

Le moderne tecnologie digitali per il laboratorio di fisica Modern digital technologies for the physics lab

G. Organtini

Sapienza Università di Roma, Roma, Italia

Riassunto. Le moderne tecnologie digitali come gli smartphone e le schede Arduino rappresentano una preziosissima risorsa per praticare attività di laboratorio nelle scuole. Questi strumenti permettono di superare numerosi limiti, tipici dei laboratori tradizionali, e persino di continuare l'attività sperimentale in periodi difficili come quello in cui ci troviamo a causa della pandemia da COVID-19, per la quale la prima attività a esser stata sacrificata è proprio il laboratorio. L'adozione dei modelli proposti in questo articolo va ben al di là delle opportunità offerte per svolgere attività in remoto, rappresentando un'occasione unica e formidabile d'innovazione non solo tecnologica, ma, soprattutto, metodologica.

Abstract. Modern digital technologies such as smartphones and Arduino boards are an invaluable resource for laboratory activities in schools. These tools allow to overcome many limitations of traditional laboratories and even to continue experimental activities in difficult periods such as the one we are experiencing due to the COVID-19 pandemic, for which the first activity to be sacrificed is the laboratory. The adoption of the models proposed in this article goes well beyond the opportunities offered to carry out activities remotely, representing a unique and formidable opportunity for innovation, not only technological, but, above all, methodological.

1. Introduzione

Nella scuola moderna, l'insegnamento delle discipline non è fine a sé stesso, ma concorre al raggiungimento di un più ampio obiettivo, consistente nella formazione complessiva del cittadino adulto. Nella maggior parte dei casi, le persone che ottengono un diploma di scuola superiore, presto o tardi dimenticheranno molti dei contenuti specifici di tutte le discipline fuorché di quelle effettivamente praticate. Pretendere che un commercialista o un ferroviere ricordi, a distanza di anni, la Legge di Biot-Savart, è ovviamente velleitario, oltre che inutile. Viceversa, assicurarsi che un giornalista o un operatore di mezzi meccanici sia capace di comprendere le ragioni del confinamento, cui siamo costretti in conseguenza della pandemia da COVID-19, è di capitale importanza.

Per tale ragione, l'insegnamento della fisica prevede, nel caso dei licei scientifici [1], che lo studente sappia “osservare e identificare fenomeni; formulare ipotesi esplicative

utilizzando modelli, analogie e leggi; formalizzare un problema di fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione; fare esperienza e rendere ragione del significato dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, scelta delle variabili significative, raccolta e analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli; comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui vive". Tra tutte le competenze citate, l'unica sulla quale si può essere certi che la scuola abbia almeno provato a raggiungere è quella di "formalizzare un problema di fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione". Tutte le altre competenze si possono acquisire soltanto attraverso la pratica del laboratorio, la quale, per molte e valide ragioni, è troppo spesso trascurata (s'intende che quanto affermato qui e sotto riguarda una porzione —pur non trascurabile— delle istituzioni scolastiche: esistono, evidentemente, eccellenze alle quali tali affermazioni non si applicano).

Se per i licei scientifici la descrizione degli obiettivi da raggiungere è decisamente in favore degli aspetti epistemologici della disciplina, a maggior ragione, nelle altre tipologie di istituti, i contenuti specifici della disciplina dovrebbero rivestire un'importanza ancora minore rispetto a quelli che promuovono le capacità di osservazione critica e di interpretazione della realtà.

Sfortunatamente, un po' per tradizione e un po' per le effettive difficoltà, nelle scuole si tende a insegnare soprattutto i contenuti, anche perché, non lo si può negare, se da una parte le autorità raccomandano un insegnamento quanto meno nozionistico possibile, dall'altra, nel caso dei licei scientifici, imponendo la soluzione di un compito proveniente dall'amministrazione centrale, rendono di fatto obbligatorio insistere sulla soluzione dei problemi. Va detto, tuttavia, che le cose stanno, sia pur lentamente, cambiando, e la presenza di problemi che coinvolgono l'analisi di dati sperimentali, almeno nelle simulazioni, lascia ben sperare in un cambio di passo, che deve tuttavia accompagnarsi a un'adeguata formazione degli insegnanti che devono, a loro volta, cominciare a introdurre questo tipo di attività nelle loro lezioni, adeguatamente supportati dai libri di testo.

