il solo strumento di misura per l'esecuzione di una certa esperienza fisica (visti i costi elevati delle strumentazioni didattiche). In sostanza gli studenti sperimentano *con e per merito* del loro *smartphone* e non *tramite* esso.

Nella nostra scuola è stato attivato un progetto pomeridiano di Fisica di Laboratorio rivolto a studenti di classe seconda e terza dell'indirizzo Tecnico Agrario.

L'intero progetto è durato 36 ore ed ha visto in molti esperimenti l'utilizzo attivo di uno *smartphone* quale unico strumento di misura, alla stessa stregua di un metro o di un termometro. Gli studenti sono stati suddivisi in gruppi di 4 e ad ogni gruppo è stato affidato un progetto in cui si richiedeva di utilizzare attivamente il proprio *smartphone* (i ragazzi hanno avuto una parte attiva nella progettazione del *set-up* sperimentale). Ad ogni elemento del gruppo (misti per età e per classe) è stato affidato un ruolo: l'amico critico (a cui era assegnato anche il ruolo di controllore del tempo), il segretario, il relatore, il controllore della valutazione. In ogni gruppo vi erano almeno due *smartphone* di ultima tecnologia. Durante le attività di laboratorio gli studenti potevano registrare video o scattare foto con il loro cellulare, potevano condividere informazioni multimediali, scambiare opinioni con altri gruppi, condividere dati sui *social network*. Il docente aveva il compito di regia delle attività, di porre domande stimolo e interveniva solo quando si creavano situazioni di stallo (soprattutto nella ricerca di articoli o nell'aspetto formale matematico del problema fisico).

Lo spazio fisico dove sono state svolte le attività è il laboratorio di fisica della scuola, gli studenti avevano sia postazioni di laboratorio sia un'aula di informatica. Gli incontri erano settimanali di 2 ore e la durata del progetto è stata di 4 mesi. All'inizio di ogni lezione, in circa 15 minuti, ogni gruppo di lavoro raccontava l'avanzamento del proprio progetto

¹ Le frequenze di campionamento sono reperibili al sito <http://fisicaondemusica.unimore.it/>

e con gli altri gruppi ed il docente si discutevano le strategie risolutive da attuare.

Gli alunni erano liberi di muoversi e potevano portarsi liberamente materiale da casa utile ai fini dell'esperimento (cacciaviti, scotch, ecc.,).

La valutazione del lavoro è avvenuta sia in itinere (si è valutata la competenza in atto), sia sul prodotto finale (il *set-up* sperimentale, la relazione multimediale).

In questo lavoro vengono discusse le attività che hanno riguardato soprattutto esperimenti di acustica, anche se sono stati affrontati anche dei semplici esperimenti sul magnetismo e il comportamento dei gas sempre utilizzando lo *smartphone*.

La metodologia seguita è l'IBSE declinata nelle 5 E: *Engagement, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate*. Il progetto ha avuto i seguenti obiettivi: sviluppare il lavoro di gruppo, favorendo lo scambio di idee ed informazioni e utilizzando le tecnologie informatiche; sviluppare competenze informatiche utilizzando software per l'analisi dati e la condivisione degli stessi; formalizzare le leggi dell'acustica ed applicarle ad esperienze quotidiane; applicare i fenomeni di interferenza e diffrazione acustica; realizzare un *set-up* sperimentale a partire da un problema *inquiry based*.

GLI ESPERIMENTI DI ACUSTICA

Galante e Lombardi (2013) hanno mostrato le potenzialità tecnologiche e didattiche di questo dispositivo e hanno proposto un metodo semplice ed efficace per studiare le frequenze di risonanza in tubi chiusi e aperti utilizzando il sensore microfono all'interno di un cellulare.

Nella nostra esperienza si è proceduto scaricando sui tablet e sugli *smartphone* del docente e di alcuni alunni l'applicazione *DigitalPro Analyzer*, che a differenza di quella utilizzata nell'articolo sopra citato, permette di ottenere uno spettro dinamico delle frequenze, l'intensità sonora media e cumulata. I dati possono essere salvati sia sotto forma di immagine, sia in un comodo file dati. La frequenza di campionamento è di 20Hz.

Prima di iniziare le misurazioni l'applicazione è stata testata su frequenze sonore note¹ per assicurarsi che tutto fosse ben calibrato.

