

# Esperimenti di Galileo con Arduino

Matteo Torre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Liceo Scientifico “G. Peano” di Tortona (AL), [matteo.torre1984@gmail.com](mailto:matteo.torre1984@gmail.com)

*Abstract:* Galileo’s experiments are fascinating examples of how the scientific method works. Despite this, some scientists and historians assert that Galileo did not make experiments. During the school year 2022-23 in a III Liceo class, talking about classical physics and Galileo, I proposed an analysis of one of Galileo’s fundamental experiments, in a modern interpretation through the use of Arduino. In 1607 Galileo talks about motion with a manuscript (Folio 116v) in which he reports some experimental results whose interpretation is very important: Galileo assumes that velocity is a continuously variable quantity and is proportional to time and asserts that the speeds of bodies, falling from a certain height, are in the same ratio as the square roots of the distances. This result is fundamental for classical physics. The experimental device used by Galileo, and reconstructed with Arduino by a group of students, was a plane 30° inclined placed at a height of 828 points (77.7 cm) with respect to the reference. This height allows to have, for a fall on the inclined plane from 300 points height, a range of 800 points. The attempt results of some launches are marked in the manuscript both by a calculated value (“*doveria*”) and by a measured value, evidence that the experiment was carried out by Galileo. The study of this original source has allowed the students to relive a key moment of science history and the birth of experimental method through Galileo’s works, impossible to exclude from any high school path.

*Keywords:* Galileo, S. Drake, Physics education, History of physics in education, Arduino

## 1. Introduzione

L’insegnamento della fisica tramite esclusivamente i libri di testo o esperimenti “tradizionali” si riduce spesso alla sola trasmissione dei risultati trovati e accettati dalla comunità scientifica. Con questo modo di procedere, l’aspetto più importante della scienza, la ricerca, viene completamente ignorato. La storia della scienza può costituire un utile correttivo: la lettura degli articoli originali e la ricostruzione di esperienze così come sono state storicamente effettuate ci mostra concretamente come sono stati affrontati e risolti complessi problemi, talvolta seguendo linee di ricerca contrapposte. Il conoscere i contesti storico-culturali e le motivazioni dei dibattiti scientifici stimola inoltre, a mio giudizio, l’entusiasmo negli studenti verso l’apprendimento della scienza. La presentazione di questo percorso didattico su un “caso storico” delle opere di Galileo, che utilizza la lettura e il commento puntuale di memorie originali sia teoriche che sperimentali, non ha la presunzione di offrire nuove interpretazioni, ma vuole far comprendere come l’analisi dei testi originali unita ai recenti risultati della ricerca in didattica della fisica possa costituire una valida alternativa alle “tradizionali” pratiche di classe. Molte difficoltà incontrate dagli studenti nell’apprendimento della meccanica sono, infatti, dovute perlopiù a preconcezioni di senso comune che compaiono anche nelle opere dei filosofi della natura pregalileiani. Affrontare il dibattito scientifico che ha caratterizzato il periodo di transizione tra la fisica aristotelica e quella newtoniana potrebbe, quindi, aiutare a far emergere negli studenti tali preconcezioni e a confutarle efficacemente. Per provare a lavorare in questa direzione, durante l’anno scolastico 2022-23 in una III Liceo Scientifico ho affrontato il tema del moto parabolico e di un proiettile lanciato orizzontalmente esaminando alcuni scritti originali di Galileo che non solo testimoniano come lo stesso abbia realmente svolto esperimenti, ma fanno emergere questioni logiche ed epistemologiche importanti perché la

soluzione proposta da Galileo rappresenta uno dei primissimi esempi di uso cosciente del principio di sovrapposizione.

Il progetto didattico ha avuto una durata complessiva di 7 ore curriculari durante le quali si sono alternati momenti di spiegazione e riflessione collettiva e momenti laboratoriali in cui alcuni studenti hanno costruito un apparato sperimentale sul moto parabolico con materiali poveri, mentre un altro gruppo ha rielaborato l'esperimento descritto nel Folio 116v arricchendolo di un'interpretazione moderna tramite Arduino. Nel seguito descriverò il percorso didattico e le fasi laboratoriali, riportando alcuni dettagli delle fasi costruttive.