Laddove le scuole dispongono di un laboratorio, inteso come un locale dedicato presso il quale si trovino strumenti idonei allo svolgimento di esperienze di fisica, gli studenti che lo frequentano, per lo più, partecipano da spettatori, nel senso che assistono a esperimenti condotti dall'insegnante o dal tecnico di laboratorio. Gli esperimenti in questione sono quasi sempre concepiti al fine di dimostrare la validità di una legge appresa da un libro, e questo è uno dei motivi per cui una frazione degli insegnanti tende a evitare di farne. A causa delle inevitabili differenze tra gli oggetti reali e i modelli matematici, nonché per effetto di fluttuazioni statistiche ed errori sistematici, difficilmente il risultato di un esperimento è del tutto conforme alle attese, per com'è inteso il risultato.

Non è infrequente, tuttavia, che la scuola non disponga di locali idonei, né di attrezzature che, se ci sono, in molti casi sono obsolete e prive di documentazione. Il personale in grado di usarle scarseggia e, soprattutto, si ha la sensazione che la frequenza del laboratorio sottragga molto tempo alla didattica.

Nell'ultimo anno, a questa già critica situazione, si è aggiunto il problema della pandemia che ha costretto le scuole a rinunciare ai laboratori per recuperare spazio oppure a evitarne la frequenza, vuoi per l'imposizione della (famigerata) didattica a distanza (DaD), vuoi per l'inopportunità di creare assembramenti.

La disponibilità delle nuove tecnologie digitali, fortunatamente, permette già da anni di superare moltissime delle criticità sopra esposte e, in effetti, da ben prima che esplodesse il problema del COVID-19, piccoli gruppi di ricercatori in tutto il mondo cercano di proporre alternative al modo di condurre le esperienze di laboratorio. La pandemia ha acuito il bisogno di alternative e, come spesso avviene, ha rappresentato uno stimolo per trasformare un problema in un'opportunità.

I tradizionali problemi della didattica laboratoriale si possono infatti superare senza o con poche difficoltà attraverso l'adozione di modelli e metodi illustrati nel seguito, che non rappresentano soltanto una valida ed efficace soluzione per i problemi derivanti dai ripetuti *lockdown*, ma una vera e propria rivoluzione, i cui effetti benefici si apprezzeranno a lungo e ben oltre le contingenze del momento.

2. La formazione degli insegnanti per un nuovo laboratorio

Le nuove tecnologie illustrate sotto rappresentano una preziosa risorsa per l'insegnamento della fisica perché risultano semplici da utilizzare e offrono una vasta gamma di opportunità. Si prestano, inoltre, a essere impiegate nei modi più svariati e con livelli di approfondimento diversificati, rendendosi idonee, praticamente, per ogni indirizzo di scuola e per livelli di competenze molto diversificate.

Non è dunque difficile, per un insegnante preparato, acquisire le competenze necessarie per progettare esperimenti con tali strumenti. È tuttavia evidente che, in mancanza di una preparazione specifica nelle attività di laboratorio (è il caso, ad esempio, degli insegnanti laureati in matematica) o di un perdurante allontanamento della pratica laboratoriale, l'allestimento di esperimenti possa comunque risultare difficile, indipendentemente dalla disponibilità della strumentazione suggerita.

È per questo che ci pare opportuno avviare una fase di formazione specificatamente indirizzata alla soluzione di questo problema. Che, da una parte, fornisca esempi e spunti per l'esecuzione di esperimenti interessanti da un punto di vista didattico, declinati in modi diversi, in maniera tale che siano fruibili tanto dai più smaliziati quanto dai meno avvezzi; dall'altra, la formazione deve auspicabilmente mettere in grado gli insegnanti già in servizio e gli aspiranti tali di acquisire le competenze necessarie.

Questo tipo di formazione passa inevitabilmente per l'organizzazione di attività dedicate nelle quali la pratica laboratoriale è prevalente. In questo articolo, dopo una breve illustrazione delle opportunità offerte dai nuovi strumenti, proponiamo alcuni modelli di formazione che si possono adottare che sono, a nostro giudizio, facilmente scalabili e molto efficaci.

