

## Un approccio multisensoriale per l'apprendimento delle scienze

### A multi-sensory methodological approach for science learning

---

Eugenia Lucia Bossio<sup>a</sup>, Costantino Rizzuti<sup>b,1</sup>

<sup>a</sup> *Università della Calabria*, [eugeniabossio@libero.it](mailto:eugeniabossio@libero.it)

<sup>b</sup> *Conservatorio Giacomantonio Cosenza*, [costantinorizzuti@gmail.com](mailto:costantinorizzuti@gmail.com)

#### Abstract

---

Questo articolo presenta un ambiente di apprendimento rivolto alla didattica delle scienze e i risultati ottenuti al termine della sua sperimentazione compiuta presso un istituto scolastico d'istruzione secondaria di primo grado. L'ambiente di edutainment è stato progettato per realizzare la divulgazione della teoria fisica delle superstringhe, ed è stato prevalentemente basato sulla costruzione di manufatti e sulla manipolazione di media digitali. Si è cercato di stimolare e coinvolgere gli alunni mediante approcci diversi e in maniera multisensoriale con l'obiettivo di incuriosirli rendendo interessante e accattivante questo complesso argomento della fisica. È stato delineato un percorso per gradi alle problematiche scientifiche affrontate che potesse attivamente stimolare sia i vari stili e modi di apprendimento, sia una reale trasposizione delle conoscenze in competenze. La teoria delle superstringhe è stata presentata prima attraverso approcci tradizionali e, in seguito, attraverso la costruzione di rappresentazioni metaforiche costituite da manufatti realizzati dagli studenti. La sperimentazione, condotta su un gruppo di 20 studenti, ha consentito il rilievo dell'efficacia di tale ambiente.

**Parole chiave:** teoria delle superstringhe; edutainment; interaction design; Arduino.

#### Abstract

---

This paper presents both a learning environment aimed at science education and the results obtained at the end of its experimentation carried out in a secondary school. The edutainment environment has been designed to explain the physical theory of superstrings, and it was mainly based on the construction of artifacts and on the manipulation of digital media. In order to both intrigue students and make interesting and appealing this complex subject of physics we have tried to stimulate and engage students in a multi-sensory way through different approaches. It was outlined a path made by different steps to deal with the scientific issues addressed that would actively encourage a real translation of knowledge into skills and both different styles and ways of learning. Superstring theory was first presented through traditional approaches and, later, through the construction of metaphoric representations made by artifacts created by the students. The experimentation, conducted on a group of 20 students, allowed to evaluate the effectiveness of the environment.

**Keywords:** superstring theory; edutainment; interaction design; Arduino.

---

<sup>1</sup> Si ringrazia l'Istituto Comprensivo "A. Vespucci" di Vibo Marina.

## 1. Introduzione

L'uso della tecnologia nella didattica è ancora accompagnata da molte suggestioni e, purtroppo, ancora da molte zone d'ombra; nonostante, infatti, l'uso delle tecnologie sia divenuto pervasivo e le sue applicazioni abbiano trovato una diffusione notevole, non c'è ancora una piena chiarezza su quanto e come le tecnologie possano essere fattivamente integrate nei contesti educativi (Benson, Ward & Liang, 2015); soprattutto non è ancora chiara una connotazione di consapevolezza che dovrebbe accompagnare l'uso delle tecnologie stesse. Fatte queste premesse, l'insegnante si trova ad avere un ruolo significativo e importantissimo, poiché deve imparare a gestire le potenzialità e le criticità derivanti dall'integrazione delle tecnologie nella didattica (Cuban, 2001). Il suo ruolo, da questo punto di vista, dovrebbe essere investito da una sorta di rivoluzione copernicana. L'insegnante, al fine di migliorare sia l'efficacia della propria azione educativa sia le modalità di apprendimento degli studenti, non dovrebbe incarnare il ruolo di mero fruitore di tecnologie quanto quello di designer, progettista di ambienti di apprendimento ad alto contenuto tecnologico, che prevedano da parte degli studenti, non solo la fruizione di contenuti multimediali, ma la promozione di un'attiva partecipazione nella costruzione dei media o di applicazioni interattive. Ciò può diventare tanto più necessario quanto più gli argomenti scientifici o tecnologici che si vogliono veicolare hanno, per la complessità dei contenuti, un elevato livello di difficoltà. Infatti, nonostante i meccanismi e gli effetti della diffusione delle conoscenze attraverso i media digitali possano, di fatto, facilitare i processi di comprensione dei contenuti, si deve constatare che essi stessi non bastano da soli per costruire un'azione didattica significativa ed efficace. Quanto finora esposto non è altro che la base di un meccanismo che pericolosamente si può instaurare nel momento in cui si progetta un ambiente di apprendimento, cioè quello di ritenere che le esperienze didattiche significative siano quelle intrise di tecnologie e media. Di fatto, non esiste corrispondenza biunivoca tra i due soggetti, ossia non esiste una scientifica corrispondenza tra uso della tecnologia ed efficacia dell'azione didattica. La tecnologia nella didattica può rafforzare l'azione educativa così come, l'insegnamento punta all'apprendimento, ma non lo determina (Cambi, Certini & Nesta, 2010). L'azione dell'insegnare, pur mirando all'acquisizione in modo sistematico di conoscenze, capacità, abilità, significati/valori, non ha la pretesa di produrre direttamente effetti di apprendimento. L'insegnamento, invece, costruisce le condizioni favorevoli affinché si verifichi un apprendimento da parte del destinatario (il bambino come l'adolescente, l'adulto come l'anziano). Si tratta di condizioni che ottimizzano l'apprendere del discente. L'apprendimento si verifica soltanto con il (libero) consenso di quest'ultimo. L'insegnamento e l'apprendimento non sono processi paralleli. A un'azione d'insegnamento non corrisponde automaticamente un apprendimento. Talvolta, invece, gli alunni imparano da eventi estranei alla scuola concetti significativi o ancora conoscono già determinati concetti senza mai averli collegati alle esperienze scolastiche. In questi casi, l'apprendimento significativo avviene quando gli alunni riescono a trasformare le proprie esperienze in consapevolezze nominabili e concettualizzabili, organizzandole con le conoscenze precedenti. Calvani (2011), a tal proposito, propone una riflessione profonda su come i momenti del proprio percorso scolastico che hanno inciso nella personale scelta professionale, siano legati ad alcune esperienze, emotivamente forti, o figure di educatori, che hanno lasciato un imprinting particolare. Facendo riferimento a Csikszentmihalyi (1992) descrive le caratteristiche di una situazione di "flusso ottimale, una condizione di effettiva felicità per l'essere umano: essa è caratterizzata da un equilibrio di tensione e piacere; il soggetto è impegnato in una attività coinvolgente, sprofonda in essa, perde la sensazione del tempo, immerso in un fluire appagante e creativo" (p. 4). Sempre Calvani (2011), caratterizza le esperienze ottimali che