## 2. Il contesto storico che fa da sfondo alla progettazione

Una diffusa concezione pone Galileo come il padre fondatore della fisica classica e ne mette in rilievo il ruolo di rottura rispetto alla fisica aristotelica. In molti libri di fisica per le scuole superiori, infatti, si parte dagli errori di Aristotele per poi affermare che Galileo avrebbe costruito *ex novo*, sulle macerie della fisica aristotelica, la cosiddetta fisica classica. Aristotele è diventato così, nell'immaginario scientifico, il simbolo negativo e l'immagine stessa del peso autoritario di una tradizione di pensiero puramente speculativa e aliena dall'esperienza che a lungo avrebbe ostacolato e ritardato il progresso scientifico con i suoi dogmi, mentre Galileo appare come un eroe che si scaglia contro una millenaria e obsoleta tradizione di pensiero fino ad abbatterla.

La condanna dell'aristotelismo è nata agli albori del pensiero moderno e quasi tutti i maggiori autori del pensiero moderno: Giordano Bruno, Campanella, Bacone, Cartesio, fino a Galileo, hanno condannato e combattuto l'aristotelismo. Tuttavia, un simile giudizio, in parte comprensibile nell'epoca in cui nacque, si è cristallizzato e stratificato nel tempo fino a diventare una sorta di luogo comune e, banalmente, non solo non rende giustizia ad Aristotele ma rende anche incomprensibile la stessa grandezza di Galileo. Scrive al riguardo Koyré:

La fisica aristotelica è falsa, lo sappiamo bene. Ha irrimediabilmente perduto ogni valore. Ma è tuttavia una fisica, cioè una teoria profondamente, benché non matematicamente, elaborata. Non è né un prolungamento rozzo e verbale del senso comune né una fantasia puerile, bensì è una teoria, cioè una dottrina che, partendo dai dati del senso comune, li sottomette ad un'elaborazione sistematica estremamente coerente e rigorosa (Koyré 1976, p. 12).

In realtà il cammino che portò da Aristotele a Galileo fu lungo e complesso e a Galileo va dato il merito di aver riportato l'interesse per le opere della scienza ellenistica, come ci ricorda Lucio Russo:

L'ambiziosissimo obiettivo di Galileo era stato quindi il recupero, dopo tanti secoli di abbandono, del metodo scientifico ellenistico, consistente nell'elaborazione di sistemi ipotetico-deduttivi in cui inquadrare i fenomeni naturali. Il suo spirito critico gli fa individuare con chiarezza i propri modelli nei grandi scienziati del periodo aureo (Archimede, Apollonio, Euclide), senza che la sua evidente ammirazione sconfini in reverenza per una "Antichità" indifferenziata. Galileo non esita a dissentire sia da Aristotele sia da Tolomeo. [...] Galileo riuscì in effetti a riprendere dai suoi lontani maestri sia l'idea del metodo sperimentale sia quella del metodo dimostrativo (Russo 2021, pp. 428-430).

Questa è la permessa storica discussa in classe, in 2 ore di lezione, con l'obiettivo di affrontare in maniera critica e consapevole lo studio della fisica classica.

## 3. Il percorso didattico

Dopo l'introduzione storica, il percorso didattico è proseguito in classe con la seguente scansione:

- presentazione teorica del moto parabolico e del lancio orizzontale di un proiettile (2 ore);
- discussione dei contributi di Stillman Drake su Galileo, risultati centrali della ricerca storiografica contemporanea, e analisi di alcuni scritti originali di Galileo (2 ore);
- costruzione di alcuni esperimenti sul moto parabolico e sul lancio orizzontale di un proiettile con materiali poveri e con l'uso di Arduino (svolta a gruppi in orario pomeridiano);
- presentazione alla classe dei vari gruppi con commenti critici sul lavoro svolto (1 ora).

Le ore dedicate alla costruzione dei vari esperimenti, seppur svolte in orario pomeridiano, sono state supervisionate tramite videochiamata in cui gli studenti mi illustravano i loro progressi e io davvo loro eventuali feedback per migliorare o implementare i loro esperimenti. Questa prassi, oltre che per responsabilizzare i studenti, è risultata decisiva per capire il loro grado di comprensione.