3. Gli strumenti del nuovo laboratorio

Tra gli strumenti per un nuovo laboratorio di fisica, due sono particolarmente importanti per ragioni economiche e perché molto diffusi: gli smartphone e le schede Arduino. Sono strumenti complementari e hanno ciascuno ambiti di applicazione diversi ed estremamente fruttuosi. Nelle sezioni che seguono ne illustriamo le peculiarità e le possibilità offerte.

3.1. Gli smartphone

Uno smartphone si può considerare un vero e proprio *coltellino svizzero* per le misure di fisica. Tutti i dispositivi di questa classe, per il loro funzionamento, devono necessariamente disporre di un microfono e un altoparlante (per fare telefonate), di un sensore d'immagini (per acquisire fotografie e filmati) e di un accelerometro (necessario per permettere al dispositivo di determinare la propria orientazione rispetto alla verticale, attraverso una misura delle componenti del vettore accelerazione di gravità, nel proprio sistema di riferimento). Oltre a questi, in molti smartphone è presente un giroscopio, che misura le velocità angolari attorno ai tre assi del telefono, usato nei videogiochi e nelle applicazioni di realtà aumentata e virtuale; un magnetometro è spesso associato a un sensore GPS per consentire l'uso del dispositivo come navigatore satellitare; in alcuni smartphone, un sensore di pressione consente una più accurata determinazione della propria posizione rispetto a quella ottenibile col GPS.

Con uno smartphone, dunque, si possono immaginare decine di esperimenti per la misura di accelerazioni, velocità angolari, intensità luminosa e sonora, pressione e campi magnetici, grazie all'utilizzo di App dedicate. Tra queste, PHYPHOX [2], realizzata dal politecnico di Aachen, e PHYSICS TOOLBOX [3], distribuita da Vieyra Software, entrambe gratuite e disponibili sia per sistemi operativi iOS che per Android, sono tra le più interessanti.

Le App consentono, attraverso l'acquisizione dei dati provenienti direttamente dai sensori di cui il telefono è dotato, la misura precisa e accurata delle grandezze fisiche d'interesse, di osservarne i grafici in funzione del tempo sullo schermo del dispositivo e di salvare i dati in formati diversi per ulteriori analisi.

Attraverso l'uso di questi dispositivi si possono realizzare esperimenti con materiale facilmente reperibile ma, al contempo, di grande precisione. È facile realizzare esperienze dalle quali gli studenti desumono la forma delle leggi fisiche da studiare e ne misurano i parametri. Per esempio, basta qualche metro di filo conduttore e qualche pila per misurare l'intensità, la direzione e il verso del campo magnetico prodotto da una corrente e desumere, direttamente dalle misure, la Legge di Biot-Savart, citata in apertura di quest'articolo, determinando il valore della permeabilità magnetica μ_0 [4].

Non è necessario disporre di locali dedicati per eseguire tali esperimenti. Questi si possono allestire direttamente in classe e persino assegnare come compito a casa.

Nei fatti, lo strumento di misura (lo smartphone) è a costo zero, perché, benché per nulla economico, tutti gli studenti ne possiedono almeno uno per tutt'altro motivo.

Oltre a permettere l'esecuzione di esperimenti altrimenti difficili da fare, gli smartphone sono stimolanti per gli studenti e permettono di sfruttare le competenze di ciascuno nel migliore dei modi, esaltando, al contempo, la creatività degli studenti, come recentemente mostrato in un'attività condotta in collaborazione con l'Università di Paris-Saclay [5].

3.2. Arduino

Le schede Arduino sono dotate di un microprocessore programmabile collegato a numerose porte di I/O digitali (che possono, cioè, assumere due soli stati) e a varie porte analogiche, attraverso le quali è possibile digitalizzare una tensione continua in ingresso compresa tra 0 e 5 V.

Hanno costi molto contenuti: le schede originali hanno prezzi che oscillano attorno ai 20–25 euro, ma esistono schede compatibili —e perfettamente legali— a prezzi decisamente inferiori, fino ai 5 euro.

Il microprocessore si programma attraverso un linguaggio molto semplice, la cui sintassi è mutuata da quella comune a molti linguaggi moderni come il C o Java. Per chi conosce già questi linguaggi, imparare a programmare Arduino è molto semplice. Al contrario, chi non ha mai avuto esperienza di programmazione, dall'uso di Arduino trarrà importanti insegnamenti e imparerà facilmente a usare un linguaggio per scopi più generali.