Nel seguito vengono presentati alcuni esperimenti di acustica effettuati con alunni di seconda e terza superiore, indirizzo tecnico agrario.

MISURA DELLA VELOCITÀ DEL SUONO IN ARIA

La teoria dei tubi sonori (Duncan & Starling, 1931) afferma che dentro un tubo di lunghezza L e diametro D, chiuso ad una estremità, si formano delle fre-

quenze stazionarie f_n date dalla formula: in cui v è la velocità del suono nel mezzo di propagazione. Nella (1) si è tenuto conto del fattore cor-

$$L = L + 0,4D \tag{2}$$

rettivo dovuto al diametro del tubo

Se il tubo è aperto da entrambe le estremità, la for-

$$f_n = \frac{(n + 1)v}{2L'} \tag{3}$$

mula per determinare le frequenze stazionarie è:

$$L = L + 0,8D \tag{4}$$

dove

In tutte le misure eseguite si è soffiato dentro la cannuccia (quelle usate per bere) e, dopo aver verificato che per una cannuccia aperta da entrambi i lati le frequenze di risonanza sono in accordo con la formula (3) (Figura 1), sono state prese cannuccie di diversa lunghezza e si è scelto di misurare la frequenza fondamentale di risonanza, ricavando la velocità del suono in aria a 293,4K. Le misure sono riportate nella Tabella 1 (la temperatura della stanza è stata misurata con un termometro).

Lunghezza cannuccia(cm)	f_0 (Hz)	Diametro cannuccia (cm)	Velocità del suono in aria (293,4K) (m/s)
21,9	760	0,9	344
18,9	860	0,9	338
15,5	1040	0,9	337
11,9	1340	0,9	338
6,6	2320	0,9	340

Tabella 1. Armoniche fondamentali di cannuccie di varie lunghezze aperte ad entrambe le estremità e in aria.

Il valore della velocità del suono in aria ottenuto è: $v=(339\pm 4)$ m/s, compatibile con la misura della velocità del suono dell'aria di 343m/s a 20°C.

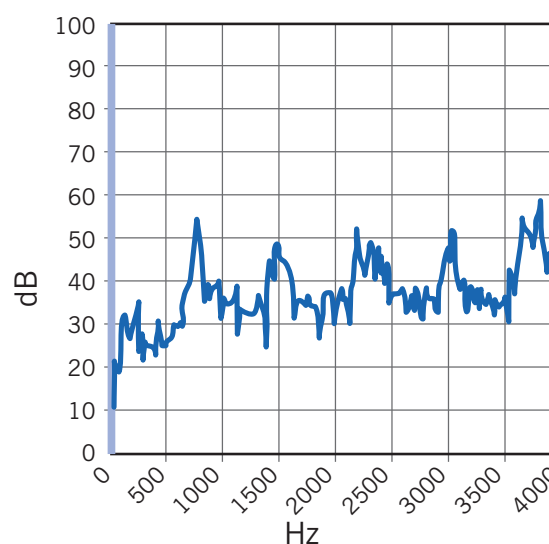


Figura 1. Frequenze di risonanza per una cannuccia di 21,9 cm aperta da entrambi i lati

$$f_n = \frac{(2n + 1)v}{4L'} \tag{1}$$

MISURA DELLA VELOCITÀ DEL SUONO IN ARIA A 373K

Una cannuccia di lunghezza 17,1 cm, chiusa ad un'estremità con della pellicola trasparente per alimenti, è stata immersa all'interno di una pentola con dell'acqua in ebollizione e si è soffiato all'interno della cannuccia. La scelta dell'acqua in ebollizione (temperatura misurata 373 K) non è un caso: la misura è più semplice da eseguire poiché la temperatura rimane costante durante l'esecuzione dell'esperimento, l'aria all'interno della cannuccia è portata a 373K sia perché riscaldata dall'acqua circostante sia per la presenza dei continui vapori.