Nel seguito descriverò le varie fasi del percorso didattico, omettendo la trattazione teorica del moto parabolico e del lancio orizzontale di un proiettile.

La discussione sui contributi di S. Drake relativi agli esperimenti di Galileo è stata molto apprezzata dagli studenti perché è servita loro per capire meglio la centralità degli esperimenti descritti nel lavoro di Galileo: prima di Galileo, infatti, sono stati scritti molti volumi sul moto da studiosi che non avevano mai misurato realmente nessun movimento di corpi in caduta. Dopo Galileo, eseguire misurazioni con grande cura e assoggettare i risultati all'analisi matematica divenne l'attività principale degli scienziati.

Fino agli anni '70 del XX secolo, in assenza di documenti su ciò che egli aveva fatto, gli storici della scienza che scrivevano su Galileo potevano unicamente speculare su ciò che aveva detto nei suoi ben noti scritti. Il più influente di questi storici, Alexandre Koyré, concluse che "Galileo non aveva fatto nulla", se non con il cannocchiale; per il resto, inclusa tutta la sua fisica, aveva soltanto "pensato" (Koyré 1976). Koyré non biasimava Galileo per questo, anzi considerava ciò come il massimo contributo di Galileo alla scienza. Pensare matematicamente intorno ai fenomeni fisici andava contro il carattere aristotelico e Koyré attribuiva a Galileo il merito di aver posto la fisica sulla "giusta strada", segnata a suo tempo da Platone. Allo stesso tempo, Koyré credeva di aver dimostrato che Galileo non poteva aver misurato i movimenti concreti così accuratamente da arrivare alla legge della caduta dei gravi.

Drake, invece, dimostrò tramite un'accurata analisi linguistica e scientifica degli appunti di Galileo (Drake 1981) che egli giunse alla legge dei quadrati dei tempi agli inizi del 1604 scoprendo dapprima la legge del pendolo, mettendola in relazione con la caduta dei gravi e alla proporzionalità tra la velocità e la radice quadrata delle verticali dall'origine. Tutti questi principi furono messi alla prova congiuntamente da nuovi esperimenti, come mostrato dal Folio 116v, documento chiave per il nostro percorso didattico. Dopo una parentesi dedicata a problemi di astronomia, nel 1607 Galileo ritorna ai problemi del moto. È di questo periodo un manoscritto (Fig. 1) che presenta dei risultati sperimentali la cui interpretazione è del massimo interesse: Galileo suppone che la velocità sia una quantità proporzionale al tempo e asserisce che le velocità dei corpi che cadono da una certa altezza sono nello stesso rapporto che le radici quadrate delle distanze percorse. Giunti a questo risultato, fondamentale per la fisica classica, si è scelto di analizzare il manoscritto (Fig. 1), suggerendo agli studenti un primo possibile sviluppo pratico-laboratoriale. Il Folio 116v si può interpretare nel modo seguente: una pallina viene fatta rotolare su un piano inclinato a partire da altezze  $H$  differenti. L'estremità inferiore del piano è curvata "a trampolino" per trasmettere alla pallina lungo una direzione orizzontale la velocità acquisita nel moto di caduta lungo il piano inclinato. La pallina inizia quindi un moto di caduta libera da un'altezza prefissata con velocità iniziale orizzontale. Si ottiene così la composizione di un moto verticale e di un moto orizzontale e si può misurare la distanza  $D$  (gittata) percorsa in direzione orizzontale tra l'istante di stacco e l'istante di impatto della pallina con il piano di riferimento. Come primo suggerimento è stato chiesto a un gruppo di studenti di verificare che la gittata è proporzionale al valore della velocità orizzontale iniziale, verificando anche così che la velocità di caduta di una biglia lungo il piano inclinato è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza del piano inclinato.