Sul mercato, inoltre, è disponibile una vasta gamma di accessori consistente in numerosi sensori per la misura e la digitalizzazione delle più svariate grandezze fisiche, il cui costo, per lo più, è nella fascia 0.50–10 euro.

Con Arduino è dunque facile realizzare esperimenti per la misura di numerose grandezze fisiche, con poco sforzo e una spesa contenuta. Si può partire con un investimento minimo per far crescere, all'occorrenza, il parco sensori e le competenze, man mano che si procede con la conoscenza del sistema.

La curva di apprendimento è leggermente più ripida di quella necessaria per l'uso degli smartphone, ma l'uso di Arduino permette un maggiore controllo dei dettagli dell'acquisizione dei dati, una maggiore consapevolezza di come funziona l'esperimento e lo sviluppo di competenze trasversali diverse. Con Arduino si possono realizzare esperimenti che con gli smartphone risultano impossibili o difficili. In particolare, Arduino permette, insieme a un sensore ultrasonico, di eseguire misure di distanza in funzione del tempo o di altre grandezze fisiche, e molte misure elettriche, che sono precluse a uno smartphone (a meno che non si realizzino apposite interfacce per utilizzarne l'ingresso microfono, che tuttavia richiedono strumentazione e competenze di elettronica, ed eventuali errori rischiano di compromettere l'uso del telefono). Grazie all'uso di sensori di temperatura è anche possibile eseguire misure calorimetriche.

Come nel caso degli smartphone, anche Arduino permette di sviluppare le abilità innate di ciascuno ed è naturalmente stimolante per molti studenti. I costi estremamente ridotti consentono di proporre l'acquisto direttamente agli studenti che, in molti casi, una volta imparate le tecniche di base, lo utilizzano anche per altri scopi. Non va trascurato il valore aggiunto che può fornire nella ricerca di un lavoro, al ter-

mine del periodo di formazione: tutte le moderne tecniche di automazione industriale sono, infatti, mutate da quelle impiegate per il funzionamento di questi dispositivi.

4. Un nuovo modello per il laboratorio

La disponibilità delle tecnologie illustrate sopra offre la possibilità di modificare radicalmente il rapporto che si ha con il laboratorio di fisica nelle scuole. Come già ricordato nell'introduzione, il modello attualmente più diffuso consiste nel frequentare il laboratorio occasionalmente, dopo aver illustrato i fenomeni fisici e la loro interpretazione in classe, allo scopo di assistere a dimostrazioni, spesso qualitative, condotte dall'insegnante, che hanno la funzione di consolidare le nozioni apprese nel corso delle lezioni.

Nel modello che proponiamo, il laboratorio non coincide necessariamente con un luogo fisico. Le esperienze possono essere condotte direttamente dagli studenti, da soli o in piccoli gruppi, a scuola come a casa. Gli esperimenti si possono eseguire ancor prima d'aver introdotto il tema in oggetto nelle lezioni frontali. Si può, per esempio, chiedere agli studenti di realizzare un dispositivo per lo studio di come varia una grandezza fisica in funzione di un'altra (per esempio, il periodo di oscillazione di un pendolo in funzione della lunghezza del filo e/o della massa), discutendo in classe i risultati ottenuti e utilizzando i dati raccolti allo scopo di elaborare il modello matematico e sottoporlo a verifica. L'attività può essere guidata o aperta: idealmente le prime esperienze saranno descritte in modo piuttosto dettagliate, per poi lasciare sempre più l'iniziativa alla creatività degli studenti. Anche laddove le misure siano di qualità scadente, è possibile trarne spunto per discutere gli effetti delle fluttuazioni di natura statistica, dell'accuratezza dei modelli e degli errori sistematici. Suggeriamo, naturalmente, di avere sempre a disposizione un insieme di dati raccolti con gli stessi strumenti, ottenuti nel corso di un esperimento ben progettato ed eseguito con la massima cura, da utilizzare qualora nessuno, tra gli studenti coinvolti, sia riuscito a ottenerne di sufficientemente precisi.