abbiano un carattere di vita vissuta, in cui la ricerca diventa dimensione di vita; un forte legame tra teoria e pratica con profondo coinvolgimento e revisione degli schemi di senso comune; una reale crescita di coscienza (empowerment) emotiva cognitiva e metacognitiva nei soggetti coinvolti basata sulle evidenze. Adottando tale approccio, Bossio (2011), propone un metodo sperimentale per l'apprendimento della teoria fisica del caos. Anche in tal caso, si vogliono attivare i meccanismi sopra descritti, proponendo un approccio didattico multisensoriale, che attivi la costruzione autonoma della conoscenza e le dinamiche metacognitive dell'apprendimento. Per questo motivo si è ritenuto opportuno integrare le teorie costruttiviste, i laboratori sperimentali e gli ambienti virtuali di apprendimento al fine di: elevare la qualità dell'intervento formativo; attivare la motivazione, l'entusiasmo e la partecipazione; tendere all'efficacia nell'apprendimento. La cultura scientifica e tecnologica rimodellano costantemente la percezione che abbiamo di noi stessi e il nostro modo di interagire con il mondo circostante. Il contesto della vita quotidiana è spesso un luogo che diamo per scontato, dove tutto quello che facciamo è tale perché deve essere tale. Ossia, siamo in preda ad automatismi essendo fruitori non consapevoli di tecnologie. Riflettere sull'uso consapevole della tecnologia nell'ambito dell'istruzione significa mettere in discussione l'esistenza di collegamenti rigidi tra realtà, pensiero, linguaggio e azione. La sperimentazione qui presentata ha avuto proprio l'obiettivo di far acquisire agli studenti specifiche conoscenze su tematiche scientifiche non affrontate nei percorsi scolastici e competenze in ambito tecnologico che possano supportare un uso più consapevole dei mezzi elettronici. In letteratura non si rilevano sperimentazioni del tutto analoghe a quanto qui proposto, ma esistono alcuni casi simili: in particolare, Gandhi, Cserey, Zbrozek e Roska (2009) propongono un'applicazione in ambito scolastico del circuito elettronico di Chua, per divulgare la teoria fisica del caos. L'idea di sviluppare un progetto sperimentale per diffondere alcuni aspetti della teoria delle superstringhe nasce dalla necessità di incrementare l'insegnamento delle scienze nella scuola e di promuovere una più significativa integrazione tra lo sviluppo di conoscenze e attività pratiche. Per consentire tale processo di integrazione tra contenuti didattici e tecnologie educative, l'Interaction Design è stato scelto come strumento adatto per la creazione di un forte legame tra il formale e l'informale degli ambienti di apprendimento. Con tale sperimentazione si è voluto creare un importante momento di dialogo tra sapere scientifico e applicazioni tecnologiche che supportino esperienze didattiche significative. Nel seguito saranno presentati gli argomenti sviluppati durante l'esperienza a scuola; particolare attenzione è stata rivolta alla descrizione dei sistemi utilizzati per l'allestimento di un oggetto interattivo dotato di sensori di movimento. Tale architettura potrebbe essere riprodotta in differenti scale e potrebbero essere proposti, come si esporrà di seguito, dei toolkit educativi di facile utilizzo anche da parte di persone non esperte.