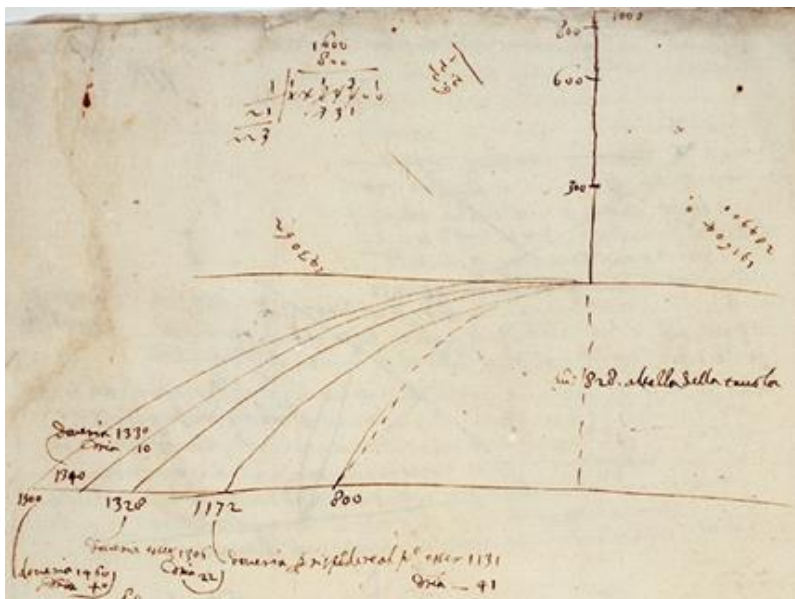


Fig. 1. Folio 116v, vol. 72 (mss galileiani, Biblioteca Nazionale, Firenze)

Per verificare quanto detto, è stata suggerita la costruzione di un trampolino di lancio agganciato a un sostegno (Bonera 1995) che permette di variare l'altezza  $h$  rispetto al piano d'appoggio (Fig. 2). La successiva presentazione in classe di questo esperimento e la discussione sui risultati ottenuti è stata di importanza chiave per fissare ancora una volta quanto già detto nella lezione teorica sul moto parabolico sul principio di composizione dei moti. Infatti, se lasciamo cadere una biglia dal punto più alto del piano inclinato (si veda Fig. 2), essa acquista a fine corsa la stessa velocità orizzontale  $v_0$  in ogni lancio e quindi la gittata ( $x = v_0 t$ ) può essere utilizzata per misurare il tempo di caduta verticale dall'altezza  $h$ . Dall'analisi dei risultati ottenuti dagli studenti si vede, con discreta precisione, che la gittata  $x$  è proporzionale alla radice quadrata dell'altezza  $h$  del trampolino.

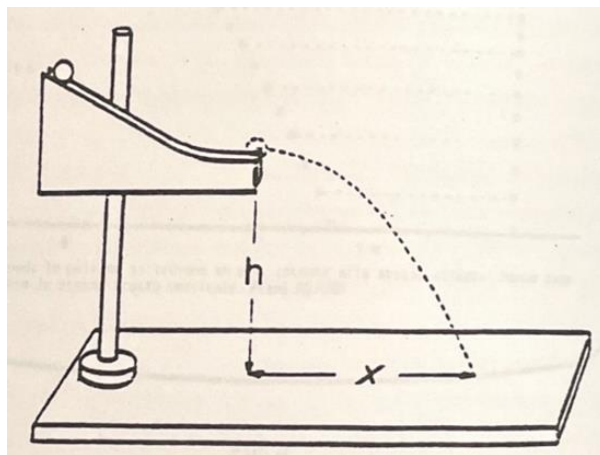


Fig. 2. Trampolino mobile per esperienza di laboratorio (Bonera 1995, p. 132).

Un secondo esperimento, svolto da un altro gruppo di studenti, che utilizza sempre il trampolino descritto in precedenza (Fig. 2) per valutare il legame tra la posizione di partenza della pallina e la velocità al termine del piano inclinato. Al gruppo è stato chiesto di fissare il trampolino a un'altezza  $H$  dal piano d'appoggio e di lasciare cadere la biglia da diverse posizioni lungo il trampolino.

Tenendo fissa l'altezza del trampolino il tempo di caduta verticale sarà sempre lo stesso ( $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ .)