Attraverso l'adozione di *smartphone* e *Arduino* quali strumenti di misura si superano i limiti imposti dai vincoli fisici relativi alla disponibilità di locali e di strumenti adeguati. Anche le difficoltà legate alla disponibilità finanziaria per l'acquisto della strumentazione di laboratorio sono ridotte al minimo, se non del tutto azzerate, richiedendo agli stessi studenti l'acquisto dei materiali (che hanno costi del tutto comparabili con quelli che di norma presentano i consumabili per la scuola, come i quaderni, le penne, gli strumenti per il disegno, etc.).

La disponibilità di tempo per le lezioni frontali non è affetta dall'adozione di questo modello, nel quale gli esperimenti si possono fare a casa, in alternativa ai compiti tradizionali consistenti nella soluzione di problemi, che molto spesso si riducono a una mera applicazione di competenze di tipo matematico. L'esecuzione degli esperimenti in proprio fissa nella mente dei discenti i fenomeni e ciò rende l'insegnamento più efficace. È sufficiente proporre l'esecuzione di non più di 3-4 esperimenti con lo *smartphone* e 1-2 esperimenti con *Arduino* l'anno per ottenere risultati più che apprezzabili.

A titolo di esempio, nella sez. 6 proponiamo una lista di esperimenti semplici, ma efficaci.

5. Risorse per insegnare

La disponibilità di testi a supporto di quest'attività è evidentemente un elemento fondamentale. L'autore di questa pubblicazione ha realizzato un manuale per le scuole, in italiano, edito da Zanichelli [6], e un testo in inglese, piú avanzato, per le università [7].

Il carattere aperto di Arduino e di progetti come PHYPHOX induce chi utilizza queste risorse a condividere con altri le proprie esperienze. Per questo, sulla rete sono numerose le risorse disponibili per prendere spunto per nuovi esperimenti o per imparare a usare gli strumenti in questione. Può anche essere una buona idea quella di sfruttare tale carattere per integrare le lezioni con elementi di discipline diverse, come l'arte o il diritto (parlando, per esempio, delle licenze *open* e dei modelli di distribuzione), nonché per indurre gli stessi studenti a condividere i loro stessi lavori pubblicando sul sito della scuola i resoconti dettagliati e le informazioni necessarie a replicare l'attività.

Recentemente, è stato pubblicato il sito www.smartphysicslab.org, attraverso il quale sono distribuite proposte di laboratorio con un carattere aperto, ma ben focalizzate su un obiettivo consistente nella determinazione di grandezze fisiche o della forma di una legge fisica. Il sito distribuisce le proposte in un formato uniforme, già pronte per essere distribuite agli studenti, con una sezione dedicata all'insegnante che descrive i possibili usi della proposta, le potenziali sorgenti di errori sistematici, le eventuali difficoltà di realizzazione, tempi di realizzazione e altri dettagli. Tutte le proposte sono pubblicate in lingua inglese, ma è in corso, al momento in cui scriviamo, la traduzione in lingua italiana delle stesse (similmente per le altre lingue).

I fruitori possono scaricare e usare le proposte tal quali, in formato PDF, oppure accedere ai file sorgente in latex [8] per modificarli secondo le proprie esigenze. È in programma la distribuzione delle stesse proposte in formato Word, per maggiore comodità. Tutti i testi sono rilasciati con licenza Creative Commons Internazionale 4.0 [9] che impone soltanto di citare l'autore originale.

Tutti possono contribuire allo sviluppo di nuove proposte o al miglioramento di quelle già presenti, registrandosi sul sito e sottoponendo le richieste di emendamento al comitato editoriale, formato da fisici esperti provenienti da diverse parti del mondo: dall'Europa alle Americhe.

6. Esempi di attività

In questa sezione elenchiamo alcuni tra i piú semplici, ma istruttivi, esempi di attività che si possono assegnare a studenti di un liceo scientifico, secondo gli anni di corso, basandoci sulle indicazioni nazionali [1].

Al secondo biennio è prevista la discussione delle leggi del moto e dei sistemi di riferimento inerziali e non. Segue lo studio di altri fenomeni meccanici, delle leggi di Newton e della gravità. Si prevede di studiare le leggi dei gas per giungere alla formulazione del primo principio della termodinamica. S'inizia lo studio dei fenomeni ondulatori per poi passare a quello dell'elettricità e del magnetismo.

Al quinto anno si prevede l'introduzione dell'elettromagnetismo e quello della fisica moderna.