## **2. Il progetto in sintesi**

La sperimentazione qui presentata è stata realizzata con l'obiettivo di trovare delle modalità opportune per proporre e rendere semplice la comprensione di concetti teorici solitamente riservati a specialisti attraverso il coinvolgimento degli studenti in un'attività creativa e interattiva. La teoria delle superstringhe è una teoria scientifica tanto affascinante quanto complessa; la sua divulgazione, dunque, potrebbe risultare molto impegnativa per un pubblico non esperto. Si è ritenuto opportuno, pertanto, creare un ambiente di apprendimento complesso basato sull'impiego di lezioni frontali, supportate dall'uso di materiali multimediali e di attività di laboratorio volte alla realizzazione pratica di artefatti. In tal modo, un argomento scientifico avanzato è stato esplorato sia dal punto teorico, sia

attraverso un approccio metaforico, e, infine, anche in modo pratico e interattivo. L'impiego di un oggetto interattivo ha consentito, infatti, di abbassare il livello di complessità e astrazione del tema. Inoltre, l'ambiente qui presentato è stato anche pensato come uno strumento utile per fornire agli studenti conoscenze specifiche e per far acquisire loro competenze in ambito tecnologico, al fine di promuovere un uso più consapevole dei mezzi elettronici, presentati sotto vesti inusuali e innovative. Ciò che si propone può essere riproducibile e adattabile in altri nuovi processi formativi, a tal fine, si possono individuare le fasi, gli obiettivi, le strategie metodologiche utilizzate. Il percorso è stato caratterizzato da quattro fasi: la prima, realizzata attraverso il brainstorming, è consistita nella riflessione sulle esperienze quotidiane legate ai principi fondanti della teoria delle superstringhe e sulle tecnologie elettroniche che si sarebbero da lì a poco utilizzate; la seconda fase è consistita nella presentazione dei materiali multimediali preparati ad hoc e realizzata attraverso lezioni frontali; la terza fase è stata improntata alla realizzazione di manufatti in fil di ferro che riconducessero all'idea di materia composta da filamenti dotati di energia vibrazionale; la quarta fase ha previsto la costruzione di un artefatto interattivo di forma cubica che, da un lato, fornisse l'idea di iperspazio e, dall'altro, consentisse l'interazione con gli elementi vibranti della materia per la produzione di suoni. Gli obiettivi sono stati quelli di stimolare la curiosità verso temi scientifici dibattuti solo in ambiti specialistici e riflettere sull'uso consapevole delle tecnologie elettroniche. L'evidenza dei risultati, sia sui soggetti, sia sul contesto, è stata strutturata attraverso strumenti di accertamento non soggettivi. Di seguito sarà descritta in breve la teoria delle superstringhe e le scelte compiute nella progettazione dell'ambiente di apprendimento, verranno, inoltre, presentati e descritti gli strumenti e i dispositivi interattivi utilizzati nel corso della sperimentazione.

### **2.1. Un ambiente di apprendimento di matrice costruttivista**

L'ambiente di apprendimento qui presentato si inserisce all'interno di una progettazione didattica di matrice costruttivista. Il suo modello non è lineare, ma reticolare: propone cioè un percorso conoscitivo a intrecci caratterizzato da legami interconnessi, detti nodi, nel quale ogni nodo è spiegabile solo in relazione agli altri. In un ambiente così configurato, l'apprendimento è inteso come: costruzione di significati, costruzione di conoscenze, riorganizzazione del sapere. La struttura reticolare si prefigge lo scopo di richiamare l'attivazione della sfera metacognitiva dell'apprendimento. È importante distinguere tra tipo di strategia didattica impiegata e tipo di processo di apprendimento in cui lo studente è impegnato. Per una determinata strategia di insegnamento l'apprendimento può variare da quasi passivo a fortemente significativo, da apprendimento recettivo, in cui si ha una semplice, diretta trasmissione dell'informazione, ad apprendimento per scoperta, autonomo, in cui il discente identifica e seleziona l'informazione da imparare. L'apprendimento efficace, secondo Ausubel (2004) è frutto di un processo di elaborazione concettuale solo quando i nuovi contenuti vengono collegati a schemi e sub-schemi già esistenti nel patrimonio di conoscenze dell'allievo. Un processo di apprendimento efficace dipende da due fattori principali: il tipo di materiale da apprendere; il tipo di bagaglio cognitivo preesistente. Il modello costruttivistico si traduce, in campo metodologico-didattico, nella programmazione per concetti che consente di sviluppare conoscenze di tipo reticolare, collegando tra quanto già conosciuto e nuovi contenuti. Il discente diventa protagonista attivo del processo di apprendimento chiamando in causa le proprie esperienze pregresse per organizzare autonomamente le nuove conoscenze. Il docente non è più colui che trasmette il sapere, ma colui che svolge una funzione stimolatrice e mediatrice dei processi apprenditivi. Come sostiene Calvani (2000), se la progettazione curricolare tende a definire gli stadi di apprendimento in modo sequenziale nel tempo, la progettazione di

ambienti per apprendere presta una maggiore attenzione al carattere variegato dell'offerta dei dispositivi specifici e dei supporti disposti intorno ai soggetti che apprendono. Un ambiente per apprendere è la risultante di diverse impalcature di cui il soggetto potrà avvalersi nel suo avanzamento conoscitivo. Inoltre, sempre Calvani (ibidem), riportando e sintetizzando alcuni orientamenti ricorrenti, ricorda che gli ambienti di apprendimento di taglio costruttivistico dovrebbero: dare enfasi alla costruzione della conoscenza e non alla sua riproduzione; evitare eccessive semplificazioni rappresentando la naturale complessità del mondo reale; presentare compiti autentici (contestualizzare piuttosto che astrarre); offrire ambienti di apprendimento assunti dal mondo reale, basati su casi, piuttosto che sequenze istruttive predeterminate; offrire rappresentazioni multiple della realtà; alimentare pratiche riflessive; permettere costruzioni di conoscenze dipendenti dal contesto e dal contenuto; favorire la costruzione cooperativa della conoscenza, attraverso la negoziazione sociale. In particolare, l'apprendimento esperienziale è un riferimento per tutte le attività di progettazione della formazione sin dalla metà degli anni Ottanta. Kolb (2010 – citato in Di Nubila & Fedeli, 2010), individua come base dell'apprendimento la sperimentazione attiva. Prendendo spunto da ciò, l'ambiente progettato ha come obiettivo un apprendimento fondato sulla trasformazione della conoscenza in esperienza.