Agli studenti è stato quindi chiesto di verificare la proporzionalità tra la gittata e la velocità raggiunta dalla biglia al termine della discesa lungo il trampolino e di confermare tale predizione al variare dell'altezza  $H$  del trampolino e al variare del punto di partenza della biglia. Gli studenti hanno inoltre determinato, con la notazione moderna, la velocità di uscita della biglia dal trampolino e verificato con un altro trampolino di diversa inclinazione che essa, a parità di altezza di caduta, non dipende dall'inclinazione. L'attenzione del gruppo classe è poi stata posta sull'analisi delle parabole di caduta riportate sul manoscritto di Galileo (Fig. 1) ed è stata proposta loro la duplice interpretazione che Drake suggerisce in merito ai dati riportati sul Folio 116v: i dati riportati potevano servire a Galileo per verificare l'ipotesi di un moto rettilineo uniforme in assenza di attriti, cioè di un moto inerziale (usando gli stessi ragionamenti che abbiamo fatto anche nel nostro percorso didattico); oppure l'esperimento poteva essere stato un tentativo di verificare il principio di composizione dei moti, grande novità concettuale rispetto alla fisica aristotelica (Drake 1992).

Un gruppo di studenti ha utilizzato i dati del manoscritto per ripercorrere le tappe storiche dell'esperimento di Galileo, sfruttando un trampolino come quello di Fig. 2 e la trascrizione del Folio 116v ad opera di S. Drake (Fig. 3). In particolare, secondo le ricerche storiografiche di Drake, il dispositivo utilizzato da Galileo era probabilmente simile al trampolino già descritto (Fig. 2) e avente un piano inclinato di circa  $30^\circ$  posto ad un'altezza di 828 punti (77,7 cm) rispetto al piano di riferimento. Sul Folio 116v Galileo aveva tracciato due rette orizzontali che rappresentavano il suolo e la superficie di un tavolo. Sopra il tavolo, lungo una linea verticale, segnò le altezze di 300, 600, 800 e 1000 punti. Dall'estremità del tavolo al suolo disegnò delle curve rappresentanti le traiettorie di una biglia, indicando il valore sia calcolato che misurato della gittata per ciascuna altezza. Ad eccezione del lancio dall'altezza di 300 punti (e conseguente gittata di 800 punti), gli altri dati sono contrassegnati sul manoscritto dall'annotazione "doveria" (avrebbe dovuto essere), che per Drake è sinonimo inequivocabile che Galileo aveva dapprima calcolato e poi misurato, ovvero che avesse svolto il procedimento sperimentale disegnato nel Folio 116v. Gli studenti hanno provato a realizzare l'esperimento assegnando il valore di 9,38 cm al punto di Galileo, come sostenuto da Drake (Drake 1992).

Al quarto e ultimo gruppo è stato assegnato lo studio della composizione dei moti e la loro verifica laboratoriale tramite la costruzione di altri trampolini che permettono di mostrare l'indipendenza del moto di caduta libera dal moto orizzontale e viceversa, nonché il moto parabolico come la composizione di questi due moti (Fig. 4).

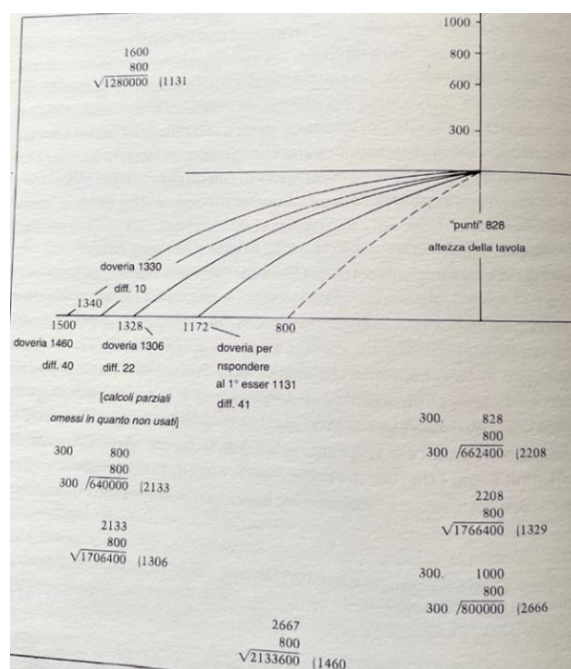


Fig. 3. Parziale trascrizione del Folio 116v di Galileo fatta da S. Drake (Bonera 1995, p. 185).