Lo spostamento in frequenza appare molto evidente nella prima armonica (Figura 2), il valore della velocità del suono in aria a 373K è compatibile entro gli errori con il valore atteso di 393 m/s. La misurazione

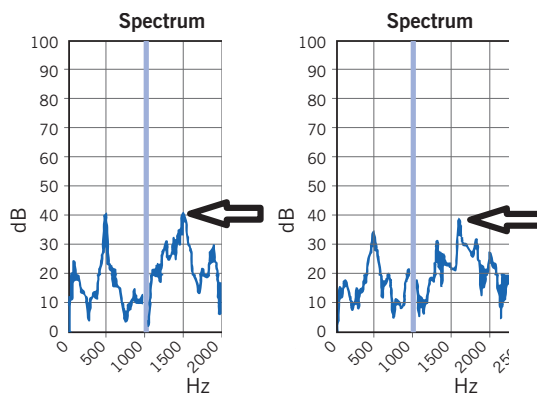


Figura 2. Frequenza dell'armonica fondamentale e della prima armonica di risonanza all'interno di una cannuccia da 17,1 cm di lunghezza in aria a 294K e 373K. La frequenza a 500 Hz è causata dalla voce umana in aria.

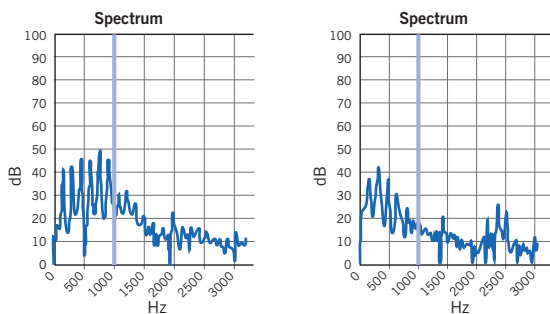


Figura 3. Spettro sonoro della voce umana prima (a sinistra) e dopo aver soffiato dentro un tubo da 21cm di lunghezza riempito di acqua.

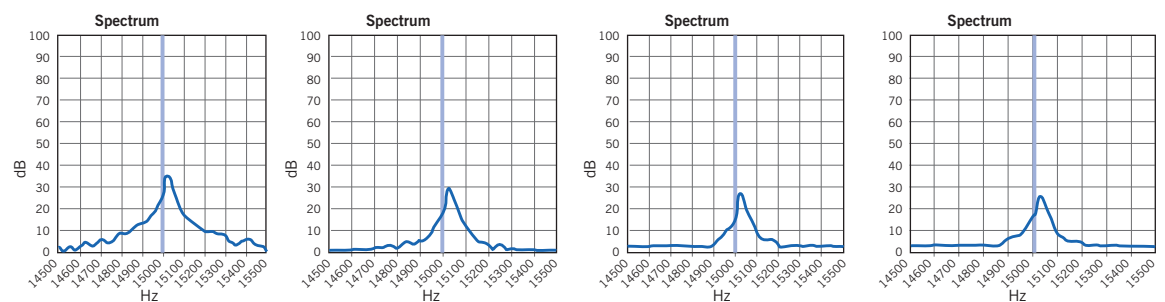


Figura 4 Intensità sonora misurata a 1, 2, 3 e 4 metri di distanza da una sorgente sonora di 15000Hz.

ne dopo la seconda armonica è resa difficile a causa dei disturbi legati probabilmente al rumore dell'acqua in ebollizione.

MISURA DELLA VELOCITÀ DEL SUONO IN ACQUA

Con il software in dotazione è stata effettuata una misura anche della velocità del suono in acqua.

Per fare questo un tubo di cartone è stato chiuso con della carta da cucina ad una estremità. Il tubo è stato riempito fino a 13 cm di acqua, lasciando un bordo superiore di aria per evitare cadute di acqua. Un suono gutturale è stato emesso all'interno del tubo tenuto in verticale. Come si vede dalla Figura 3 ottenuta registrando la voce umana prima e dopo che ci fosse il tubo davanti alla bocca, appaiono due frequenze, una (intorno ai 3500 Hz), presente anche senza il tubo, viene solo amplificata; l'altra, a 2380Hz, è imputabile alla frequenza del segnale propagato nel tubo. La frequenza di 2380 Hz, fornisce un valore della velocità del suono in acqua di 1466m/s, compatibile con il valore teorico.

La frequenza fondamentale di risonanza in acqua per la nostra cannuccia è stata prima ricavata teoricamente e successivamente "riconosciuta" nel nostro spettro.

MISURA DELL'ATTENUAZIONE SONORA

Un segnale sonoro ad una distanza d_1 dalla sorgente viene percepito da un osservatore a distanza d_2 dalla sorgente con una intensità attenuata.