La teoria delle superstringhe (Breene, 2010) cerca di rispondere alla domanda su quali siano gli elementi di base fondamentali e indivisibili che costituiscono, a livello impercettibile, la materia che compone tutto ciò che si trova nel mondo che ci circonda. L'idea di fondo, alla base di tale teoria, consiste nell'ipotizzare che i costituenti fondamentali della materia siano "stringhe", di lunghezza infinitesimale, che vibrano a frequenze diverse in uno spazio-tempo multidimensionale. Tale teoria, seppur molto affascinante, non è a oggi supportata da prove sperimentali oggettive e inconfutabili, pertanto è attualmente in evoluzione e oggetto essa stessa di studi e di ricerche. Questa teoria scientifica ebbe inizio verso i primi anni del Novecento ad opera di Kaluza, matematico tedesco, che ipotizzò l'esistenza di ulteriori dimensioni dello spazio-tempo. Anche Einstein, in seguito alla formulazione della teoria della relatività speciale, aveva deciso di approfondire gli studi e le ricerche per spiegare appieno la grande forza pervasiva fondamentale nell'universo: la gravità. Newton, alla fine del 1600, aveva formulato una teoria gravitazionale che funzionava bene per descrivere il moto dei pianeti, il moto della Luna e dei corpi celesti. Einstein scoprì che il mezzo che trasmette la gravità è lo spazio stesso e fu in grado di descrivere la gravità in termini di curvatura e di deformazione dello spazio-tempo. Le sue teorie sono state testate e confermate nel 1919 attraverso osservazioni astronomiche. Kaluza, così come Einstein, era in cerca di ciò che viene chiamata una teoria unificata. Partendo dall'ipotesi che il mondo avesse quattro dimensioni, tre relative allo spazio e una relativa al tempo, egli tentò di applicare le leggi dell'elettromagnetismo. L'applicazione di questa ipotesi trovò conforto nella formulazione di un'equazione per descrivere la forza elettromagnetica che era la stessa ottenuta da Einstein. L'idea dell'esistenza di spazi multidimensionali ha avuto un grande impatto sulle teorie fisiche del secolo scorso e continua tutt'oggi ad essere un ambito di ricerca molto investigato. Fu il matematico tedesco Klein, nel 1926, a rispondere alla domanda sul perché non risultino visibili le ulteriori dimensioni dello spazio. Egli, infatti, suggerì che le dimensioni dello spazio possano esistere in due differenti varianti: quelle a livello macroscopico e quindi facilmente percepibili, e quelle poste a un livello molto più piccolo del microscopico, dove la materia risulta raggomitolata su se stessa e vibrante a causa dell'energia che possiede. Più recentemente, diversi fisici hanno formulato una teoria sempre volta a unificare le leggi della fisica denominata teoria delle superstringhe. La teoria delle superstringhe apparentemente non ha nulla a che vedere con l'ipotesi relativa all'esistenza di dimensioni

extra nello spazio-tempo, ma il suo studio approfondito spinge a intravedere che questa ipotesi possa ritornare in una nuova forma. Immaginando un viaggio all'interno della materia per esaminarne le sue componenti: dagli atomi, si passa alle particelle più piccole contenute al loro interno, note come quark; nel profondo di una di queste particelle si ipotizza che possa esistere qualcos'altro. L'ipotesi fondante della teoria delle stringhe immagina tutto ciò costituito da filamenti di energia vibrante a diverse frequenze, capaci di produrre tutte le diverse particelle che costituiscono il mondo intorno noi. Qui risiede il concetto di unificazione, perché le particelle della materia, gli elettroni e i quark, i fotoni, i gravitoni, sono tutti costituiti a partire da una sola entità. Così la materia e le forze della natura sono messe tutte insieme mediante il modello di base delle corde vibranti a differenti frequenze. Da un punto di vista matematico, questa teoria non funziona in un universo che ha solo tre dimensioni. Non funziona, neanche, in un universo a quattro dimensioni, né a cinque e così via. Le equazioni funzionano soltanto in un universo che ha dieci dimensioni per lo spazio e una dimensione per il tempo. Tutto ciò, dunque, ci riconduce all'ipotesi di Kaluza e Klein, che il nostro mondo, quando appropriatamente descritto, sia costituito da più dimensioni rispetto a quelle che percepiamo.

Partendo dalla teoria fisica descritta si è immaginato un modello che potesse dare l'idea degli spazi multidimensionali e dei filamenti di energia vibrante al loro interno. I concetti introdotti finora posseggono un notevole livello di astrazione, amplificato dalla poca familiarità degli studenti per tali argomenti scientifici. Si è ritenuto necessario, dunque, tentare di rendere fruibili e comprensibili, per quanto possa essere possibile, tali concetti. Per esempio, la natura invisibile e intangibile delle superstringhe può essere simbolicamente rappresentata attraverso modelli realizzati con fil di ferro. Anche lo spazio in cui gli elementi di energia vibrante si muovono può essere simboleggiato attraverso un cubo in cui ciascun filamento rappresenta una stringa. Si è voluto poi tentare di suggerire l'idea della vibrazione delle stringhe tramite una metafora non visiva, ma uditiva. Dei sensori di movimento sono stati posti sui fili della struttura e collegati a un calcolatore dotato di un programma di sintesi del suono per trasformare i movimenti dei fili in suoni e melodie.