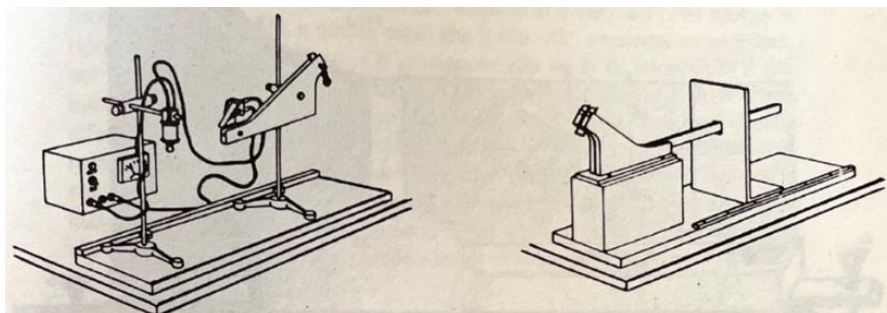


Fig. 4. Apparato per lo studio del principio di composizione dei moti (Bonera 1995, p. 135).

Per mostrare che la componente orizzontale è indipendente da quella verticale si usa il dispositivo in Fig. 4: si lasciano cadere due biglie nello stesso istante dal punto più alto di due guide inclinate identiche; dopo un tratto orizzontale, una biglia inizia la caduta mentre l'altra prosegue il suo moto lungo un prolungamento orizzontale della guida. Entrambe le biglie hanno la possibilità di urtare contro un piano verticale che può essere spostato a distanze diverse dal punto in cui una delle biglie abbandona la guida. Nei vari tentativi realizzati dagli studenti per differenti posizioni del piano verticale, si è percepito un unico colpo per l'arrivo delle biglie contro la parete verticale. Gli studenti hanno quindi potuto dedurre che le biglie, pur percorrendo traiettorie differenti impiegano lo stesso tempo e si spostano in direzione orizzontale con la stessa velocità, fatto che è stato poi anche ribadito dal gruppo durante la presentazione in classe dell'esperimento e che personalmente considero didatticamente centrale per la piena comprensione del moto parabolico. Analogamente, per mostrare che la componente verticale del moto è indipendente da quella orizzontale il gruppo ha utilizzato il dispositivo in Fig. 4: la biglia di cui si studia il moto mentre esce dal tratto orizzontale disattiva un'elettrocalamita che tiene sospesa una seconda biglia alla stessa altezza cosicché entrambe inizino la loro caduta nello stesso istante. Nei vari tentativi realizzati dagli studenti essi hanno percepito un unico colpo per l'arrivo delle biglie sul piano orizzontale. Questo gruppo di studenti, unendo le forze con altri compagni di classe, ha fatto un passo in più e ha realizzato un dispositivo che combinava i due disegni in Fig. 4 in un unico solo aggiungendo ad esso l'automazione tramite Arduino.

Di questa evoluzione tecnico-pratica parlerò nel prossimo paragrafo, ora concludo riportando le fonti storiche lette e discusse in classe a proposito della composizione dei moti. Siamo partiti dai *Discorsi*:

Immagino di avere un mobile lanciato su un piano orizzontale, rimosso ogni impedimento: già sappiamo, per quello che abbiamo detto più diffusamente altrove, che il suo moto si svolgerà equabile e perpetuo sul medesimo piano, qualora questo si estenda all'infinito; se invece intendiamo [questo piano] limitato e posto in alto, il mobile, che immagino dotato di gravità, giunto all'estremo del piano e continuando la sua corsa, aggiungerà al precedente movimento equabile e indelebile quella propensione all'ingiù dovuta alla propria gravità: ne nasce un moto composto di un moto orizzontale equabile [uniforme] e di un moto deorsum [verso il basso] naturalmente accelerato, il quale [... moto composto] descrive una linea semiparabolica (Galileo 1980, p. 268).

L'indipendenza del moto uniformemente accelerato di caduta libera dal moto orizzontale uniforme viene illustrato da Galileo nel *Dialogo* con un'esperienza successivamente realizzata con successo dai membri dell'Accademia del Cimento dalla torre del porto di Livorno:

[...] quando in cima di una torre fusse una colubrina livellata, e con essa si tirassero tiri di punto bianco, cioè paralleli all'orizzonte, per poca o molta carica che si desse al pezzo, si che la palla andasse a cedere ora lontana mille braccia, or quattro mila, or sei mila, or dieci mila, etc., tutti questi tiri si spenderebbero in tempi eguali tra di loro, e ciascheduno eguale al tempo che la palla consumerebbe a venir dalla bocca del pezzo sino a terra, lasciata, senz'altro impulso, cadere



semplicemente giù a perpendicolo. Or par meravigliosa cosa che nell'istesso breve tempo della caduta a piombo sino in terra dall'altezza, verbigrazia, di cento braccia, possa la medesima palla, cacciata dal fuoco, passare or quattrocento, or mille, or quattromila, ed or diecimila braccia, si che la palla in tutti i tiri di punto bianco [cioè orizzontali] si trattenga sempre in aria per tempi eguali. SALV. La considerazione per la sua novità è bellissima, e quando l'effetto sia vero, è meraviglioso: e della sua verità io non ne dubito; e quando si lasciassero cadere un'altra dalla medesima altezza giù a piombo, ambedue arriverebbero in terra nel medesimo istante, ancorché quella avesse camminato diecimila braccia di distanza, e questa cento solamente intendendo che il piano della Terra fusse eguale, che per sicurezza si potrebbe tirare sopra qualche lago (Galileo 1980, p. 397).

#### 4. Arduino: un nuovo approccio laboratoriale

Come detto precedentemente, il quarto gruppo ha implementato i due dispositivi sperimentali (Fig. 4) unificandoli in un unico dispositivo e inserendo un'automazione con Arduino (Fig. 5).



Fig. 5. Studio della composizione dei moti con Arduino

Arduino è una piattaforma hardware composta da una scheda elettronica dotata di un microcontrollore e di una serie di connessioni per poter comunicare con l'esterno, ideata e sviluppata nel 2003 da alcuni membri del Interaction Design Institute di Ivrea. Proprio grazie ai microcontrollori si può realizzare con Arduino una vasta gamma di progetti, raccogliere dati provenienti da altri dispositivi (sensori di temperatura, di movimento, di luce), pilotare motori elettrici, il tutto attraverso un ambiente di sviluppo integrato che utilizza di un linguaggio di programmazione semplificato simile al C++. Il gruppo di studenti ha voluto sfruttare le numerose potenzialità e individualità presenti nella classe per realizzare un dispositivo in grado di unire in un unico artefatto tutti gli esperimenti del progetto usando Arduino, scrivendo un programma in grado calcolare teoricamente le gittate (per poi confrontarle con i risultati sperimentali) e riprodurre la situazione descritta da Galileo nel Folio 116v. Mi ritengo indubbiamente molto soddisfatto di avere il piacere di lavorare in una classe così didatticamente stimolante e, quando ho appreso della volontà di tale gruppo di realizzare un qualcosa di nuovo, ho incentivato e supportato i ragazzi nella realizzazione del dispositivo perché esso è in grado di coniugare la storia della scienza con le nuove tecnologie, binomio che reputo fecondo e didatticamente molto efficace. Infatti, l'utilizzo di dispositivi elettronici interattivi come Arduino, permette agli studenti di vivere in prima persona un'esperienza attraverso cui mettere in pratica quanto studiato e averne al tempo stesso un riscontro pratico, verificando le leggi matematiche che regolano i fenomeni fisici. In questo modo gli studenti vengono resi partecipanti attivi del processo di apprendimento, costruendo la conoscenza e dandole un significato più profondo e, al tempo stesso, stimolando il potenziale creativo dei ragazzi.