Il nostro software permette una misura dell'intensità sonora media (per ogni secondo), così è stato posizionato un *tablet* che emetteva un "rumore browniano"² e misurata a varie distanze l'intensità sonora media percepita. Poiché rumore sonoro di fondo aveva frequenze soprattutto al di sotto dei 6000Hz (voce umana), è stata utilizzata una sorgente che emette un segnale sonoro di 15000 Hz³ ed è stata misurata l'attenuazione su quella singola frequenza. La Figura 4 mostra chiaramente l'attenuazione del segnale di 15000Hz.

EFFETTO DOPPLER

Se una sorgente sonora è in movimento avvicinandosi verso un osservatore fermo, la frequenza f percepita secondo l'effetto Doppler [6] è:

$$\frac{f - f_o}{f_o} = \frac{v_s}{v} \quad (5)$$

dove v è la velocità dell'onda emessa (343m/s nel nostro caso), f_o la frequenza emessa dalla sorgente che è a velocità v_s rispetto ad un osservatore fermo. Uno studente, con in mano un *tablet*, ha fatto partire un segnale di frequenza di 15020Hz, muovendosi a velocità costante (la velocità è stata registrata con traguardi e cronometro) e un altro compagno, registrava la frequenza percepita dal proprio cellulare. Si sono così ottenuti i dati così riportati in Tabella 2, dove la frequenza misurata viene confrontata con quella teorica secondo la Figura 5.

f_o (Hz)	v_s (m/s)	f misurata (Hz)	f teorica (Hz)
15020	1,0	15060	15064
15020	2,2	15120	15116

Tabella 2. Frequenza sonora emessa da una sorgente in movimento e registrata da un osservatore fermo, errore di sensibilità dello strumento 20Hz.

Come si vede dalla Figura 5, l'effetto Doppler è misurabile già ad una velocità che è quella tipica di una passeggiata. I ragazzi hanno testato l'effetto Doppler anche su altre sorgenti in movimento quali treno, moto, bici, auto e ambulanza, ma nessuno ha avuto la stessa immediatezza didattica del moto durante una passeggiata.

INTERFERENZA E DIFFRAZIONE

Con il nostro software abbiamo sperimentato anche l'interferenza e la diffrazione sonora.

Sono stati posti due cellulari, che emettono una frequenza di 1500Hz⁴ (lunghezza d'onda) in due punti A e B (Figura 6) ed un terzo cellulare in O che registra il segnale sonoro emesso da A e B. Quando la differenza di cammino tra due suoni è un multiplo intero della lunghezza d'onda, più mezza lunghezza d'onda, si ha interferenza distruttiva. Si ha interferenza costruttiva quando la differenza dei cammini è un multiplo intero della lunghezza d'onda del suono emesso.

Posta la sorgente B a 68 cm da O, si è variata la posizione di A; pur non riuscendo ad avere una interferenza distruttiva con intensità nulla (a causa delle riflessioni sulle pareti della stanza), si sono registrate le posizioni di minima e massima intensità sonora, ottenendo i risultati della Tabella 3.

Si deve tener conto che le misure sono state ottenute spostando manualmente il cellulare e che la posizione del sensore non è nota (abbiamo lavorato ipotizzando che fosse all'imboccatura del microfono voce); pertanto se teniamo conto di un errore di 2cm sulla lunghezza, i dati sperimentali sono compatibili con quelli attesi.

La diffrazione sonora è stata sperimentata ponendo una sorgente di onde sonore ad una distanza di

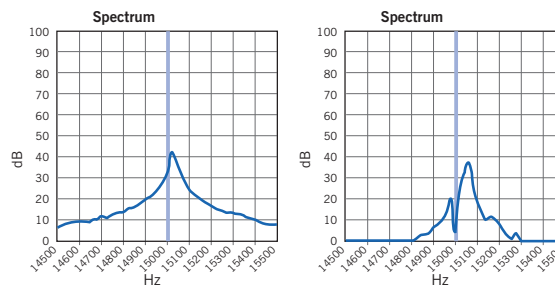


Figura 5. Frequenza di un segnale sonoro misurato da osservatore per una sorgente ferma e in movimento verso l'osservatore ($v = 1\text{m/s}$)

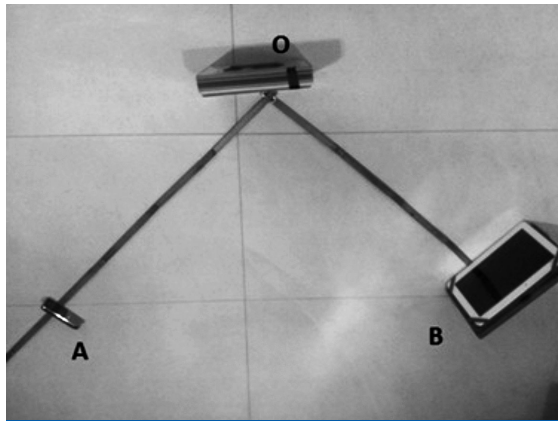


Figura 6. Interferenza tra due sorgenti poste in A ed in B e rilevate da un Osservatore in O.