## **2.2. Interaction design**

Gli ambienti di apprendimento progettati per fini didattici possono essere arricchiti anche attraverso l'utilizzo degli strumenti propri dell'Interaction Design al fine di sperimentare quanto possa essere efficace affiancare all'uso di ambienti di apprendimento formali anche quelli informali. L'Interaction Design è una disciplina finalizzata alla progettazione di prodotti, ambienti, sistemi e servizi interattivi. È una disciplina che appartiene storicamente al campo di ricerca legato all'Human Computer Interaction (HCI) che, soprattutto negli ultimi anni, ha avuto una marcata evoluzione tecnologica trasformandosi da un settore di ricerca scientifica, in un insieme di pratiche e approcci rivolti alla progettazione industriale, al design e all'arte digitale. Inizialmente, infatti, le ricerche in tale ambito erano per lo più focalizzate a trovare modi e soluzioni per creare delle interfacce grafiche accattivanti e sviluppare nuove modalità d'interazione tra l'uomo e le macchine; attualmente, invece, questa disciplina è più incentrata sull'analisi e la progettazione di sistemi d'interazione all'interno di campi di applicazione quali la comunicazione, il marketing, la cultura e l'arte (Norman, 2002; Raskin, 2000). Questa disciplina ha sviluppato negli anni un approccio molto sperimentale ed euristico basato sulla realizzazione di un processo iterativo incentrato sullo sviluppo e la valutazione di diverse proposte alternative per la risoluzione di un medesimo problema. La costruzione di prototipi differenti e la loro valutazione sono attività essenziali e strettamente interconnesse poiché la valutazione dei risultati di test

sperimentali di funzionamento e di usabilità guidano e influenzano tutte le fasi successive del ciclo che porta alla creazione di un nuovo oggetto. In questo processo dinamico e iterativo le ipotesi e le specifiche di progetto vengono continuamente messe in discussione e aggiornate alla luce dei risultati sperimentali ottenuti dalla realizzazione e della verifica dei prototipi. Negli ultimi dieci anni, la crescente disponibilità a buon mercato di microcontrollori programmabili come Arduino (Banzi, 2012) ha dato la possibilità a un numero sempre maggiore di persone di poter lavorare e fare ricerca su temi legati alla Interaction Design al di fuori dei pochi centri di ricerca pubblici o privati storicamente dedicati a questo tipo di attività. Arduino è una piattaforma open source basata su una scheda dotata di un microcontrollore e su un semplice ambiente di sviluppo per la scrittura di software che consente di programmare il comportamento. Arduino è uno strumento facile da usare per creare sistemi d'interazione che consentono di espandere le potenzialità dei calcolatori realizzando sistemi di sensori e di attuatori capaci d'interagire con il mondo fisico. Arduino può essere, infatti, usato per sviluppare oggetti interattivi capaci di ricevere informazioni dall'ambiente tramite l'impiego di sensori e di controllare, mediante attuatori e dispositivi elettro-meccanici, oggetti reali. I progetti realizzati con Arduino possono essere stand-alone, funzionando dunque senza il bisogno di interfacciarsi con un calcolatore, oppure è possibile utilizzare questa scheda per espandere le possibilità di interazione dei calcolatori con il mondo fisico mettendo in comunicazione i sistemi di sensori con i programmi in esecuzione sul computer.

### **2.3. Un oggetto interattivo per la divulgazione delle teorie delle superstringhe**

Partendo dalla domanda se sia possibile utilizzare la manipolazione di oggetti fisici per fornire agli studenti l'idea e la percezione della teoria delle superstringhe, gli alunni sono stati guidati a realizzare una rappresentazione metaforica delle superstringhe attraverso la costruzione di un semplice oggetto interattivo basato sull'utilizzo di Arduino.

L'idea chiave alla base della teoria delle superstringhe consiste nell'ipotesi che, a livello ultra-microscopico, l'universo sia costituito da un'enorme quantità di minuscoli filamenti dotati di energia vibrazionale; tutto ciò ha fornito l'ispirazione per creare un oggetto realizzato da minuscoli filamenti e utilizzando i suoni come mezzo sensoriale per reagire alle azioni degli utenti.

Durante le attività di laboratorio, gli studenti sono stati guidati a costruire un cubo in listelli di legno con i lati lunghi un metro. Tale struttura simboleggia lo spazio circostante in cui le stringhe vibrano. Dopo la costruzione della struttura, gli studenti sono stati invitati a posizionare dei fili di varie dimensioni da un lato all'altro del cubo al fine di creare una struttura a forma di rete capace di evocare e rappresentare le superstringhe. Infine, su alcuni di questi fili sono stati collocati dei sensori di movimento collegati a una scheda Arduino connessa al calcolatore su cui veniva eseguito un programma di sintesi del suono in tempo reale realizzato appositamente per produrre suoni in risposta al movimento dei sensori. In Figura 1 è illustrato uno schizzo progettuale della struttura realizzata durante la sperimentazione. La sintesi in tempo reale dei suoni è stata realizzata utilizzando Pure Data (PD) un linguaggio di programmazione visuale open source. PD permette agli utenti di manipolare degli oggetti grafici per realizzare sistemi di generazione ed elaborazione del suono, senza il bisogno di scrivere righe di codice. PD è ampiamente usato nel campo dell'informatica musicale e nell'arte digitale per la sintesi e l'elaborazione del suono e per la creazione e la manipolazione in tempo reale di video, grafica 2D/3D e per lo sviluppo di sistemi d'interazione.