Lo studio delle leggi del moto si può eseguire banalmente attraverso la realizzazione di filmati [4], acquisiti con un comune smartphone, nei quali si osservano moti piani di varia natura. La misura delle coordinate raggiunte in funzione del tempo si ottiene facilmente con opportuni software [10] o, più semplicemente, attraverso la misura diretta delle distanze tra gli oggetti in moto e gli assi cartesiani rappresentati dai bordi dell'inquadratura; la coordinata temporale si ricava avanzando da un fotogramma al successivo, conoscendo la frequenza di acquisizione delle immagini (tipicamente attorno ai 20–30 fps). Alcuni dispositivi sono anche in grado di eseguire riprese in *slow motion* con frequenze che vanno dai 400 ai 2000 fps, il che offre una risoluzione temporale eccezionale.

Una misura dell'accelerazione di gravità si ottiene con un esperimento che dimostra anche l'indipendenza del moto di caduta libera sui due assi orizzontale e verticale [11]: il cronometro acustico di PHYPHOX permette di misurare con precisione l'intervallo di tempo che intercorre tra due suoni sufficientemente intensi. L'esperimento consiste nel lanciare una moneta (o altro oggetto di dimensioni contenute) colpendolo con un attrezzo (un coltello), facendo in modo che cada dal bordo di un supporto (una sedia, un tavolo, una mensola). Il rumore del colpo iniziale e dell'impatto col suolo permette di misurare il tempo di caduta, mentre una misura diretta della distanza raggiunta dal punto di partenza permette di ottenere una stima della velocità inizialmente impressa al corpo, diretta orizzontalmente. Si verifica facilmente che il tempo di caduta t non dipende dalla distanza orizzontale percorsa (quindi è indipendente dalla velocità iniziale), mentre una misura di t in funzione dell'altezza iniziale permette di misurare l'accelerazione di gravità.

Ponendo uno smartphone in un sistema rotante, come una centrifuga per insalate, si può studiare la fisica nei sistemi di riferimento accelerati [4]. PHYPHOX permette di eseguire misure con l'accelerometro e col giroscopio praticamente insieme e ciò permette di ricavare sperimentalmente le relazioni esistenti tra le accelerazioni sperimentate nel sistema di riferimento del telefono e la velocità angolare. È utile illustrare il funzionamento di questi due strumenti, per fissare nelle menti degli studenti i concetti più difficili della dinamica.

Con Arduino e un sensore di temperatura e pressione [6] si possono studiare le leggi dei gas e ricavare alcune costanti o parametri interessanti, come l'origine della scala kelvin o la massa molare dell'aria.

I fenomeni ondulatori si studiano grazie alla presenza del microfono sugli smartphone [4]. È facile produrre fenomeni d'interferenza usando due sorgenti sonore in fase realizzate, per esempio, con una coppia di auricolari, al variare della posizione relativa tra sorgenti e rivelatore. Usando sorgenti di frequenza diversa si producono e

si osservano facilmente i battimenti. Anche esperimenti sull'effetto Doppler [11] sono relativamente semplici da realizzare: non occorrono, infatti, velocità molto alte per misurarne gli effetti, grazie all'elevata sensibilità dello strumento.

La già citata legge di Biot-Savart si studia semplicemente ponendo uno smartphone a varie distanze da un filo rettilineo percorso da corrente. Le correnti necessarie sono piuttosto modeste (1–2 A) e l'apparato sperimentale facile da realizzare. È richiesto un trattamento non banale, ma tutto sommato facile, dei dati sperimentali, dovendo sottrarre dai dati le componenti del campo magnetico terrestre.

Con Arduino, un comune condensatore elettrolitico da pochi μF e un resistore da qualche $\text{k}\Omega$ si studia il comportamento di un circuito RC e se ne può misurare accuratamente il tempo caratteristico.

Sempre usando Arduino, è possibile osservare i fenomeni dell'induzione elettromagnetica [4]: basta far cadere un magnete lungo un tubo attorno al quale sono state avvolte una dozzina di spire di comune filo da elettricista per osservare un chiaro segnale elettrico proporzionale alla velocità di passaggio del magnete, stimabile con la conservazione dell'energia.

Quelli elencati non sono che esempi tra i più comuni e semplici. Le alternative possibili e le varianti sono numerose e facilmente reperibili in rete.

7. Un modello per la formazione insegnanti

È indubbio che attività di formazione efficaci possano essere condotte soltanto da persone che, a loro volta, hanno appreso e fatto proprie le tecniche che devono essere trasmesse. Per questa ragione la formazione degli insegnanti che intendono adottare il nuovo modello di laboratorio di fisica descritto sopra è di notevole importanza e non può essere trascurato.

Imparare a fare attività di laboratorio è soprattutto questione di esperienza, pertanto, più che puntare su una formazione in termini di trasmissione di contenuti, è necessario che chi si appresta a insegnare la fisica sperimentale faccia esperienza a sua volta. Sugeriamo, dunque, di acquisire la strumentazione necessaria e cominciare gradualmente a eseguire qualche esperimento, partendo dai più semplici, per poi incrementare sempre più le proprie conoscenze in materia.

Un supporto è tuttavia necessario. In aggiunta alle risorse costituite dai volumi già citati, [6] e [7], sul mercato esistono numerose risorse destinate a imparare l'utilizzo di Arduino. Si tratta, per lo più, di risorse destinate a hobbisti e tecnici, quindi non direttamente connesse alla misura nel laboratorio di fisica, ma che introducono in modo più o meno dettagliato al linguaggio di Arduino e alle sue possibilità. Per l'utilizzo degli smartphone si rimanda invece alle numerose risorse presenti in rete e al bel libro di Delabre [12], al momento disponibile solo in francese, dedicato agli esperimenti di fisica col cellulare e molto ben fatto.

Al sito <https://www.smartphysicslab.org/> è associato un canale Slack [13], attraverso il quale i membri della comunità possono scambiarsi pareri, suggerimenti e istruzioni, possono ricevere e offrire aiuto nella conduzione di esperimenti e proporne

di nuovi. Auspicabilmente questo strumento dovrebbe portare al coagularsi di una comunità di insegnanti e ricercatori attivi nel settore della fisica sperimentale che offra un ampio ventaglio di opportunità d'ogni tipo.

Sapienza Università di Roma, negli anni passati, ha offerto la possibilità di partecipare alle “scuole di fisica con Arduino e smartphone” [14]. Si tratta di un corso di formazione destinato a insegnanti e aspiranti tali, che segue il modello che intende proporre nelle scuole, nel quale la maggior parte del tempo è dedicata ad attività di laboratorio (*hands-on*). La scuola è organizzata come un'attività a tempo pieno su tre giorni consecutivi, così organizzata.

- La mattina del primo giorno i partecipanti sono accolti da una piccola colazione, per favorire la conoscenza reciproca; successivamente un esperto illustra la programmazione di Arduino e, dopo un *coffee break*, l'utilizzo degli smartphone e i principi di funzionamento degli strumenti a bordo di questi dispositivi per le misure di fisica.
- Nel pomeriggio i partecipanti sono divisi in gruppi composti di un massimo di tre persone, ciascuno dei quali deve progettare un esperimento. Il tema è libero. I gruppi devono provare a ideare un'attività che conduca, attraverso una serie di misurazioni, a ottenere il valore di qualche grandezza fisica o la forma di una legge fisica. In questa fase i gruppi sono supportati da *tutor* che valutano la fattibilità dell'esperimento in fase di sviluppo e suggeriscono eventuali modifiche.
- La mattina del secondo giorno è dedicata alla *shopping session*. Allo scopo di dimostrare come si possano realizzare esperimenti sofisticati con materiale *povero*, tutti i partecipanti si recano in un negozio di casalinghi nei pressi del locale in cui si svolge l'attività, per acquistare i materiali necessari a compiere gli esperimenti. A ciascun partecipante è assegnato un fondo forfettario di 20 euro, trasferibile in tutto o in parte ad altri, in modo tale che la spesa complessiva non superi la cifra di $20 \times N$ euro, con N pari al numero di partecipanti. Rientrati nella sede di svolgimento del corso, i gruppi iniziano a realizzare i propri esperimenti, completamente da zero, ma con l'aiuto di tutor e tecnici.
- L'attività sperimentale prosegue nel pomeriggio, durante il quale si eseguono le prime misure e si apportano eventuali modifiche agli esperimenti.
- La mattina del terzo giorno è dedicata al completamento delle misure e all'analisi dei dati.
- Nel pomeriggio del terzo e ultimo giorno ciascun gruppo presenta agli altri il proprio esperimento e i risultati ottenuti.

L'attività, a Roma, si svolge in un FabLab ⁽¹⁾ nel quale i partecipanti hanno a disposizione molti materiali di varia natura, oltre a quelli che possono acquistare per l'occasione, e che dispone di una taglierina laser che, nelle edizioni che si sono succedute, si è dimostrata essere uno strumento di grandissima utilità e versatilità, tanto che se ne suggerisce l'acquisto alle scuole che intendono adottare un modello di

⁽¹⁾ la “Palestra dell'innovazione” della Fondazione Mondo Digitale - <https://mondodigitale.org>.

laboratorio di fisica come quello che proponiamo, in modo da poter fornire agli alunni un supporto tecnico notevole.

Pur non essendo obbligatorio, ai partecipanti è caldamente consigliato fermarsi presso il FabLab per il pranzo. La pausa rappresenta un momento fondamentale di discussione, durante la quale i partecipanti si scambiano idee, propongono miglioramenti ed esprimono le proprie opinioni in un ambiente informale e stimolante. In questa fase si gettano le basi per future collaborazioni tra scuole.

Il modello è facilmente replicabile in ogni sede nella quale sia presente un locale idoneo per accogliere i partecipanti e adatto alla realizzazione di attività sperimentali (devono esserci tavoli di lavoro, attrezzi, consumabili, etc.). È utile individuare un negozio fornito nelle vicinanze che sia disposto ad accogliere la visita dell'intero gruppo e a fatturare la merce acquistata all'organizzatore che, dal canto suo, deve essere posto nelle condizioni di procedere all'acquisto e al pagamento senza eccessiva burocrazia. Le spese si possono coprire facilmente chiedendo ai partecipanti di versare una quota d'iscrizione pagabile con la Carta del Docente, trattandosi di attività di formazione. In questo modo l'attività è economicamente sostenibile e potenzialmente in grado di espandersi esponenzialmente. Una frazione dei partecipanti, infatti, diventerà in poco tempo sufficientemente esperta da poter svolgere essa stessa l'attività di formazione, moltiplicando così le occasioni e raggiungendo qualsiasi località.

Bibliografia

- [1] Decreto Ministeriale 211 del 7 ottobre 2010 "Indicazioni Nazionali", allegato F.
- [2] STAACKS S. *et al.*, "Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox", *Phys. Educ.*, **53** (2018) 045009, <https://phyphox.org/>.
- [3] VIEYRA R., VIEYRA C., MARTI A., MONTEIRO M. e JEANJACQUOT P., "Turn your smartphone into a science laboratory", *Sci. Teach.*, **82** (2015) 32, <https://www.vieyrasoftware.net/>.
- [4] WALKER J., *Fondamenti di Fisica*, 6^a edizione (Pearson) 2020.
- [5] BOUQUET F., ORGANTINI G., KOLLI A. e BOBROFF J., *61 Ways to Measure the Height of a Building with a Smartphone*, arXiv:2010.11606 (2021), submitted to *Phys. Ed.*, <http://hebergement.universite-paris-saclay.fr/supraconductivite/smartphone-physics-challenge/?lang=en>.
- [6] ORGANTINI GIOVANNI, *Fisica con Arduino* (Zanichelli, Bologna) 2020.
- [7] ORGANTINI GIOVANNI, *Physics experiments with Arduino and smartphones* (Springer) 2021.
- [8] GOOSSENS MICHEL, *The LaTeX companion* (Addison-Wesley) 1994.
- [9] La licenza Creative Commons adottata è illustrata alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [10] BROWN D., CHRISTIAN W. e HANSON R., *Tracker*, *AAPT Winter Meeting, 2013, New Orleans*, <https://physlets.org/tracker/>.
- [11] L'esperimento è descritto in dettaglio su <https://www.smartphysicslab.org/resources.html>.
- [12] DELABRE U., *Smartphonique* (Dunod, Paris) 2019.
- [13] Slack è una piattaforma per la comunicazione: <https://slack.com/intl/it-it/>.
- [14] Il bando e il piano formativo della scuola si trovano all'indirizzo <https://www.uniroma1.it/it/offerta-formativa/corso-di-alta-formazione/2019/fisica-con-arduino-e-smartphone>.