OB (cm)	OA interferenza distruttiva	OA interferenza costruttiva	OA-OB	Valore atteso
68	58		10 ± 1	11,3
68	25		33 ± 1	34
68	101		33 ± 1	34
68		68	0 ± 1	0
		91	23 ± 1	22,7
		23	45 ± 1	45,4

Tabella 3. Posizioni dei massimi e minimi di interferenza di due sorgenti in A e in B che emettono la stessa frequenza sonora.

50cm dal nostro rilevatore, quindi tra la sorgente ed il rilevatore è stato posto un ostacolo quadrato di lato 8cm ad una distanza di 10 cm dal nostro rilevatore. Si consideri che, se le dimensioni dell'ostacolo sono molto più grandi della lunghezza d'onda della sorgente, non si ha diffrazione e si crea una zona d'ombra sonora dietro l'ostacolo, il software dovrebbe rilevare un segnale fortemente attenuato, altrimenti se le dimensioni dell'ostacolo sono minori o comparabili con la lunghezza d'onda si ha diffrazione. Nel nostro caso si deve tener conto che la nostra misura è influenzata anche da riflessioni sulle pareti della stanza e pertanto occorrerebbero ulteriori indagini. Abbiamo utilizzato dapprima una frequenza da 600 Hz ($\lambda = 56,7$ cm), poi una da 15000 Hz ($\lambda = 2,3$ cm) (Figura 7).

- 2 Si veda il link <https://www.youtube.com/watch?v=jBQlBexMI30>
 3 Si veda il link <https://www.youtube.com/watch?v=ITyKEf4bu0I>
 4 Si veda il link <https://www.youtube.com/watch?v=NlBwpFosXww>

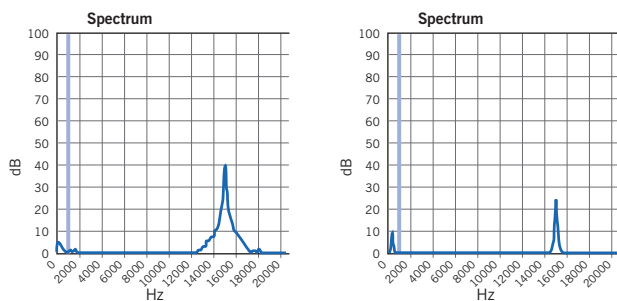


Figura 7. Segnale da 1500Hz rilevato ad una distanza di 50 cm senza (a sinistra) e con ostacolo di 8 cm.

ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI ED EFFICACIA DIDATTICA

Gli esperimenti sull'acustica qui presentati sono stati condotti in 6 ore di attività pomeridiana con il docente. L'alta tecnologia dei sensori di un cellulare ci ha permesso di condurre esperimenti di fisica misurando grandezze con una percentuale di errore al di sotto del 5%, risultato migliore della maggior parte della strumentazione didattica scolastica.

Sul profilo didattico la funzione di "strumento scientifico" che si dà allo *smartphone* lo arricchisce di un ulteriore significato per i nostri studenti, i quali si mostrano più propensi ad indagare un fenomeno fisico, perché la tecnologia presente nel cellulare è più *familiare*, la sentono propria e li spinge ad utilizzarlo con maggior convinzione, in autonomia. Il cellulare diventa per gli studenti un tutto fare, con esso possono registrare attività, misurare grandezze fisiche, analizzare i dati, cercare informazioni e condividerle in tempo reale e discuterle con altri compagni.

La creazione di gruppi misti ha facilitato l'apprendimento, soprattutto nei passaggi formali matematici, dove gli studenti più grandi hanno aiutato i più piccoli.

L'apprendimento è avvenuto in maniera informale nella prima fase di lavoro, dove i ragazzi hanno messo a punto gli esperimenti, hanno ricercato informazioni in rete, hanno imparato a utilizzare le App, hanno messo a punto il *proprio* strumento, cercando la soluzione ottimale nella ricerca del software; l'elevata

mobilità del dispositivo utilizzato ha permesso di sviluppare le idee in tempi relativamente veloci.

Una seconda fase formale, ha visto gli studenti impegnati nell'analisi dei dati e nel loro confronto con il modello teorico. La valutazione in itinere ha fatto emergere conoscenze e competenze aggiuntive alla sola attività didattica svolta in classe, ovvero si è notato che gli studenti hanno esteso l'utilizzo della strumentazione del proprio cellulare anche ad al-

tri fenomeni fisici, integrandoli con modelli matematici (ad esempio il campo magnetico generato da un microonde, da un altro cellulare durante una chiamata, lo spettro sonoro emesso da un gatto o altri animali, la velocità di volo di un uccello, ecc.).

CONCLUSIONI

Negli ultimi anni sono numerosi gli studi che provano l'efficacia didattica degli *smartphone* (Perez-Losada & Fort, 2012; Khun & Vogt, 2013) e sono sempre più numerosi gli esperimenti di fisica realizzabili con essi (Oprea & Miron, 2014).

Il nostro lavoro ha riguardato principalmente i fenomeni acustici; la fisica del suono è un argomento didattico che si presta a pochi esperimenti quantitativi, soprattutto a causa dell'elevato costo della strumentazione didattica. Utilizzando una delle tante App che usa il sensore microfono di uno *smartphone* e del materiale di tipo povero sono stati condotti esperimenti quantitativi per la determinazione della velocità del suono in aria e in acqua, si è sperimentato il legame tra la velocità del suono e la temperatura, verificata la legge di attenuazione sonora e l'effetto Doppler, condotta analisi sull'interferenza e la diffrazione sonora. La facile portabilità dello strumento ha fatto sì che gli studenti potessero condurre esperimenti, condividere dati ed analizzarli anche da casa. Il prodotto finale è stata una relazione multimediale per tutti i gruppi di lavoro.

Le App fisiche che utilizzano i sensori di uno *smartphone* offrono una gamma ancora inesplorata di possibili esperimenti; il cellulare non diventa solo un prodotto multimediale, ma anche uno strumento con cui indagare i fenomeni naturali che ci circondano.

Le diverse App che utilizzano i sensori acustici offrono sicuramente potenzialità enormi per la didattica della fisica delle onde (pensiamo anche ad esperimenti dove sono condotte misure sull'energia sonora di un urto) e certi percorsi, in via qualitativa, possono essere pensati anche per studenti della secondaria di primo grado. L'analisi degli spettri può essere sviluppata con studenti dell'ultimo anno di un liceo per affrontare argomenti quali la trasformata di Fourier e la teoria dei segnali in generale.

In generale le App che trasformano lo *smartphone* in uno strumento di indagine fisica risultano poco scaricate dagli studenti, ma solo perché necessitano di una guida che spieghi il loro utilizzo, in tal senso il docente di Fisica o Scienze può indirizzare, con ottimi risultati, ad un loro utilizzo attivo, anche selezionando le App stesse.

L'augurio è che lo sviluppo crescente di App di Scientifiche gratuite e non, porterà ad un sempre maggior utilizzo degli *smartphone* come *strumento* e non come *mezzo*, nelle nostre scuole, soprattutto laddove non sono presenti laboratori attrezzati. È più efficace lavorare con gli *smartphone* utilizzandoli per imparare *con* essi e non *tramite* essi.

BIBLIOGRAFIA

- Duncan, J., & Starling, S.G. (1931). *A Text Book of Physics*. London, UK: MacMillan and Co.
- Galante, L., & Lombardi, A.M. (2013). Acustica con una bic e uno *smartphone*. *La fisica nella scuola, XLVI*(2), 54-58.
- Khun, J., & Vogt, P. (2013). Applications and Examples of Experiments with Mobile Phones and Smartphones on Physics Lessons. *Frontiers in Sensors, 1*(4).
- Oprea, M., & Miron, C. (2014). Mobile phones in the modern teaching of physics. *Romanian reports in Physics, 66*(4), 1236-1252.
- Perez-Losada, J., & Fort, J. (2012). Using smartphones to enhance undergraduate learning in laboratory classes. *The University: An Institution of Society*. Barcelona, ES: CIDUI.