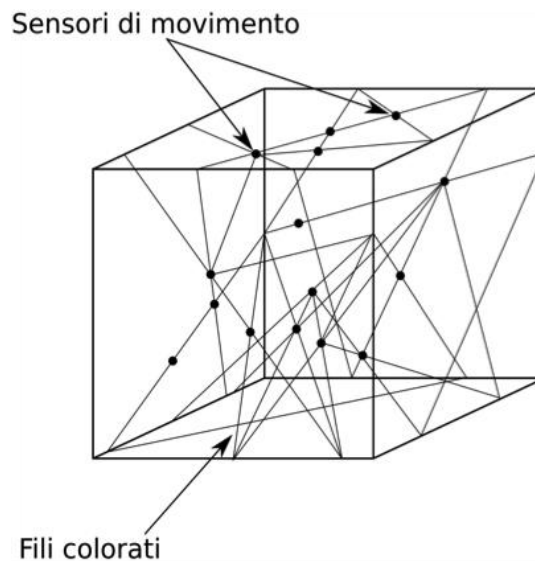


Figura 1. Schizzo di progetto.

Utilizzando un'estensione di PD e il firmware firmato per Arduino, entrambi software liberamente disponibili in rete, è possibile fare in modo che la scheda Arduino controlli PD tramite la connessione seriale.

I sensori di movimento a sfera utilizzati in questo progetto sono costituiti da un cilindro con all'interno una piccola sfera metallica e due connettori elettrici. Il sensore funziona come un interruttore normalmente aperto quando il sensore è fermo in posizione verticale, mentre quando il sensore viene mosso la sfera all'interno del cilindro tocca la parete interna chiudendo l'interruttore. Collegando questi sensori agli ingressi digitali di Arduino secondo lo schema mostrato nella Figura 2 è possibile leggere uno stato alto quando non c'è movimento e uno stato basso quando il sensore viene mosso.

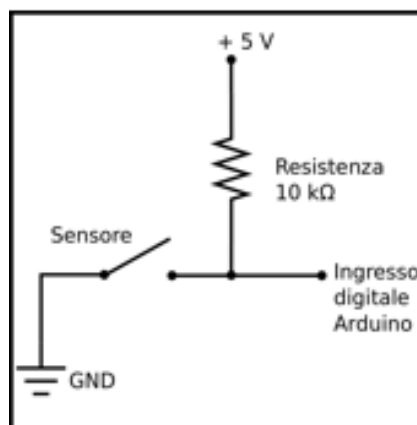


Figura 2. Collegamento elettrico dei sensori in movimento.

Una piccola scheda collegata a otto sensori di movimento è stata creata e montata su Arduino (Figura 3). I cilindri metallici collegati ai fili colorati nella foto sono i sensori di movimento; sulla destra dell'immagine è possibile vedere Arduino equipaggiato con la scheda creata per gestire gli otto sensori. Lo stato delle otto porte di input di Arduino viene



inviato, tramite collegamento seriale, a Pure Data; all'interno del programma, quando viene rilevato uno stato di tensione basso, si provvede ad attivare la generazione di un nuovo suono. I suoni sono generati in tempo reale utilizzando otto moduli di sintesi additiva. Ciascun modulo è stato impostato per utilizzare parametri differenti al fine generare suoni con caratteristiche timbriche differenti le une dalle altre. Il movimento dei sensori attiva anche l'accensione di quattro LED collegati alle uscite digitali di Arduino al fine di fornire anche un feedback visivo. Durante le attività di laboratorio in aula, dopo aver posizionato i sensori sui fili del cubo, gli studenti sono stati invitati a sperimentare il funzionamento dell'oggetto appena realizzato.



Figura 3. Scheda Arduino e sistema di sensori.

### **3. L'approccio metodologico, il contesto sperimentale, la procedura e i risultati**

La relazione tra metodi d'indagine e conoscenza è dinamica e si evolve continuamente: la nuova conoscenza deriva dall'applicazione di nuovi metodi e i nuovi metodi possono derivare da una più profonda conoscenza. La visione della scienza come una mera classificazione della conoscenza è quindi fuorviante perché l'insieme di nozioni va sempre visto in stretta relazione con gli strumenti e i metodi attualmente disponibili per l'evoluzione del pensiero scientifico. In questo quadro, dunque, è necessario essere pronti a mettere in discussione le nostre convinzioni favorendo un continuo approccio non dogmatico alle discipline scientifiche. Motivati dalla promozione del progetto PON "L'armonia delle superstringhe" e considerato l'alto livello di astrazione dei contenuti da trattare, si è scelto di adottare un approccio prevalentemente incentrato sullo svolgimento di attività pratiche e sull'applicazione di metodi di ricerca per stimolare negli studenti l'acquisizione di una metodologia attraverso la concreta integrazione tra gli strumenti e la conoscenza, al fine di creare delle connessioni tra i nuclei fondanti della teoria e la realtà circostante. Questo approccio fonda le proprie basi sul riconoscimento del ruolo fondamentale che svolge l'esperienza nella costruzione della conoscenza sia in classe, sia al di fuori di essa, tutti i giorni, lungo l'arco dell'intera vita.