Valore aggiunto del progetto è, a mio giudizio, l'uso consapevole di una nuova tecnologia ai fini di una pratica pedagogica ancora troppo poco utilizzata nella scuola secondaria italiana: l'integrazione della storia della scienza nella didattica della fisica. Se a ciò si aggiunge che, anche grazie ad Arduino che costituisce una nuova frontiera nel concepire il laboratorio di fisica, gli studenti hanno potuto approcciarsi agli esperimenti da protagonisti e non da spettatori, possiamo senza dubbio affermare che il progetto ha avuto una buona ricaduta didattica.

## 5. Conclusioni e prospettive future

L'esigenza di un approccio storico nella didattica della fisica nasce dalla consapevolezza, sempre più avvertita, che i metodi tradizionali di insegnamento si sono rivelati spesso insufficienti e inadeguati. Le riflessioni epistemologiche, a partire quanto meno da quelle di Thomas Kuhn (Kuhn 2000), hanno messo in evidenza che nemmeno la scienza, pur presentando caratteristiche proprie (replicabilità degli esperimenti, ricerca di leggi e costanti atemporali), risulta pienamente comprensibile ove la si astragga dalla sua dimensione storica. Soltanto in questo modo infatti è possibile afferrare la dinamica che caratterizza la pratica scientifica, ossia l'intersoggettività dei risultati del dibattito scientifico e la natura complessa dei modelli in campo, piuttosto che la ricerca linearmente cumulativa di una "verità" finale. L'aver affiancato alla storia della scienza l'uso di tecnologie informatiche come Arduino non ha portato però a un sovraccarico cognitivo, cioè non ha compromesso la corretta e completa acquisizione delle conoscenze obiettivo dell'attività, perché la sua introduzione è arrivata spontaneamente dagli studenti e quindi essi non hanno dovuto imparare a utilizzare Arduino, aspetto che probabilmente avrebbe compromesso la buona riuscita del progetto. Sono, infatti, concorde con Antonio Calvani (Calvani 2013) quando sostiene che le nuove tecnologie siano da inserire come supporto didattico, purché utilizzate in maniera consapevole e con un preciso intento didattico. Al tempo stesso penso come sostiene John Hattie (Hattie 2016) che la lezione più efficace è quella interattiva e a feedback immediato: esperimenti laboratoriali con Arduino rientrano esattamente in questa categoria di lezione, in quanto lo studente ha la possibilità di interagire con l'oggetto di studio e sia lui sia l'insegnante possono avere immediatamente un ritorno di ciò che è stato fatto e in caso di errori o inesattezze l'allievo è messo in condizione di poter rivalutare le sue scelte e di correggersi attivando percorsi mentali duraturi. Nel prossimo anno scolastico la mia intenzione è quella di continuare sulla strada tracciata proponendo nella stessa classe un altro percorso didattico che sfrutti il proficuo connubio tra storia della scienza e Arduino anche al fine di offrire lezioni di fisica sempre più efficaci e didatticamente rilevanti.

## Bibliografia

- Amaldi, U. (2020). *L'Amaldi per i licei scientifici.blu*. Vol. 1. Bologna: Zanichelli.
- Bonera, G. (1995). *Galileo oggi*. Pavia: Goliardica Pavese.
- Calvani, A. (2013). "Qual è il senso delle tecnologie nella scuola? Una 'road map' per decisori ed educatori", *Italian Journal of Educational Technology*, 21(1), pp. 5-57.
- Drake, S. (1981). *Galileo at work – His Scientific Biography*. Chicago: Chicago Press.
- Drake, S. (1992). *Galileo Galilei pioniere della scienza*. Padova: Franco Muzzio Editore.
- Galilei, G. (1980). *Opere di Galileo Galilei*. Torino: UTET.
- Hattie, J. (2016). *Apprendimento visibile, insegnamento efficace*. Trento: Erickson.
- Koyré, A. (1976). *Studi galileiani*. Torino: Einaudi.
- Kuhn, T. (2000). *Dogma contro critica. Mondi possibili nella storia della scienza*, a cura di Gattei S. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Russo, L. (2021). *La Rivoluzione dimenticata*. Milano: Feltrinelli.