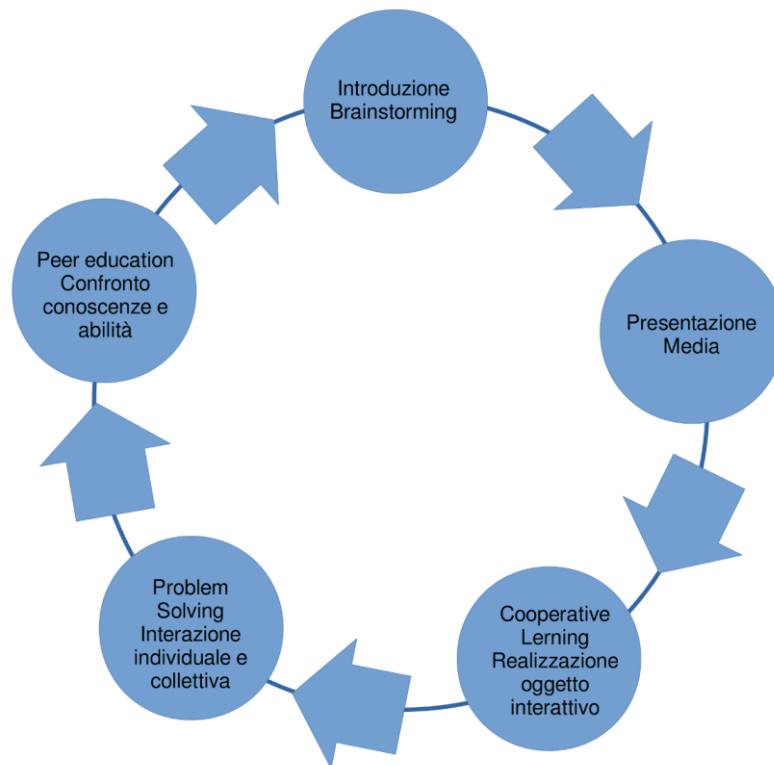


Figura 4. Fasi di sperimentazione.

Gli interventi sono stati organizzati in maniera da guidare gli studenti verso approcci di apprendimento di matrice costruttivista, sviluppando, attraverso le attività di laboratorio e la collaborazione con i compagni, il consolidamento di conoscenze scientifiche e tecnologiche. La sperimentazione è stata condotta su un gruppo di 20 studenti che hanno imparato la teoria delle superstringhe attraverso l'attivazione della curiosità verso questo argomento impegnativo e di non facile comprensione. I principali contenuti appresi dagli studenti sono stati: i fondamenti generali della teoria della relatività e della meccanica quantistica, in particolare, comprendere come la teoria di Einstein spieghi molto bene i fondamenti del macrocosmo, mentre la meccanica quantistica rappresenti il miglior modello per descrivere il microcosmo; perché l'universo può essere pensato come costituito da stringhe infinitamente piccole che vibrano in un iperspazio a 10 o 11 dimensioni; in che modo la teoria delle superstringhe tenta di spiegare ciascun elemento dell'universo: la gravità, l'esistenza particelle subatomiche, la forza che domina i processi fisici del macrocosmo; cosa viene sperimentato nel Large Hadron Collider, al CERN (European Organization for Nuclear Research) di Ginevra. Si è ritenuto opportuno inserire nel percorso (Figura 4): lezioni, discussioni, dibattiti e, infine, anche esperienze di laboratorio per la realizzazione pratica di artefatti. La prima fase delle attività in aula è stata dedicata all'introduzione di argomenti scientifici attraverso l'uso di materiali multimediali quali documentari, interviste, presentazioni multimediali preparate ad hoc, favorendo in tal modo riflessioni e dibattiti. La Figura 5 mostra alcune immagini relative alla prima fase: gli studenti intenti nell'ascolto di un video documentario e la presentazione del microcontrollore Arduino. Nella seconda fase sono state svolte attività di laboratorio per la realizzazione di manufatti. Gli studenti hanno manipolato del filo metallico per costruire dei modelli delle superstringhe (Figura 6). Nella terza fase gli alunni sono stati guidati nella

costruzione dell'oggetto interattivo presentato in precedenza. Alla costruzione della struttura cubica e al posizionamento dei sensori è seguita la quarta fase del percorso, nella quale gli studenti sono stati invitati a realizzare un'esplorazione dei comportamenti dell'oggetto interattivo, sia in maniera individuale che in gruppo.



Figura 5. Prima fase.



Figura 6. Creazione di modelli di superstringhe con il filo metallico.

La Figura 7 mostra le varie fasi di realizzazione dell'oggetto interattivo: la costruzione del cubo con listelli di legno, la creazione della rete con fili sottili e l'interazione dopo il posizionamento dei sensori sulla struttura. Nella fase finale gli studenti sono stati invitati a fare un confronto e uno scambio di esperienze.



Figura 7. Costruzione della struttura e interazione.

Per la complessità dei temi affrontati e la proposta di attività didattiche diversificate, la progettazione approntata, può essere definita a razionalità limitata (Calvani & Menichetti, 2015), poiché l'interferenza delle variabili introdotte dall'articolata organizzazione delle attività didattiche proposte è stata alta. Per la valutazione, ci si è avvalsi di strumenti di valutazione eterogenei che hanno fondato il proprio focus sulla valutazione formativa in itinere, supportata da feedback continui indirizzati agli alunni in fase di apprendimento, e su tre test di verifica: iniziale (semi-strutturato: 10 domande a risposta aperta), intermedio (strutturato: 15 domande a scelta multipla, con tre opzioni di risposta), finale (strutturato: 20 domande). In particolare, il test sommativo di verifica finale è stato articolato in 20 domande: otto quesiti a risposta multipla (con quattro opzioni di risposta), quattro quesiti vero-falso, quattro quesiti a corrispondenza, quattro quesiti a completamento. Inoltre, ci si è avvalsi di strumenti valutativi qualitativi resoconti e testimonianze forniti dagli alunni. Al di là dei risultati quantitativi, che evidenziano una percentuale dell'85% attestata su una valutazione più che sufficiente, non riportati in dettaglio per ragioni di sintesi, da una valutazione qualitativa, si può dire che la sperimentazione ha prodotto risultati più che positivi, molti studenti hanno infatti mostrato interesse nel ripetere in futuro ulteriori progetti che presentino temi scientifici sconosciuti e interessanti, supportati da applicazioni tecnologiche.

#### 4. Conclusioni

I processi dell'apprendimento sono influenzati non solo dalle diverse funzioni cognitive, quali la memoria, la capacità d'attenzione, di ragionamento, ma anche da fattori emotivi e motivazionali. La sperimentazione qui presentata si focalizza proprio sugli aspetti metodologici per la costruzione di un ambiente di insegnamento/apprendimento finalizzato a promuovere il pensiero critico degli alunni. Educare alla complessità, soprattutto i giovani studenti, risulta oggi indispensabile per la formazione individuale. L'impalcatura teorica è quella costruttivista, che guida gli studenti verso modalità di ragionamento che attivano sia il pensiero critico, sia le competenze metacognitive. La metodologia presentata punta all'allestimento di un percorso che possa stimolare gli studenti nell'apprendimento di un argomento scientifico avanzato. Gli studenti hanno seguito tutte le fasi della sperimentazione con profondo interesse, hanno lavorato con entusiasmo durante le attività di laboratorio e partecipato attivamente nella fase di interazione con l'oggetto costruito nel corso del laboratorio. Gli alunni sono stati fortemente coinvolti dalla possibilità di creare suoni e musica con mezzi non convenzionali e sono stati anche incoraggiati ad avvicinarsi all'uso di strumenti tecnologici spesso al di fuori della loro portata. Gli strumenti utilizzati sono facilmente replicabili e la metodologia è riproducibile poiché le attrezzature necessarie sono di facile reperimento con costi contenuti.

#### Bibliografia

- Arduino. Electronics platform. <http://arduino.cc> (ver. 15.04.2016).
- Ausubel, D. (2004). *Educazione e processi cognitivi. Guida psicologica per gli insegnanti*. Milano: Franco Angeli.
- Banzi, M. (2012). *Arduino. La guida ufficiale*. Milano: Tecniche Nuove.
- Benson, S.N.K., Ward, C.L., & Liang, X. (2015). The essential role of pedagogical knowledge in technology integration for transformative teaching and learning. In C. Angeli & N. Valanides (eds.), *Technological pedagogical content knowledge* (pp. 3-18). Berlin: Springer.
- Bossio, (2011). Sperimentare e simulare la fisica attraverso la manipolazione e l'uso di tecnologie didattiche. *Form@re-Open Journal per la Formazione in Rete*, 11(76), <http://formare.erickson.it/wordpress/it/2011/per-una-scuola-dalle-esperienze-ottimali/> (ver. 15.04.2016).
- Breene, B. (2010). *The elegant universe: superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Calvani, A. (2000). *Elementi di didattica. Problemi e strategie*. Roma: Carocci.
- Calvani, A. (2011). Per una scuola dalle esperienze ottimali. *Form@re-Open Journal per la Formazione in Rete*, 11(76), 3-7. <http://formare.erickson.it/wordpress/it/2011/per-una-scuola-dalle-esperienze-ottimali/> (ver. 15.04.2016).
- Calvani, A., & Menichetti, L. (2015). *Come fare un progetto didattico*. Roma: Carocci.
- Cambi, F., Certini, R., & Nesta, R. (2010). *Dimensioni della pedagogia sociale*. Roma: Carocci.
- Csikszentmihalyi, M. (1992). *Flow. The psychology of happiness*. London: Rider.

- Cuban, L. (2001). *Oversold and underused: computers in the classroom*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Di Nubila, R.D., & Fedeli, M. (2010). *L'esperienza: quando diventa fattore di formazione e di sviluppo. Dall'opera di David A. Kolb alle attuali metodologie experiential learning*. Lecce: Pensa Multimedia.
- Gandhi, G., Cserey, G., Zbrozek, T., & Roska, T. (2009). Anyone can build Chua's circuit: hands-on-experience with chaos theory for high school students. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 19(4), 1113–1125.
- Norman, D. (2002). *The design of everyday things*. New York, NY: Basic Books.
- Pure Data (PD). Visual programming language. <http://puredata.info> (ver. 15.04.2016).
- Raskin, J. (2000). *The humane interface: new directions for designing interactive systems*. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional.