UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

Scuola di Scienze Matematiche,
Fisiche e Naturali

Corso di laurea magistrale
in Scienze Fisiche e Astrofisiche

La didattica della fisica: dalle basi cognitive alle tecniche di insegnamento

The teaching of physics: from cognitive foundations to instructional methods

Candidato

Tommaso Fibbi (Matricola 7023213)

Relatore

Prof. Franco Bagnoli

Anno Accademico: 2024/2025

Tesi discussa il 26 febbraio 2025

Di fronte a una commissione esaminatrice composta da:

Prof Nome Cognome (presidente)

Prof. Nome Cognome

Dr. Nome Cognome

La didattica della fisica: dalle basi cognitive alle tecniche di insegnamento

Tesi di laurea Magistrale: Università degli studi di Firenze

© 2025 Tommaso Fibbi. Tutti i diritti riservati

Versione: 25 gennaio 2025

E-mail dell'autore: tommaso.fibbi@edu.unifi.it

Dedicato a Giacomo Aloise, per aver sempre creduto nelle mie potenzialità

.

Ringraziamenti

Ho deciso di ringraziare il professor Franco Bagnoli per la sua continua disponibilità, Daniele Quintavalle per gli importanti contributi apportati e Margherita Pelusio per il supporto che ha saputo dimostrare.

Indice

Introduzione…….. 1

1. I tratti fondanti della fisica intuitiva...……. 4

1.1 Primi elementi di fisica intuitiva 5

1.2 Misconcezioni cognitive legate all'apprendimento della fisica 8

1.2.1 Cinematica 8

1.2.2 Forze e inerzia 12

1.2.3 Energia 16

1.2.4 Circuiti e campi elettromagnetici 19

1.2.5 Ottica 22

1.3 Metodologie di apprendimento: la "Knowledge-in-pieces" e i "p-prim" 27

1.4 Conclusioni del primo capitolo 30

2. Didattica della fisica e narrazione……...34

2.1 La didattica attraverso l'utilizzo dei podcast 35

2.1.1 Diffusione e sviluppo dei podcast scientifici 36

2.1.2 Podcast come metodo didattico nella scuola superiore di secondo grado 39

2.1.3 Podcast nella didattica di carattere scientifico 44

2.1.4 Elaborazione e comunicazione dei podcast scientifici 47

2.2 La dimensione ludica come risorsa pedagogica 50

2.3 Narrazione in ambito scientifico 55

2.3.1 La struttura della narrazione in ambito scientifico 57

2..3.2 Funzioni della narrativa in un contesto scientifico 60

2.4 Conclusioni del secondo capitolo 64

3. Insegnare fisica: un libro aperto di pedagogia……..67

3.1 Il formato wiki e i tratti generali del progetto 68

3.2 La struttura del wikibook 72

3.3 Prima realizzazione del wikibook 75

3.4 Elementi integrativi inseriti nel libro 81

3.4.1 Introduzione alla storia della didattica della fisica 81

3.4.2 Peer Istruction 85

3.4.3 Modelli di acquisizione della conoscenza 86

3.5 Divulgazione del progetto e coinvolgimento dei docenti 90

Conclusioni 91

Bibliografia 93

Introduzione

Ci sono molte ricerche, confermate anche da svariati luoghi comuni, che suggeriscono come gli studenti generalmente considerino la fisica difficile a livello concettuale, astratta, noiosa e come "disciplina di élite adatta soltanto ad alunni eccezionalmente dotati e talentuosi" (Checkley 2010; Ancell, Guttersrud, Henriksen, Isnes; 2004; Williams, Stanisstreet, Spall, Boyes, Dickson; 2003; Lavonen, Meisano, Byman, Uiito, Juiit; 2005; Barmby, Defty, 2006).

Secondo uno studio condotto nel Regno Unito su studenti della scuola secondaria, la ragione principale di questo disinteresse risiede nel fatto che gli alunni percepiscono la materia come difficile e in generale hanno aspettative basse per quanto riguarda le loro capacità relazionate alla disciplina. Perlopiù è stato osservato che "gli studenti finiscono le scuole medie con un apprezzamento equanime tra fisica e biologia, ma che, durante il periodo delle superiori, mentre la loro considerazione nella biologia rimane pressoché la stessa, quella per la fisica diminuisce, finendo per percepire la biologia come interessante e la fisica come noiosa" (Ancell, Guttersrud, Henriksen, Isnes 2004)

Ovviamente, tutti questi aspetti hanno serie ripercussioni nel creare il bacino di fisici richiesto per formare un adatto sviluppo tecnologico a livello sociale e, in particolare, a raggiungere il numero di docenti di fisica richiesto all'interno delle scuole (Erinosho 2013). Le difficoltà che gli studenti riscontrano nei confronti della fisica sono state attribuite a vari fattori. È stato riscontrato, ad esempio, che gli studenti trovino difficile la natura stessa della materia, che richiede molte abilità particolari per maneggiare la grande varietà di obiettivi formativi (quali usare equazioni/formule, capacità di *problem solving*, sviluppare una comprensione teorica/concettuale, un uso corretto del ragionamento spaziale e, ovviamente, anche l'uso della parte sperimentale) (Ornek et al, 2008). Ma il gran numero di traguardi richiesti non è l'unico ostacolo che la materia presenta: le ricerche cognitive suggeriscono anche che alcuni degli "errori" fatti dagli studenti in merito siano dovuti a meccanismi generici (attivi anche in altre circostanze), precisando che la contestualizzazione di quella che

è la nostra *fisica intuitiva* costituirebbe un passaggio necessario per l'apprendimento della materia (si parla di contestualizzazione in quanto la maggior parte di questi meccanismi sono innati nell'individuo, oltre che di forte utilità pratica per la sopravvivenza, e pertanto non sono suscettibili di eliminazione)(Bagnoli, Gronchi, 2019).

Scopo di questo lavoro di tesi è quello di indagare il più possibile su questi fenomeni di natura cognitiva e di presentare, in relazione, alcune tipologie di lezione diverse da quella frontale o, più in generale, diverse da qualsiasi tipo di lezione tradizionalmente usata nelle scuole.

L'elaborato si divide in tre parti.

Nella prima parte analizzeremo quelli che sono gli aspetti legati alla fisica intuitiva nelle loro caratteristiche e le corrispondenze che questi hanno nelle varie branche della fisica. Purtroppo, come vedremo, la lezione frontale, tradizionalmente usata in molte scuole, tra cui quelle italiane, non riesce del tutto ad attuare la contestualizzazione di questi fenomeni nello studente e, pertanto, cercheremo dei metodi didattici alternativi utili come completamento.

Nella seconda parte di questo lavoro, elencheremo e analizzeremo quelli che abbiamo ritenuto essere alcune delle tipologie di lezione che meglio possono condurre un discente verso una rivisitazione dei principi della fisica intuitiva. Principalmente, analizzeremo un tipo di pedagogia che passa attraverso la narrazione e, in particolare, ci concentreremo prevalentemente sulla didattica realizzata attraverso l'utilizzo di podcast e, in secondo luogo, di libri game. Vedremo che queste tipologie di tecniche pedagogiche, benché fuori dai canoni tradizionali, possono avere buoni riscontri nell'insegnare e nel far comprendere la fisica agli studenti.

La terza parte di questo lavoro consiste nella realizzazione (e nella descrizione) di un libro elettronico consultabile gratuitamente attraverso il web. Questo, oltre a contenere la maggior parte delle tematiche espresse nelle prime due parti di questo elaborato, è modificabile dagli utenti stessi che lo consultano e, in questo modo, speriamo di riuscire a coinvolgere i docenti e possibilmente anche gli studenti per raccogliere esperienze e consigli da rielaborare in un secondo momento andando così a formare una raccolta di quelle che sono le difficoltà più comuni all'interno delle classi quando si tratta di insegnare fisica (e su alcune possibili maniere di risolverle).

Ovviamente, non ci illudiamo che, dopo la realizzazione di questo lavoro, la fisica non sia più, improvvisamente, una materia di difficile comprensione per gli studenti. Come già

accennato, le motivazioni che rendono questa materia così difficile da elaborare sono molteplici, e la maggior parte di queste esulano dagli scopi di questa tesi. Tuttavia, riconosciamo l'importanza di coinvolgere insegnanti e studenti su queste tematiche, da cui scaturisce l'esigenza di scrivere il libro online. La speranza è che quest'ultimo possa continuare a essere compilato, anche dopo la realizzazione di questa tesi di laurea, in maniera da poter raccogliere sempre più tematiche inerenti alla pedagogia della fisica. Il punto di arrivo più ambizioso coinciderebbe, quindi, con l'ottenere un testo che riesca a fornire, in maniera chiara e accessibile, tutte le tematiche inerenti alla semplificazione dei concetti fisici in un contesto di apprendimento. Riconosciamo, prima di tutto, l'importanza che la fisica diventi una disciplina accessibile a chiunque lo desideri.

Capitolo 1

Le basi cognitive della fisica intuitiva

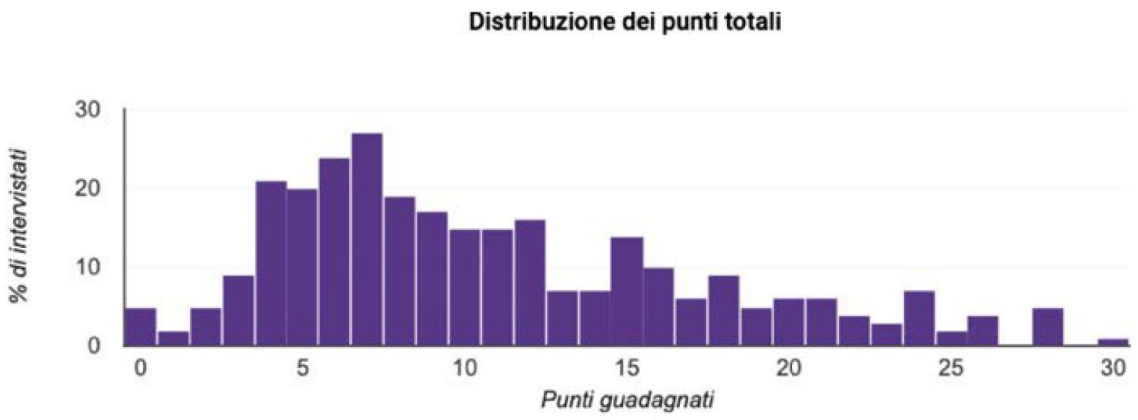
Numerosi studi sono stati condotti in materia di psicologia di sviluppo cognitivo e educazione scientifica con lo scopo di capire come si formano i concetti scientifici e perché alcuni concetti sono più difficili da capire rispetto ad altri (Hespos, VanMarle, 2012; McCloskey 1983; Baillargeon 2008; Spelke, Breinlinger, Macomber, Jacobson, 1992). Queste ricerche rivelano che, fin dai primi anni di vita, i bambini costruiscono visioni intuitive del mondo attorno a loro e dei fenomeni che lo costituiscono. Come conseguenza, arrivano in classe con concezioni già acquisite, ed è con queste concezioni che proveranno a interpretare le conoscenze scientifiche che gli verranno proposte in classe (Megalakaki, 2008).

I preconcetti che gli studenti hanno nei confronti della scienza hanno stimolato l'interesse degli educatori per via di un principio fondante della teoria di apprendimento costruttivista, il quale afferma che "gli studenti vengono da un ambiente di apprendimento con preconcetti, che si formano durante le interazioni tra l'ambiente fisico e sociale, e questi preconcetti minano l'apprendimento" (Pfundt, Duit, 2006). Come sottolineato da Rovelli (2015) la maggior parte di questi fraintendimenti sono molto simili alla concezione aristotelica della fisica, che poi risultano fortemente consistenti con le proprietà del movimento in un fluido viscoso (Bagnoli, Gronchi, 2019).

Molte di queste misconcezioni, perlopiù, non sembrano terminare una volta conseguito il corso di studi superiore: riportiamo come esempio i risultati del test di *Force Concept Inventory*[1] per la facoltà di ingegneria dell'Università degli studi di Firenze (anno accademico 2018-2019), riportati nella figura sottostante, che non sono tra i più incoraggianti (perlopiù se consideriamo che circa il 40% degli intervistati proviene da un liceo scientifico e il 30% da un

[1] *Force Concept Inventory* è uno strumento che mira, attraverso test, a misurare le carenze nelle conoscenze di meccanica di base degli studenti, a livello sia liceale che universitario. Si tratta di un insieme di quiz su cinematica e leggi di Newton, formulati con un linguaggio di tutti i giorni (Hestenes, Wells, Swackhamer, 1992).

istituto tecnico, entrambi indirizzi dove lo studio della fisica viene considerato come approfondito).



Distribuzione di Force Concept Inventory test all'Università di Firenze nel 2019. Il punteggio massimo consentito è di trenta punti.

Scopo di questo capitolo sarà quindi quello di stilare un'analisi il più possibile accurata delle cause legate alla psicologia cognitiva che possono essere collegate a un mancato apprendimento completo degli studenti e di come i nostri impulsi cognitivi si oppongano (almeno in parte) a un'interpretazione della realtà fondata su regole deduttive. Il tutto sarà accompagnato, quando possibile, da una breve parallelismo con il pensiero aristotelico (o in generale con una qualsiasi filosofia storica che assomigli alla concezione in oggetto) e da una plausibile spiegazione riguardante ciò che ha sviluppato ogni particolare visione.

1.1 Primi elementi di fisica intuitiva

L'esatta definizione della fisica intuitiva è ancora oggetto di studio, ma alcuni aspetti sono chiari (Bagnoli, Gronchi, 2019):

1 Gli oggetti solidi non si dividono in due o più parti spontaneamente

2 Gli oggetti solidi non si compenetrano (se un oggetto appare in una posizione o in una forma diversa dal solito ci aspettiamo che ci sia qualcosa su cui è appoggiato)

3 Gli oggetti continuano ad esistere anche se non si vedono, perché temporaneamente nascosti;

4 Se non sono appoggiati su un sostegno o sospesi, gli oggetti cadono verso il basso;

5 Oggetti più pesanti cadono più velocemente di oggetti manifestamente leggeri;

6 Gli oggetti si spostano in direzione della forza a loro applicata

7 In assenza di “motori” attivi (forze), gli oggetti dopo un po' si fermano;

8 Le forze sono esercitate da soggetti attivi (viventi) in maniera intenzionale;

9 Le risposte sono lineari se è possibile percepire la quantità (doppia causa-doppio effetto) altrimenti sono analogiche (l’effetto è solo qualitativamente legato alla causa);

10 Bisogna sempre fare riferimento al caso tipico, non a quelli estremi.

Questi principi sono coerenti con la divisione del processo cognitivo in due sottosistemi, denominati Sistema 1 e Sistema 2 (Kahneman; 2012). Il Sistema 1 è veloce, intuitivo, associativo, mentre il Sistema 2 è lento, deliberato e basato su regole. Il Sistema 1 è quindi inconsapevole e analogico (ovvero conta in maniera discreta fino a pochi numeri), è quello che ci permette di eseguire i compiti di tutti i giorni, anche abbastanza complessi come guidare un’automobile o reagire a rumori esterni.

Il Sistema 2 è invece più faticoso. Monitora l’attività del Sistema 1 e interviene inibendone la risposta automatica quando questo non è più tanto efficace, ad esempio regole non lineari del tipo “se...allora” oppure per un calcolo complesso. Dal momento che il Sistema 2 richiede molte più energie, in genere ci si affida al Sistema 1, specialmente quando non c’è abbastanza tempo a disposizione. Quest’ultimo aspetto rende più probabile la possibilità di cadere in errore di fronte a problemi più complessi (Bagnoli, Gronchi, 2019).

Continuiamo quindi con una breve introduzione ad alcuni principi cognitivi riguardanti la matematica, riconoscendo l’importanza che questa disciplina ha nei confronti della fisica. Semplici esperimenti dimostrano come l’essere umano fin dai primi anni di vita, così come molti animali, riesce a contare almeno sino a qualche unità. È stato riscontrato, ad esempio, come il bambino rimanga sorpreso se, attraverso trucchi di magia, gli oggetti da sotto una coperta cambino da tre a cinque (Bagnoli, Gronchi, 2019).

Contare non è l’unico aspetto della matematica che possiamo riscontrare nei bambini: Gao (2000) ha messo a confronto infanti di nove mesi con un contenitore trasparente riempito per un quarto di un liquido rosso, riscontrando che, una volta coperto il contenitore con uno schermo e cambiata la quantità di liquido all’interno da un quarto a tre quarti, rivelato nuovamente il contenitore, il bambino si sofferma a guardare più a lungo rispetto che a lasciare il contenitore con la stessa quantità di liquido, dimostrando così che i bambini di quell’età

hanno già il senso delle proporzioni. A questo proposito, Xu e Spelke (2000) hanno realizzato un esperimento su bambini di sei mesi: una parte di questi bambini era messa in relazione con uno schermo visualizzante 16 punti, mentre la restante parte era messa in relazione con la visualizzazione di 8 punti. In un secondo momento, le immagini visualizzate per ciascun bambino sono state invertite: i bambini che prima erano abituati a vedere i 16 punti sono stati sottoposti a 8 punti, mentre quelli che prima erano abituati agli 8 punti sono stati sottoposti a 16. È stato visto come, sotto questa inversione, i bambini abituati a 8 punti rimanevano più a lungo a guardare i 16 punti, viceversa quelli abituati a 16 si soffermavano più sugli 8. Tuttavia, è stato anche riscontrato, in un secondo esperimento, che i bambini abituati a vedere 8 punti non si soffermavano su uno schermo visualizzante 12 punti, dimostrando la capacità di distinguere il rapporto di 1:2 ma non di 2:3.

Gli ultimi decenni sono stati caratterizzati da ricerche sull'interpretazione del mondo fisico da parte dei bambini, in particolare per quanto riguarda la rappresentazione degli oggetti. Molte di queste concordano sul fatto che gli infanti non abbiano aspettative nel vedere due oggetti occupanti lo stesso spazio allo stesso tempo (Hespos, VanMarle, 2012).

Altri studi condotti su infanti di due mesi di età dimostrano che questi bambini si aspettano che una palla si fermi quando entra in contatto con un muro solido, ma è ancora fonte di dibattito se si tratti di violazione della solidità o violazione della continuità (Spelke, Breinlinger, Macomber, Jacobson, 1992). Altri studi dimostrano come gli infanti percepiscano gli oggetti come limitati e coesi (Van de Walle, Spelke, 1993) o di come non dovrebbero cambiare grandezza, forma e colore (Baillargeon 2008). Uno degli aspetti più interessanti è il fatto che sia bambini che i pulcini si aspettano che tutti gli oggetti pesanti cadano verso il basso e che tutti gli oggetti in movimento tendano inevitabilmente a fermarsi, caratteristiche che ricordano vagamente la fisica aristotelica (McCloskey 1983). La ragione evolutiva dietro questo tipo di aspetti risiede molto probabilmente nella capacità di saper distinguere velocemente tra oggetti inanimati (che tendono appunto a fermarsi) e oggetti animati, che possono invece costituire un pericolo (Bagnoli, Gronchi, 2019).

Quanto appena esposto sono alcuni aspetti della fisica intuitiva presenti fin dalla prima infanzia e tutti quelli appena presi in considerazione, escluso quello inerente agli oggetti in movimento destinati a fermarsi, sono accettati anche dalla fisica odierna. Purtroppo, non sempre fisica intuitiva e fisica odierna coincidono, anzi, molto spesso non è così. Andando ad

analizzare gli elementi di fisica elaborati da Galileo in poi, come faremo nelle prossime sezioni, si vede che gli elementi coincidenti sono pochissimi, se non del tutto inesistenti. Riteniamo pertanto che la fisica intuitiva potrebbe essere tra i principali fattori a ostacolare l'apprendimento dei discenti. Cercheremo quindi di contrappore il più possibile elementi di fisica newtoniana con quelli della fisica intuitiva. Bisogna tenere presente però, come già specificato all'inizio di questo paragrafo, che l'esatta definizione di fisica intuitiva è ancora oggetto di studio, non sarà quindi sempre possibile assicurare l'esatta natura degli stimoli cognitivi introdotti.

1.2 Misconcezioni cognitive legate all'apprendimento della fisica

In questa sezione ci occuperemo di elencare e analizzare alcuni degli elementi della fisica intuitiva. Come vedremo, raramente questi potranno essere conciliabili con i principi della fisica classica. Per rendere ancora più chiaro il concetto, abbiamo deciso di introdurre delle sottosezioni, ciascuna delle quali facente riferimento a una precisa branca della fisica.

1.2.1 Cinematica

Uno dei problemi inerenti si riscontra nella composizione dei moti. Esperimenti condotti con studenti della Johns Hopkins University (Baltimora, Maryland) mostrano che in un problema concernente un corpo con una certa velocità (per esempio una persona che cammina o un aeroplano in volo) che lascia cadere una sfera in direzione verticale rispetto al suolo, soltanto il 50-60% dei soggetti coinvolti (dipendentemente dal tipo di situazione proposta) credono che la sfera, oltre che a cadere, si muova anche in avanti (McCloskey, Washburn, Felch; 1983). Risultati simili sono emersi anche in altri studi (McCloskey, 1983; McCloskey 1983b).

Il motivo di questa incomprensione può essere riassunto attraverso una serie di esperimenti: è dimostrato, infatti, come uno sfondo o un punto di riferimento mobile giochi un ruolo fondamentale nella nostra percezione del moto. Riporteremo qui alcuni esempi (Wallach; 1959):

1 In riferimento alla Figura 1.1, vediamo come introducendo un anello (oggetto) all’interno di una figura geometrica più grande (sfondo) l’individuo finisca inevitabilmente per percepire soltanto l’oggetto come in movimento, qualunque sia lo spostamento realmente avvenuto. L’unica eccezione sta nel caso a destra, dove però è stato introdotta una nuova figura più grande sottostante le altre due (abbiamo quindi, in un certo senso, la presenza di due sfondi).

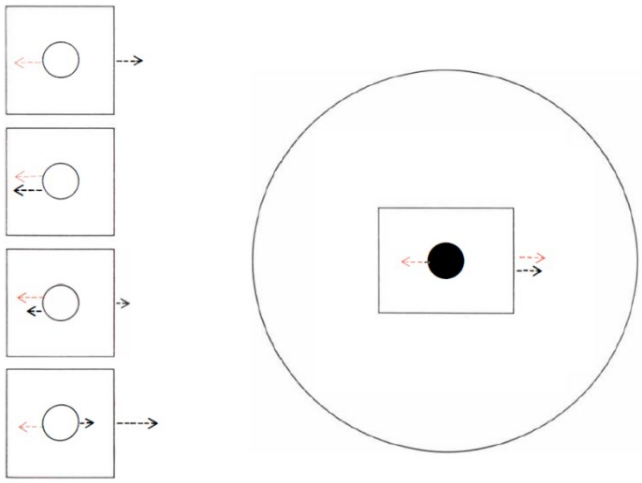


Figura 1.1 - Moto reale (frecce nere) e moto percepito (frecce rosse) da un soggetto. Vediamo che l'unico caso in cui il quadrato venga concepito come in movimento è quello a destra, dove è stata aggiunta un'ulteriore figura che sostituisce, almeno in parte, il ruolo di sfondo alla seconda.

2 In un altro esperimento viene accesa su uno sfondo nero una lampadina che percorre una cicloide. Se accendiamo un’ulteriore luce che si muove lungo l’orizzontale a velocità costante in maniera che la distanza dalle due luci rimanga sempre la stessa (come riportato in Figura 1.2), si riscontra che il moto non viene più percepito come in precedenza, ma piuttosto si tende a vedere la prima luce girare intorno alla seconda.

3 Ultimo caso, due oggetti vengono mossi lungo traiettorie perpendicolari tra loro (a destra della Figura 1.3). I soggetti percepiscono questo tipo di moto come composizione di quello lungo la congiungente i due oggetti unito a quello di un fittizio piano di appoggio che si muove in diagonale.

Gli esempi precedenti mettono in evidenza, a nostro parere, la predisposizione dell’essere umano a considerare come mobile soltanto un oggetto su due, se questo è abbastanza piccolo

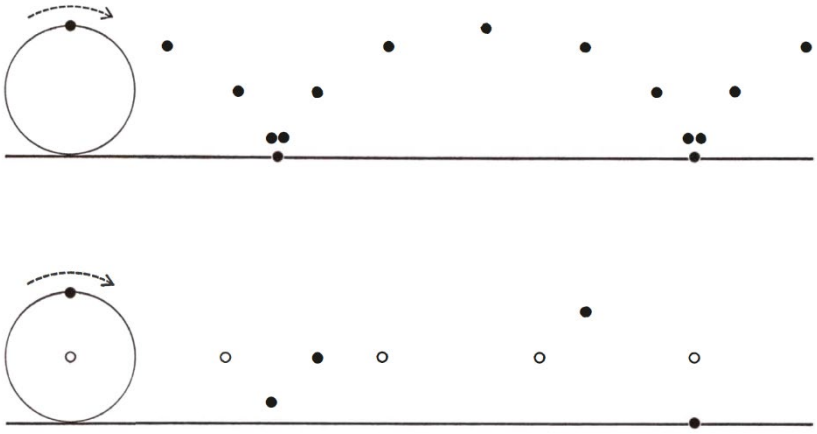


Figura 1.2:

***In alto**: se all'interno di un anello che si muove di rotolamento puro accendiamo una luce sul suo bordo, il moto della luce viene percepito come una cicloide (ovvero come il moto reale dell'oggetto)*

***In basso**: se al centro del medesimo anello aggiungiamo un'altra luce, il moto della prima non è più percepito allo stesso modo, ma bensì come un moto rotatorio attorno alla seconda.*

***Nota**: in entrambi gli esperimenti l'anello non è visibile, in figura appare solo a livello esplicativo*

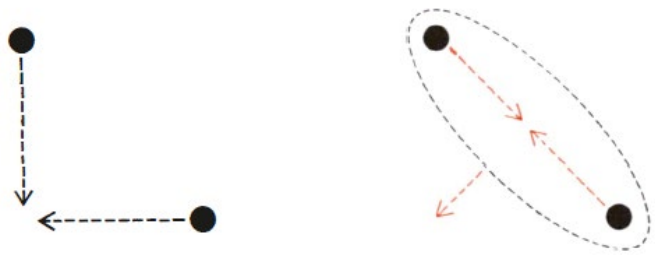


Figura 1.3 - Due oggetti che si muovono di moto rettilineo uniforme lungo traiettorie perpendicolari tra loro. A sinistra il moto reale e a destra quello percepito (la linea nera tratteggiata rappresenta lo sfondo fittizio ideato dall'osservatore)

rispetto all'altro. L'esigenza di poter usufruire di uno sfondo di questo tipo può sfociare addirittura nella creazione di uno fittizio (come nell'esperimento 3 o l'anello dell'esperimento 2) nel caso in cui i due oggetti abbiano la stessa grandezza. Facciamo notare che, in tutti e tre i casi, il moto così concepito (almeno in prima approssimazione) è sempre quello dell'oggetto relativo allo sfondo, esattamente come avviene nel caso considerato in precedenza del corpo lasciato cadere da un altro più grande[2].

[2] In effetti esiste un esperimento che propone proprio il rilascio di un grave attraverso un sistema sfondo-oggetto: i soggetti intervistati tendevano a disegnare la traiettoria di caduta come rettilinea fintanto che lo sfondo era presente, una volta rimosso, invece, la traiettoria finiva per essere rappresentata come parabolica (McCloskey 1983).

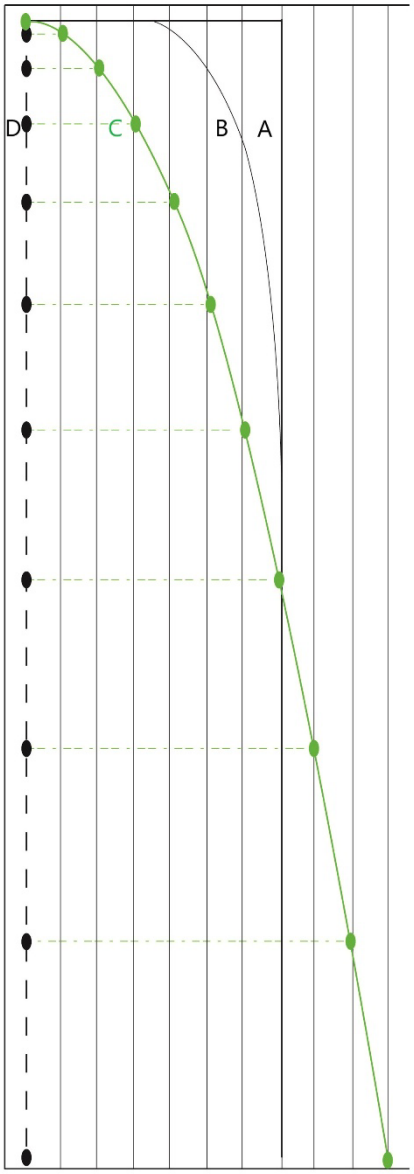


Figura 1.4 - Tipologie di traiettorie disegnate dai soggetti. In verde la traiettoria rappresentante la configurazione corretta

Riteniamo che fraintendimenti di questo tipo possono portare lo studente verso grosse difficoltà, visto che il concetto di moti relativi ricorre spesso in fisica. Crediamo anche che molti di questi errori possono essere evitati se si invitano i soggetti a concentrarsi in maniera più peculiare sull'oggetto e non sul sistema oggetto-sfondo, ma ciò non sarà comunque sufficiente al raggiungimento di una comprensione generale in materia di composizione dei moti.

Vengono riscontrate difficoltà da parte dei discenti anche quando, invece di sole composizioni di velocità, abbiamo anche a che fare con accelerazioni costanti. Sappiamo che in questo caso la fisica newtoniana prevede che il moto sia di tipo parabolico (come avviene per un oggetto che cade sotto la forza di gravità), ma non è detto che si ottenga lo stesso risultato basandoci sulla fisica intuitiva.

È stato visto (McCloskey 1983b) che soltanto il 28% dei soggetti di un esperimento ha dato la risposta corretta. Il 5% crede che l'oggetto si muova prima in orizzontale e poi improvvisamente in verticale (linea A in figura 1.4) mentre il 35% appoggia l'idea che l'oggetto si muova prima in orizzontale per poi spostarsi più gradualmente (ma comunque in un intervallo limitato di spazio) verso una traiettoria verticale passando per una curvilinea (linea B). Il restante 32% ha associato all'oggetto una traiettoria verticale (l'obbiettivo richiesto dall'esperimento era quello di disegnare la traiettoria di un oggetto lanciato in direzione orizzontale).

Anche in questo caso, il parallelismo storico è evidente. La traiettoria A in figura è la stessa teorizzata del filoso arabo Avicenna dell'undicesimo secolo, mentre la traiettoria B è quella del filosofo scolastico Alberto di Sassonia nel quattordicesimo secolo. Rappresentano entrambe,

ad ogni modo, visioni piuttosto caratteristiche di tutto il periodo pre-newtoniano, come avveniva per esempio all'interno della teoria d'impeto[3] (McCloskey 1983b).

Riteniamo che questo tipo di incomprensioni possano nascere da un erroneo punto di vista: siamo soliti guardare gli oggetti lanciati da noi e questo può portare a errori di prospettiva. O forse il nostro naturale associare un "impeto" che segue l'oggetto nella stessa direzione in cui lo abbiamo lanciato può portarci a credere che il primo tratto della traiettoria sia più orizzontale di quello che in realtà è. Qualunque sia la spiegazione, l'aspetto sicuramente è legato a uno schema cognitivo sviluppatosi con la nostra necessità di lanciare oggetti.

1.2.2 Forze e inerzia

Uno dei problemi più grossi riguardanti la cognizione del concetto di forza è dovuto al fatto che, istintivamente, lo associamo alla reazione muscolare (Duit 1984; Barbetta, Loria, Mascellani, Michelini, 1984). Per esempio, se una persona viene spinta sulla spalla si attribuisce la forza al solo agente attivo, mentre se entrambi premono o spingono con le mani dell'uno su quelle dell'altro allora entrambi i soggetti sono ritenuti esercitare una forza. Questo accade perché tendiamo a sfruttare la "mappatura" delle azioni sul nostro corpo per capire l'intenzionalità di un atto osservato, caratteristica che, tra le altre cose, rende il principio di azione e reazione tra i meno compresi (Bagnoli, Gronchi, 2019).

Di seguito i fraintendimenti più comuni concernerti il concetto di forza (Clement 1982; Gustone, Watts, 1985; Bagnoli, Gronchi, 2019):

1 Lo stato "naturale" di un oggetto è di essere a riposo e, qualora si trovasse in questo stato, non c'è nessuna forza agente su questo.

2 Le forze sono connesse per lo più agli esseri viventi (come già menzionato sopra)

3 Oggetti più grandi esercitano forze più intense.

4 Il fatto che un oggetto non si fermi può portare all'interpretazione che ci sia una forza agente sull'oggetto, anche nel caso in cui il moto sia a velocità costante.

5 La quantità di moto di un oggetto è proporzionale al numero di forze applicate.

[3] La teoria dell'impeto (o dell'*impetus*) è una teoria medievale secondo cui applicando una forza a un corpo, si trasferisce ad esso la medesima forza, che gli consente di continuare a muoversi con la stessa velocità se non è frenato da ostacoli o dalla resistenza del mezzo. Tratteremo la teoria d'impeto anche nel prossimo paragrafo.

6 Queste ipotetiche forze permangono anche se ne è presente una che si oppone al moto. In questo caso l'oggetto continua a muoversi perché la forza ipotetica sarebbe maggiore di quella respingente.

7 Una forza causa spostamenti nella direzione in cui è orientata e viceversa;

8 Può anche succedere di ritenere che questa forza aumenti o diminuisca di intensità in relazione alla variazione di velocità del corpo.

Si vede subito che tutte le precedenti affermazioni si contrappongono nettamente a quelli che sono i principi della dinamica ad oggi riconosciuti, dove lo stato naturale di un corpo è quello di mantenere la velocità costante nel tempo (che corrisponde al caso in cui la somma delle forze agenti sul corpo risulta uguale a zero) e quindi dove l'azione di eventuali forze si manifesta solo in presenza di una variazione di velocità (ovvero di una accelerazione). Emerge dunque una difficoltà da parte degli studenti nel comprendere il significato ontologico dell'equazione $\vec{F} = m\vec{a}$, associando quindi il concetto di forza con quello di inerzia (ovvero confondendo accelerazione con velocità). Inoltre, parte di questi fraintendimenti nascono dal fatto di non considerare l'attrito come una forza e ritenere, di conseguenza, che il processo di rallentamento sia una proprietà intrinseca dei corpi. Dopo aver frequentato un corso di fisica universitario, la percentuale di studenti che sembra aver abbandonato questi preconcetti è circa il doppio, ma la parte di quelli che ancora cadono in errore resta comunque considerevole (circa il 30%) (Clement; Mass, Amherst; 1982).

Ricerche condotte da Reiner, Slotta, Chi e Resnick (2000) mostrano come gli studenti abbiano difficoltà nell'assimilare la nozione di forza anche per via di una tendenza individuale a considerarla erroneamente come una sorta di "sostanza" (per esempio, possono pensarla come a un qualcosa che un oggetto possiede e che consuma). I risultati riportati da Ioannides e Vosniadou (2002) concernenti oggetti sia in movimento che stazionari, rilevano che la maggior parte dei bambini in età compresa tra i 4 e i 15 anni usa un piccolo numero di concezioni relativamente ben definite e coerenti. Le visioni principali riguardanti le forze sono *interne*, *acquisite*, lo *spingere* e il *tirare* e la *gravità*, ovvero la maggior parte dei bambini ritiene che le forze siano una proprietà interna degli oggetti, connesse al loro peso o alla loro grandezza. Una pietra molto grande, per esempio, avrà più forza di un'altra più piccola. Il fatto di unire i valori di "spingere/tirare" e "gravità" è spesso frutto di istruzione scolastica.

Anche in questo caso, il fatto di associare l'idea di forza con quella di moto non è un fatto isolato. Troviamo lo stesso concetto nell'interpretazione pre-newtoniana del moto di una freccia che, mossa da una forza esercita dall'arco, vibra in aria accompagnata da una ugual forza (o *teoria d'impeto*); o nella filosofia aristotelica, dove lo stesso tipo di freccia si muove grazie alle forze esercitate dai flussi di aria circostante la medesima. (Dijksterhuis 1961). Anche il fatto di ritenere che lo stato naturale di un corpo sia quello di essere fermo fa parte della filosofia Aristotelica, come il fatto di credere che gli oggetti rallentino spontaneamente.

Nonostante il principio di inerzia di per sé sia indubbiamente uno degli elementi più complessi nel determinare la corretta comprensione del fenomeno fisico da parte di uno studente, troppo lontano dal senso comune di tutti i giorni, entrano in gioco anche altri fattori che ne complicano ulteriormente il significato. Questi fattori riguardano il valore ontologico della velocità e dell'accelerazione, indiscutibilmente necessario per un corretto utilizzo del primo e del secondo principio della dinamica.

È noto, ad esempio, come gli studenti possano cadere in errori quali "l'accelerazione massima si ha in corrispondenza della velocità massima" o "l'accelerazione è costante quando anche la velocità è costante" (Bao, Zollman, Hogg, Redfish, 2002), oppure "l'accelerazione è uguale a zero quando la velocità è zero" così come "a grandi/piccole accelerazioni corrispondono grandi/piccole velocità". Altre misconcezioni di questo tipo possono essere: "se due oggetti hanno la stessa velocità allora hanno la stessa accelerazione", "quando il modulo della velocità è zero l'accelerazione è zero", "un oggetto che si muove di moto circolare non ha accelerazione" e "l'accelerazione è la variazione di velocità (senza contare la direzione)" (Liu, Fang, 2016).

A eccezione degli ultimi tre (dove compare un'evidente difficoltà nel comprendere il significato vettoriale dell'accelerazione) facciamo notare che sussiste una tendenza ad accostare la stessa quantità (in modulo) sia all'accelerazione che alla velocità. Riteniamo che questa potrebbe essere una tendenza cognitiva, dal momento che la nostra mente potrebbe avere difficoltà (ad esempio) a concepire che un oggetto fermo possa avere un'accelerazione, anche elevata (tendiamo ad accostare il concetto di accelerazione con grandi velocità). Comunque, affinché il tema possa essere chiarito saranno necessari ulteriori studi.

Concludiamo con un altro esperimento riguardante sempre il principio di inerzia. In questo caso, una pallina viene mossa all'interno di un tubo a sezione circolare avvolto a spirale e

poggiato verticalmente su un piano orizzontale come indicato in figura 1.5. Circa il 50% degli studenti ha ipotizzato una traiettoria di uscita della pallina simile al caso B indicato in immagine, invece della risposta corretta (caso A).

Come indicato in figura, è stata effettuata anche la variante del corpo in rotazione attaccato a un filo e poi lasciato andare. In più, sono stati condotti altri esperimenti simili, che hanno dato risultati di egual natura (McCloskey, Washburn,1983). Riteniamo questo tipo di esempio interessante perché pensiamo che manifesti la tendenza degli studenti a concepire una sorta di principio di inerzia, ma invece di riprendere la velocità finale e mantenerla su una traiettoria rettilinea, sembrano avere la tendenza a imitare la traiettoria precedente (la risposta privilegiata dai soggetti è quella tipo curvilineo, simile al moto a spirale indotto dal tubo).

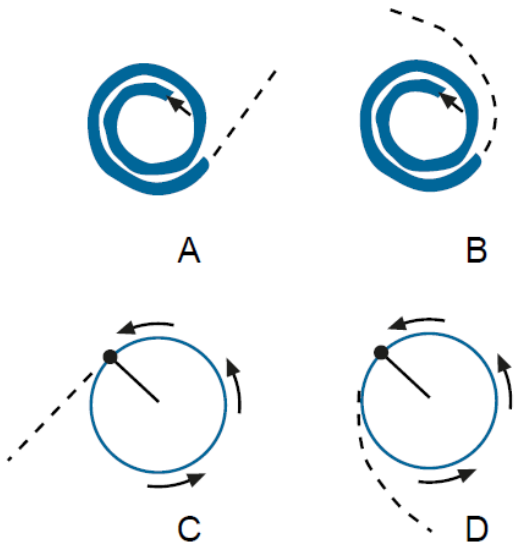


Figura 1.5 - Lastra a spirale, posta verticalmente e vista dall'alto (sopra) e moto circolare uniforme di una sferetta sul piano orizzontale (sotto). In tratteggiato la traiettoria della sferetta rilasciata dai vincoli. A sinistra le risposte corrette, a destra quelle (errate) preferite dagli studenti. Nelle due figure poste in alto, la posizione iniziale della sferetta è indicata con una freccia.

1.2.3 Energia

Sebbene l'energia sia uno dei temi centrali e tra i più ricchi di risvolti nelle discipline scientifiche, gli studenti di solito hanno grosse difficoltà nel comprenderne il significato (Driver, Squires, Rushworth, Wood-Robinson 2004). Tuttavia, come fa notare Besson (2017,

p. 170) l'energia non compare mai in forma unica, ma soltanto come somma di contributi corrispondenti. Riteniamo che il precedente fatto debba essere chiarito agli studenti prima di iniziare una qualsivoglia lezione sull'energia, essendo l'unica maniera di evitare confusione. Da questo momento in poi ci riferiremo a tale visione (ovvero di energia come composizione di formule matematiche) con il nome di "nozione fisica di energia".

La letteratura è ricca di studi sulla percezione degli studenti nei confronti del tema dell'energia. Joan Solomon (1983) fa notare come il termine, che compare fin dalla prima infanzia (anche se spesso in maniera contraddittoria e quasi sempre in associazione a istinti vitali quali "saltare" o "essere vivi"), finisca per identificare, negli adulti, tre temi che caratterizzerebbero questa concezione: vitalismo (l'energia è necessaria per vivere), attività (l'energia è necessaria per muoversi) e carburante (l'energia è necessaria per azionare macchinari). Questi temi sono emblematici di come il vocabolo venga utilizzato al di fuori della scuola e i suoi significati possono sia convivere che entrare in conflitto con quelli accademici.

Negli studenti più giovani, abbiamo detto, prevalgono concezioni antropocentriche e vitalistiche: l'energia è collegata alla vita e al movimento, alla capacità di compiere lavori. Non s'immagina l'energia associata a oggetti inanimati immobili, salvo il caso di oggetti esplicitamente fabbricati per immagazzinare e fornire energia, come le pile e i combustibili. L'idea che l'energia si possa trasformare in diverse forme, ampiamente veicolata dai manuali, è spesso intesa, più che come un principio di conservazione di una quantità fisica misurabile, come una metamorfosi, simile a quelle raccontate nelle favole in cui il ranocchio si trasforma in principe (Besson, 2017, p.169). Crescendo, la concezione che i ragazzi hanno dell'energia si fa sempre più accademica, ma non ancora del tutto soddisfacente.

Watts (2002) descrive come il concetto di energia esposto dagli studenti consista in sette diversi punti di vista[4]:

1 Energia centrata sull'uomo – si attribuisce energia solo all'essere umano o al limite a oggetti su cui vengono proiettate caratteristiche umane (modello infantile)

[4] Dieci anni dopo, Trumper e Gorsky (1993) hanno identificato nove ambiti concettuali quando si parla di energia, dove possiamo ritrovare contenuti simili: 1) L'energia è associata alle persone 2) Le cose possiedono e consumano energia. 3) L'energia permette agli eventi di accadere 4) L'energia è una sorta di ingrediente all'interno degli oggetti che può essere rilasciata con un particolare innesco. 4) L'energia è associata con l'attività 5) L'energia è creata da certi processi 6) L'energia è un tipo di fluido generalizzato che permette alla vita di essere più comoda 7) L'energia è un tipo di fluido che può essere trasmesso in determinati processi 8) L'energia come idea scientifica in grado di trasferirsi da un sistema ad un altro.

2 Modello depositante dell'energia – alcuni oggetti hanno e cedono energia (e possono essere ricaricati) mentre altri hanno "bisogno" di energia (e semplicemente consumano tutta quella che trovano) e altri ancora sono neutrali. A titolo di esempio, in un circuito elettrico la batteria appartiene alla prima categoria, la lampadina alla seconda e i fili elettrici alla terza.

3 Energia come ingrediente – in questo caso l'energia non è più un agente, ma un reagente: un ingrediente all'interno di oggetti o situazioni che hanno bisogno di un qualche tipo di innesco per attivarlo (il carbone quando viene bruciato, il cibo quando viene assimilato, ecc.)

4 Energia come un'attività "ovvia" – Si identifica l'energia solo attraverso attività manifeste. Qui qualsiasi forma di azione è considerata energia: correre, camminare, un telefono che squilla, il fuoco che brucia ecc.

5 Energia come prodotto – Si intende l'energia non più un ingrediente o un processo (come negli esempi precedenti), ma come un sottoprodotto della situazione. Contrariamente agli altri casi, l'energia non si conserva più ed è trattata come un ente che si crea e si distrugge entro un breve lasso di tempo.

6 Energia come funzionale – In questo caso l'energia diventa una sorta di carburante atta a muovere elettrodomestici ed esseri viventi, ma che non ha niente a che fare con gli oggetti inanimati.

7 Modello di energia a trasferimento a flusso – L'energia non è una sostanza, un fluido o un carburante che si insinua tra i corpi, trasferendosi da l'uno all'altro, ma si presenta come costrutto (numeri calcolati in maniera precisa in una certa maniera prestabilita proveniente da teorie e esperimenti per preservare una relazione in differenti fenomeni fisici).

Viene integrato, nell'ultimo punto della precedente lista, anche la nozione fisica di energia. Tuttavia, è bene precisare che questa è scarsamente utilizzata, anche da chi ha seguito corsi di fisica alla scuola secondaria di secondo grado (Duit 1984). Inoltre, l'impiego di questa nozione è spesso inappropriato, confuso con altri di stampo scientifico. Per esempio, si rivela spesso una certa difficoltà a distinguere tra forza ed energia o potenza ed energia, energia e voltaggio, temperatura e calore. In più, molti studenti pensano che soltanto gli oggetti in movimento posseggano energia e che l'energia serva sempre per fare qualcosa. Chablengula, Sanders e

Mumba (2012) hanno fatto vedere come molti studenti pensino che non ci sia energia in oggetti inanimati. Interessante, anche in questo caso, il parallelismo storico che, invece di passare attraverso Aristotele (che intendeva l'energia in maniera completamente diversa) vede i maggiori scienziati precedenti la seconda metà dell'ottocento, prima che una definizione chiara di energia si affermasse: Helmholtz intitolava *Conservazione della forza* il suo famoso lavoro del 1847 nel quale stabiliva un principio generale di conservazione dell'energia e il termine *forza viva*, introdotto da Leibniz, è stato utilizzato, fino a pochi decenni fa, in molti manuali scolastici per indicare l'energia cinetica (Besson, 2017, p. 169).

Facciamo notare che, come nel caso della forza, anche all'energia (seppur non in maniera così assoluta) è associata un'azione vitale. Benché il concetto di energia in fisica sia legato a quello di forza (l'energia è infatti l'integrale di una forza attraverso uno spostamento), riteniamo che il fraintendimento non sia connesso con tale legame.

L'energia, al contrario degli altri elementi visti fino ad ora, sembra fondersi di più con il linguaggio colloquiale piuttosto che con preconcetti cognitivi. Questo potrebbe essere dovuto allo stravolgimento che il termine ha avuto in età moderna e il suo conseguente divulgarsi nella società (anche attraverso mezzi scolastici), il che spiegherebbe come mai il parallelismo storico del pensiero delle concezioni degli studenti è maggiormente rivolto verso scienziati moderni piuttosto che verso Aristotele. Ad ogni modo, questo non è sufficiente ad escluderla da visioni erronee, anche dopo aver conseguito risultati scolastici fino al punto che, secondo quanto sostenuto da Solomon (1983), la scuola non sarà mai in grado di sopperire a tale deficit.

1.2.4 Circuiti e campi elettromagnetici

Di seguito alcuni dei fraintendimenti più comuni concernenti i circuiti elettronici e il loro utilizzo secondo uno studio condotto da H. Küçüközer e Sabri Kocakülah (2007) riscontrati anche in altre ricerche precedenti (Lee, Law 2001; Shipstone, Rhöneck, Kärrqvist, Dupin, Johsua, Licht 1988; Osborne 1983):

- I concetti di corrente, energia e potenziale non sono considerati differenti e sono usati in maniera intercambiabile tra di loro.
- La corrente è consumata dalle componenti dei circuiti

- La corrente esce dal polo positivo della batteria e entra nella lampadina dove è consumata per creare luce che non è condizionata dal secondo filo connesso con il polo negativo
- La corrente esce fuori da entrambi i poli della batteria e si scontra nella lampadina per accenderla
- La corrente si divide equamente in entrambe i rami di un circuito parallelo.
- In un circuito in serie, un cambiamento a valle della lampadina influenza la medesima, ma la stessa lampadina non è influenzata dal cambiamento in qualsiasi altra parte del circuito a monte.
- Le lampadine sono fonte di corrente costante.

Questi sono risultati di studi condotti su studenti di differenti paesi e su gruppi di diverse età.

Riteniamo che la maggior parte di questi fraintendimenti siano legati a una mancata comprensione del concetto di circuito, come il fatto che la corrente sia costretta a muoversi da un polo ad un altro, o il fatto che esista una "sincronia" tra tutti i componenti di un circuito, mentre sembra essere prediletta la concezione che un componente che si trovi prima (dove il concetto di "prima" è, peraltro, scelto arbitrariamente dallo studente sul momento) ha sempre un'influenza preponderante, se non totale, sugli eventi inerenti il circuito.

Riteniamo che il problema potrebbe essere risolto, almeno in parte, paragonando il flusso di elettroni (piuttosto che a una sorta di traffico autostradale, come avviene di solito) a un gas all'interno di un insieme di tubi costretto a passare attraverso canali o mezzi porosi di varia natura (il termine gas, peraltro, è corretto quando ci si riferisce a un sistema di elettroni). Il gas, infatti, ha la proprietà di espandersi in qualsiasi parte del circuito concessa e lo fa in maniera perlopiù omogenea (al contrario del moto di oggetti solidi, dove accade spesso che ci sia un agglomerarsi di corpi nella prossimità degli ostacoli precedenti il moto, come avviene appunto nel caso di un restringimento di carreggiata per il traffico autostradale). L'esempio può essere supportato da esperimenti pratici, aiutando lo studente a immaginare una condizione di propagazione del fluido mille volte superiore (come avviene nel caso degli elettroni). Metodi comprovati (Summers, Kruger, Mant 1998) suggeriscono invece di paragonare il circuito batteria-lampadina a un sistema pignone posteriore-corona anteriore di una bicicletta. Questo permetterebbe di associare la corona anteriore (munita di pedali) con la batteria e il pignone

posteriore con la lampadina, mentre la catena della bicicletta rappresenterebbe il flusso di corrente (Figura 1.5).

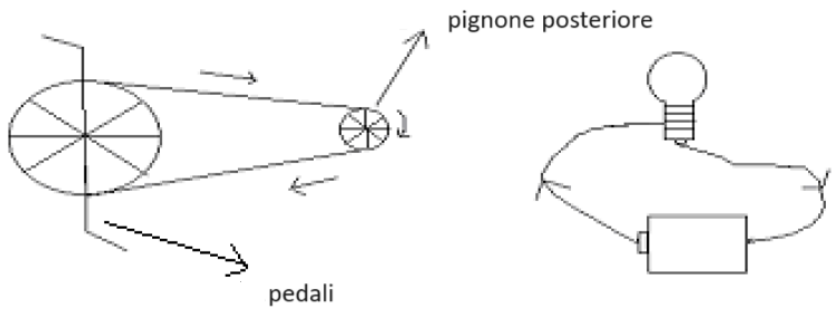


Figura 1.5 - Analogia tra un sistema a pedali di una bicicletta e un circuito elettrico

Un altro metodo potrebbe essere quello di chiedere l'opinione degli studenti in merito e, successivamente, invitarli a usare un amperometro per verificare esattamente qual è il valore della corrente in ciascun ramo di un circuito in serie.

Per quanto concerne il concetto di campo in elettromagnetismo, riteniamo che non possa essere considerato (nella sua completezza) alla portata di studenti delle scuole superiori, per via della lunga preparazione che richiede. Tuttavia, riportiamo brevemente alcuni esempi riguardanti studenti universitari, per evidenziare la portata ancora complessa che questo tipo di nozione può rappresentare.

In uno studio, 33 studenti universitari finlandesi, che avevano già completato corsi base di elettricità e di elettromagnetismo, sono stati messi a confronto con problemi concernenti particella carica, condensatore, induzione elettromagnetica e onda piana elettromagnetica. I risultati mostrano che gli studenti, nel valutare i campi elettrici di fronte alle varie situazioni proposte, generalmente non fanno uso di vettori. In più si notano difficoltà nel riconoscere le interazioni tra campo magnetico ed elettrico, così come nel comprendere le simmetrie tra i due (Kesonen, Asikainen, Hirvonen, 2011).

Molti altri studi, inoltre, si concentrano sul problema dell'inadeguato approccio degli studenti nel comprendere la natura vettoriale del concetto di campo, evidenziando anche come questi riescono nei problemi basati su forze coulombiane agenti su cariche singole, ma falliscono su concetti più elaborati bassati sulla nozione di campo (Povoci M. C., Finley F., 2002; Povoci, Finley, 2003; Povoci, Finley, 2007; Bradamente, Michelini, Stefanel, 2007; Saarelainen, Laaksonen, Hirvonen, 2007).

Risultati ottenuti su generazioni precedenti sono altrettanto scoraggianti. Si riscontrano, in particolare, difficoltà nella rappresentazione grafica del campo elettrico e delle sue forze abbinate, così come nella traiettoria di una carica positiva al suo interno (Törnkvist, Petterson, Transtömer, 1993), nello studio di un campo elettrico all'interno di un isolante (Viennot, Ramson, 1992) oltre che una certa predilezione da parte degli studenti nell'utilizzare il concetto di forza piuttosto che quello di campo nel risolvere problemi di elettrostatica (Furiò, Guisasola, 1998).

Facciamo notare che questo tipo di incomprensioni rappresentano grosse lacune per quella che può essere concepita come una visione generale del concetto di campo elettromagnetico, come di solito è presupposta per uno studente che ha frequentato corsi universitari su tali argomentazioni. Riteniamo che molti di questi problemi, probabilmente, possano essere risolti durante la scuola secondaria di secondo grado, attuando un tipo di approccio adeguato e con le giuste linee guida rivolte agli studenti.

1.2.5 Ottica

Si possono individuare quattro tipologie principali di concezioni comuni sulla visione, che si presentano spesso in sequenza secondo l'età, dalla più ingenua verso quella corretta (Guesne, 1985):

1 *Schema 1* - Concezione di una *luce ambiente* come qualcosa che riempie lo spazio, la stanza, e permette di vedere gli oggetti, senza considerare alcuna idea di propagazione della luce

2 *Schema 2* - Per vedere un oggetto, questo deve essere illuminato da una sorgente luminosa e una volta illuminato sarà visto comunque, senza considerare eventuali percorsi della luce rispetto all'occhio;

3 *Schema 3* - Come prima, per vedere un oggetto, questo deve essere illuminato da una sorgente luminosa, ma in più i raggi visivi che hanno origine dall'occhio in linea retta devono poter raggiungere l'oggetto e così cogliere la sua immagine;

4 *Schema 4* - Per vedere un oggetto, questo deve essere illuminato da una sorgente luminosa e la luce devo poi essere diffusa o riflessa in modo da arrivare sull'occhio (concezione corretta)

Le quattro concezioni appena esposte sono schematizzate nella figura sottostante.

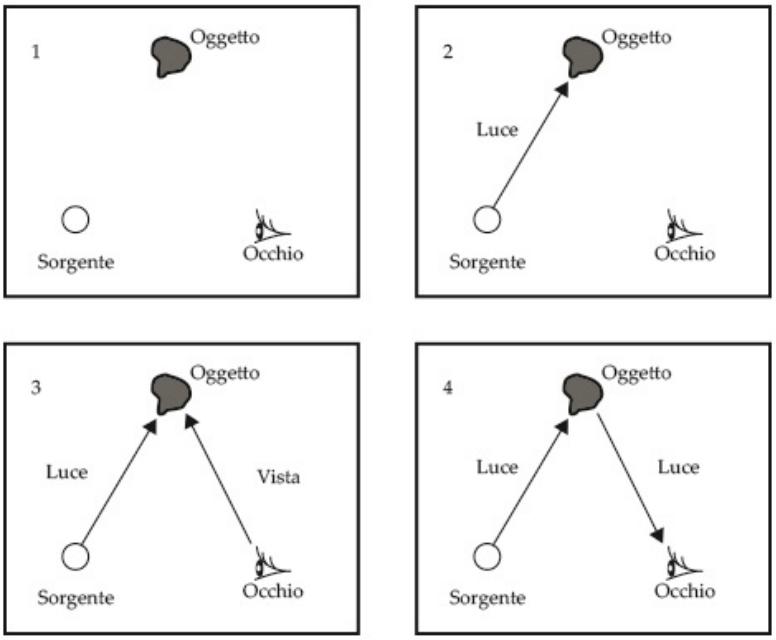


Figura 1.6 – Principali concezioni comuni sulla visione:

Schema 1: Non c'è connessione tra i tre elementi luce, occhio e oggetto; è sufficiente che ci sia una luce ambiente.

Schema2. La luce della sorgente deve poter investire l'oggetto per illuminarlo, non c'è connessione fra occhio e oggetto.

Schema 3. L'oggetto deve essere illuminato dalla sorgente e inoltre i raggi visuali che hanno origine dall'occhio devono raggiungere l'oggetto

Schema 4. Spiegazione corretta

Interessante notare come la teoria dei raggi uscenti dall'occhio sia la stessa di Euclide il quale, riprendendo il modello dei pitagorici (che credevano in una sorta di radiazione emessa dall'occhio che, raggiungendo l'oggetto, lo avvolge come dei tentacoli e ne permette la vista) aggiunge l'elemento di *raggi visuali*. In questa maniera, pur mantenendo l'idea che la vista sia frutto di emissione di raggi da parte dell'occhio, riesce comunque a creare delle leggi dell'ottica molto simili a quelle moderne.

Aristotele, invece, in questo caso, elabora una teoria secondo la quale la visione sarebbe dovuta alla perturbazione di un mezzo intermedio, il "diafano", provocata dalla presenza degli oggetti, una perturbazione che si propaga in maniera simile al suono ed è percepita dall'occhio

(de Hosson, Kaminski, 2007). Vediamo quindi che in questo caso Aristotele si discosta in maniera marcata dal senso comune attuale di percezione del mondo fisico.

La visione di Euclide si avvicina invece alla versione moderna di carattere più ingenuo, ovvero quella presente nei bambini o nei ragazzi della scuola secondaria di primo grado. Arrivati alle superiori la concezione degli studenti cambia (Besson 2017, p.183) avvicinandosi maggiormente a quella corretta. Questo è molto probabilmente dovuto ad un'interferenza sociale che pian piano si sviluppa nell'individuo, che finisce per eclissare quella iniziale sviluppata spontaneamente.

Andremo quindi ad analizzare in maggior dettaglio l'idea dell'età prescolare, essendo più vicina agli scopi del nostro lavoro. In una ricerca (Feher, Rice, 1988), ragazzi di età compresa tra gli 8 e i 14 anni sono stati messi di fronte a un sistema ottico composto da una sorgente di luce a forma di croce e uno schermo. Inoltre, una biglia di diametro di 1 cm e una palla più grossa di diametro di 20 cm sono state disposte a una distanza intermedia tra la sorgente e lo schermo in maniera da poter formare le relative ombre su quest'ultimo. È stato introdotto, infine, un foro stenopeico per poter mettere in relazione i ragazzi con ulteriori effetti. In un apparato così strutturato, i ragazzi hanno avuto l'opportunità di riflettere su quanto potevano osservare e sono stati sottoposti ad alcuni quesiti.

Di fronte alla domanda "Che cos'è un'ombra?", ad esempio, soltanto il 27% degli studenti hanno risposto che si tratta di un effetto dovuto dalla luce che viene bloccata o deflessa. Il 45% ha preferito avallare l'ipotesi di "luce che agisce sull'oggetto" (dando risposte del tipo "Il sole è molto caldo e ti colpisce come un raggio e l'ombra esce fuori dal tuo corpo" o "quando la luce colpisce un oggetto, l'oggetto riflette l'ombra") dando così l'impressione che l'ombra sia una proprietà emessa dall'oggetto che interagisce con la luce. Il 18% ha appoggiato invece l'ipotesi della "riflessione" ("è una riflessione di te stesso", "E' il tuo riflesso sul suolo") precisando che i ragazzi dell'esperimento non usano il termine "riflessione" inteso in senso relativo alla luce, ma piuttosto come sinonimo di "immagine" o di "raffigurazione" ("vedo il mio riflesso sullo specchio"). Il restante 10% ha accostato l'ombra a "l'immagine dell'oggetto" ("è la tua immagine, come te", "è come una rappresentazione di te senza colori"). I risultati dell'esperimento sono riassunti nella tabella sottostante.

	TIPO	ESEMPIO	FREQUENZA
L'ombra si forma quando	La luce è bloccata o deflessa	"L'ombra si trova dove la luce non può andare e quindi è più scuro laddove si trova meno luce" "L'ombra è l'oscurità che la luce non può raggiungere perché la sta bloccando" "L'oggetto blocca la luce così che non può andare oltre"	27%
	La luce agisce sull'oggetto	"Il sole è molto caldo e ti colpisce come un raggio e l'ombra esce fuori dal tuo corpo" "la luce brilla su di te e la tua ombra va sul pavimento" "Quando cammini, il sole ti colpisce e la tua ombra urta il pavimento" "Il sole riflette la tua ombra sul suolo" "Quando la luce colpisce un oggetto, l'oggetto riflette l'ombra"	45%
L'ombra è	Riflessione	"È una riflessione di te stesso" "La tua riflessione sul pavimento"	18%
	Immagine dell'oggetto	"È la tua immagine, come te" "È come un'immagine di te stesso senza colori"	10%

Con riferimento al tipo di concezioni esposte a inizio paragrafo, da questi dati possiamo evincere che, oltre alla presenza dell'interpretazione corretta (schema 4), nel 45% dei bambini si manifesta lo schema 2 (quelli appartenenti a "la luce agisce sull'oggetto") mentre nel 28% sembra prevalere lo schema 1 ("riflessione" e "immagine dell'oggetto").

Se però consideriamo la risposta alla domanda "Esiste l'ombra nel buio, dove non è accesa alcuna luce?" (appartenente sempre allo stesso studio) le percentuali variano, anche se di poco: circa il 26% degli intervistati appoggia "la luce agisce sull'oggetto" mentre il 32% segue quella che sembra essere ancora lo schema 1 (dando risposte del tipo "l'ombra rimane, ma i tuoi occhi non possono vederla al buio" o "è davvero lì, come il pavimento resta lì quando c'è il buio. Il muro è buio e l'ombra è buia" o ancora "Se non c'è la luce l'ombra è ancora lì. Basta accendere la luce per provarlo").

Lo studio evidenza anche come tre quarti dei ragazzi tendano a concepire l'ombra come qualcosa che abbia caratteristiche materiali, avente quindi una forma, una capienza nello spazio

e addirittura suscettibile a sforzi. Inoltre, l'idea che l'ombra debba appartenere all'oggetto è talmente radicata che, nei casi in cui questa assuma una forma diversa, si osserva la tendenza a ricercare un nuovo oggetto a cui attribuirne la fonte (fino ad arrivare addirittura, se necessario, ad attribuirla alla sorgente di luce).

Crediamo, tuttavia, che non sia difficile spingere lo studente verso l'interpretazione corretta attraverso l'uso mirato di esempi e dimostrazioni pratiche, tenendo anche presente la non trascurabile componente di ragazzi che hanno una visione corretta del principio ottico (probabilmente, a nostro parere, perlopiù instillata precedentemente da uno o più adulti).

Riguardo la propagazione della luce vera e propria, uno studio condotto su bambini di età compresa tra i 9 e i 13 anni dimostra che a quell'età i soggetti percepiscono il moto della luce come rettilineo, ma trovano difficoltà a percepire la diffusione della luce come omogenea, prediligendo (attraverso disegni schematizzati) un fascio di luce cilindrico piuttosto che conico. I risultati sono riportati in figura 1.7, nel caso di un fascio di luce passante attraverso un forellino posto a metà tra la sorgente e uno schermo. Come si vede, solo il 14% dei soggetti ha attribuito una forma conica al fascio prima e dopo il passaggio della luce attraverso il forellino e come il parallelismo tra i raggi sia nettamente la visione dominante.

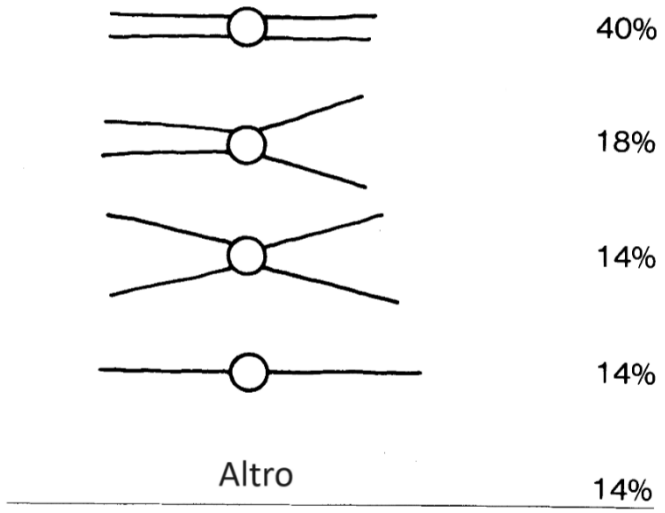


Figura 1.7 - Schematizzazione dei disegni riportati dai bambini raffiguranti il passaggio di luce attraverso un forellino. A destra, per ogni rappresentazione, è presente la percentuale dei bambini che ha riportato una raffigurazione simile

Alla domanda "tutta la luce emessa dalla lampada (sorgente) passa attraverso i fori?" un quarto degli studenti ha risposto "sì" mentre, per i restanti che hanno risposto "no", circa la metà hanno disegnato i raggi extra (cioè, quelli che non passano attraverso il foro) di nuovo come linee orizzontali, ad ulteriore dimostrazione della necessità di visualizzare una configurazione dei raggi di tipo parallelo.

Riteniamo interessante notare come i bambini diano tutti per scontato che comunque esista una propagazione della luce e che questa sia in linea retta. Pensiamo anche che uno dei concetti che sembra sfuggire di più ai bambini sia quello che riguarda la luce che si propaga in tutte le direzioni. Inoltre, il fatto che la luce venga rappresentata su traiettorie parallele crediamo sia un riflesso cognitivo di come effettivamente la luce venga percepita come "incidente" rispetto a sé stessi.

Con tutta probabilità viene percepito lo stesso tipo di fenomeno avvenire contemporaneamente anche per ogni altro osservatore circostante (e molto probabilmente anche per il resto degli oggetti presenti), ma viene scartata nei disegni appena riportati come una lecita semplificazione. Se davvero questa consapevolezza nel bambino fosse presente, fargli intendere che la luce si propaga in tutte le direzioni rappresenterebbe uno sforzo di scarsa entità.

Quindi, tutto sommato, la percezione della propagazione della luce, salvo schematizzazioni formali, può essere considerata generalmente corretta nella mente del bambino.

Entrambe le esperienze che abbiamo riportato crediamo possano far intendere che esistano delle buone basi nella fisica intuitiva concernente l'ottica, almeno nei suoi caratteri più generali. Una volta che persiste già di per sé l'idea che la luce si propaghi in linea retta, far comprendere allo studente come questa si disperda in tutte le direzioni non rappresenterà grosse difficoltà ulteriori. I passi più difficili si manifesteranno nei dettagli successivi (come, ad esempio, nel caso dell'ombra prodotta da un oggetto) che coinvolgono una visione tridimensionale dello spazio e in generale più specificità di particolari. Riteniamo possano essere utili esempi pratici (magari utilizzando piccoli laser o simili) in maniera che lo studente possa essere accompagnato passo dopo passo all'interno di ogni configurazione peculiare.

1.3 Metodologie di apprendimento: la "Knowledge-in-pieces" e i "p-prim"

Abbiamo visto, fino a ora, come gli studenti presentino certi preconcetti per quanto riguarda la natura del mondo fisico, come questi preconcetti siano prevalentemente diversi dalle leggi della fisica newtoniana, e come molto spesso questi fraintendimenti possano persistere fino

alla conclusione degli esami universitari. In questa sezione cercheremo di illustrare i risultati di alcune ricerche riguardo al processo di apprendimento durante una normale lezione di fisica in classe e, di conseguenza, quali sono i principali impedimenti che non consentono allo studente di raggiungere la piena comprensione dei fenomeni trattati.

Andrea diSessa, nel 1993, presenta una tipologia di apprendimento che interpreta il corpus delle conoscenze non come un insieme completamente formato, ma come una serie di schemi atomici che si attivano in coordinazione (detti primitive fenomenologiche o p-prim). Gli schemi così concepiti possono essere paragonati a delle anatre che, volando nel cielo, formano, coordinandosi, delle forme quali una “V”; o a una serie di piccole luci in un’insegna stradale che, sempre in coordinazione, formano una parola. Ciascuno di questi elementi può essere pensato o come un oggetto singolo (la parola che viene visualizzata, nel caso dell’insegna) o come pezzi individuale di un insieme (come, ad esempio, la singola luce che crea, insieme alle altre, la parola). Per formare tutto l’oggetto, ogni pezzo individuale deve agire in maniera appropriata. Un insieme di idee così concepite venne chiamato, sempre da diSessa, *Knowledge-in-Pieces* (letteralmente “conoscenza a pezzi”). Questa prospettiva venne inizialmente proposta per spiegare lo sviluppo delle concezioni in fisica, ma il suo uso è stato esteso anche alla comprensione dello sviluppo dei concetti delle altre discipline scientifiche (Harlow, Bianchini, 2020). DiSessa (1993) ha descritto questa visione come un'alternativa alle idee prevalenti dell’epoca, derivati da Piaget[5], secondo cui le concezioni degli studenti devono essere sostituite e che l'apprendimento avvenga attraverso dissonanza cognitiva e accomodamento. Nel caso della Knowledge-in-pieces, invece, si assume che gli studenti debbano diventare insoddisfatti delle concezioni esistenti (errate), sperimentare un conflitto (dissonanza cognitiva) e poi trovare una nuova concezione che risolva quel conflitto.

In un secondo articolo pubblicato da diSessa (diSessa, Sherin, 1998), diSessa e Bruce Sherin fornirono un meccanismo di apprendimento che sfidò la teoria prevalente del tempo, quella del *cambiamento concettuale.* La premessa fondamentale del modello di cambiamento concettuale è che le misconcezioni del discente possono essere sostituite da visioni più esperte. Questi rimpiazzi avvengono sia durante l’apprendimento di nuove relazioni tra concetti, come

[5] Jean Piaget (1896-1980) è stato uno psicologo, biologo, pedagogista e filosofo svizzero. Considerato il fondatore dell’epistemologia genetica, ovvero dello studio sperimentale delle strutture e dei processi cognitivi legati alla costruzione della conoscenza nel corso dello sviluppo, diede contributi notevoli alla psicologia dello sviluppo (Wikipedia f, 2025). Analizzeremo in maniera più approfondita gli studi di Piaget nel corso del terzo capitolo (§3.4, p. 88).

ad esempio avviene tra la massa e la forza (cambiamento concettuale debole); sia cambiando la comprensione dei concetti stessi, come avviene nel caso in cui si cerca di capire da cosa è costituita una forza (cambiamento concettuale forte). Nella teoria del cambiamento concettuale, i concetti sono descritti utilizzando singole parole, quali ad esempio massa, forza o attrito.

DiSessa e Sherin, invece, introducono l'idea di *classi di coordinamento*, che descrivono un'alternativa all'idea di concetto. La loro interpretazione dei concetti è molto più sfumata rispetto a quella del cambiamento concettuale e non può più essere espressa mediante una singola parola. Invece, le classi di coordinamento consistono in differenti tipologie di elementi cognitivi che vanno a creare un sistema di strategie per ottenere informazioni. Alcune di queste strategie includono il restringimento dell'attenzione e la selezione e combinazione delle informazioni per determinare ciò che viene osservato. Queste vengono chiamate *strategie di lettura*. Altri elementi cognitivi fanno riferimento al ragionare, collegando nuove informazioni con altre informazioni. Questo secondo tipo di elemento cognitivo costituisce la *rete causale.* Secondo diSessa e Sherin, le strategie di lettura e la rete causale evolvono insieme mentre un discente apprende.

Come già detto, diSessa (1993) descrive la struttura cognitiva come formata da piccole unità che chiama *primitivi fenomenologici* o, in breve, *p-prim*. I p-prim sono parti della conoscenza più piccole e più "mobili" rispetto ai concetti o alle credenze. La "p" (phenomenological) del termine indica la connessione con la realtà fenomenologica di cui l'individuo fa esperienza, mentre il termine "prim" (primitive o "primitivo") è in riferimento al fatto che tipicamente i p-prim costituiscono descrizioni primitive ed esplicative degli eventi[6].

La caratteristica dei p-prim che più ci interessa è il fatto che sono dipendenti dal contesto. Normalmente, è possibile passare da un p-prim ad un altro semplicemente spostando l'attenzione su un argomento diverso oppure attraverso il minimo cambiamento della

[6] Alcuni esempi di p-prim sono: il *p-prim di Ohm*, che costituisce una relazione del tipo "aumento di impeto produce un aumento del risultato, un aumento della resistenza produce una diminuzione del risultato" (che può essere applicato in vari contesti, dallo studio più intenso che porta a buoni voti a scuola fino allo spingere un oggetto più o meno pesante); la *forza come generatrice di moto*, che, come abbiamo già visto in precedenza, crea la misconcezione che un oggetto possa muoversi solo se è presente uno sforzo applicato su di esso; *equilibrio e bilanciamento*, che stabilisce come alcuni oggetti rimangano permanentemente nella solita posizione o come altri, se perturbati, comincino a muoversi fino a trovare una nuova posizione di equilibrio; il *superamento*, dove se una delle in influenze in un equilibrio dinamico aumenta o diminuisce, l'influenza più forte "supera" l'altra e proseguirà indisturbata; ecc.

situazione considerata. Per quanto concerne la fisica, diSessa porta il seguente esempio relativo a un suo dialogo con J, una studentessa universitaria:

> *“è stato chiesto a J di descrivere il lancio di una pallina in aria. La sua prima descrizione fu piuttosto accademica. Ha usato termini scientifici in un’esposizione che fu difficile da criticare. In particolare, ha sottolineato due volte che, dopo che la palla si stacca dalla mano, non c’è più alcuna forza in gioco derivante dal contatto con la mano […] Dopo circa trenta secondi di dialogo, ho fatto a J una domanda all’apparenza innocua: cosa succede in corrispondenza del picco della traiettoria della pallina? Piuttosto che dare una risposta diretta, J ha iniziato a riformulare la sua descrizione del lancio. La riformulazione non fu istantanea, ma seguì alcuni passaggi, abbandonando e respingendo ipotesi. Incredibilmente, finì per applicare la teoria d’impeto al lancio – La mano imprime una forza che inizialmente supera la forza di gravità, ma che gradualmente si esaurisce. Al picco, c’è un equilibrio di forze, che si rompe man mano che la forza interna svanisce ulteriormente e la gravità prende il sopravvento”*

Dal punto di vista dei p-prim, questo è un evento comune: lo spostamento dell’attenzione (sul picco della traiettoria) porta a un cambiamento di analisi (in questo caso da un’analisi scientifica standard a una basata sulla fisica intuitiva, fondata sui p-prim)[7]. Questo tipo di concezione, basata sui p-prim, è molto importante per i nostri scopi: ci aiuta, infatti, a capire che, nonostante la didattica tradizionalmente utilizzata miri a fornire un quadro concettuale omogeneo, questo, una volta assimilato dal discente, può venire scartato a seconda del contesto. Facciamo inoltre notare che il principio secondo il quale non sia possibile eliminare le vecchie conoscenze a favore delle nuove (fondamento di qualsiasi teoria costruttivista, come la Knowledge-in-Pieces) porterà lo studente a non eliminare del tutto i vecchi schemi, ma solo

[7] Sotto questo punto di vista, diSessa (1993) esprime anche un’altra importante considerazione: “quando si trovano di fronte a problemi qualitativi, la maggior parte dei quali non appare particolarmente difficile o al di fuori della portata della comprensione di base, gli studenti offrono descrizioni e soluzioni che sono incoerenti e spesso in diretta contraddizione con i principi fondamentali della fisica. "Qualitativo" è una qualificazione importante, poiché gli studenti potrebbero essere in grado di risolvere un problema presentato in termini esplicitamente quantitativi, ma potrebbero pensare in modo molto diverso quando viene chiesta un'analisi qualitativa dello stesso problema”.

a renderli meno accessibili[8] (Piaget, 1978; Vygotsky, 1978). Nel caso della fisica, a nostro parere, questo processo sarà reso ancora più difficoltoso, in quanto le conoscenze della fisica intuitiva sono principalmente innate e di uso quotidiano.

1.4 Conclusioni del primo capitolo

Abbiamo visto come la maggior parte dei concetti in fisica sia precluso da un punto di vista cognitivo: compaiono infatti concezioni alternative per il concetto di forza, energia, composizione dei moti, gravità, inerzia e accelerazione. Dal momento che la maggior parte delle altre grandezze sono derivate da queste, potremo persino sostenere che un approccio cognitivo sarebbe a sfavore di quasi tutti i processi fisici (rimarrebbe, di primo acchito, soltanto il moto rettilineo uniforme, che comunque preclude il concetto di posizione e tempo relativo e dunque non possiamo essere sicuri che anche questo non sia da escludere).

Facciamo notare come la somiglianza con il linguaggio aristotelico sia presente in tutte le argomentazioni qui analizzate ad accezione di quelle riguardanti l'energia e i circuiti elettrici. Tuttavia, va sottolineato il fatto che entrambi questi ultimi argomenti nascono da concezioni relativamente recenti (ad eccezione dell'energia, che comunque, come già detto, ha assunto un nuovo significato con le scienze moderne nella seconda metà dell'Ottocento). La presenza di Aristotele all'interno della fisica intuitiva resta, quindi, un argomento alquanto curioso e degno di nota, sicuramente meritevole di ulteriori chiarificazioni.

Abbiamo visto, quindi, come il processo di apprendimento in fisica passa attraverso vari fattori e abbiamo analizzato nel dettaglio come i processi cognitivi siano tra gli aspetti fondamentali da tenere in considerazione. Una possibile soluzione al problema della didattica della fisica comprende quindi un differente numero di dinamiche, e la sua risoluzione non è pertanto da considerarsi come di natura semplice. Se davvero le incomprensioni cognitive non rappresentano l'unico ostacolo con cui gli studenti vanno a scontrarsi, come accennato nell'introduzione di questo elaborato, riteniamo sia doveroso estendere la fisica all'interno di un percorso didattico più ampio, in modo che gli studenti possano affrontarne i contenuti in maniera più graduale.

[8] L'idea di diSessa (1993), infatti, è che persino gli esperti di fisica continuino a utilizzare i p-prim nella loro elaborazione di concetti non normativa, anche se concatenati e contestualizzati in modo corretto.

Il superamento delle misconcezioni di natura cognitiva (come quelle presentate in questo capitolo), così come i contenuti sperimentali relativi all'insegnamento della fisica, pensiamo che possano essere, ad esempio, entrambi obbiettivi formativi perlopiù fruibili fin dalle scuole primarie. Se davvero così fosse, lo studente che ha già risolto le proprie difficoltà in entrambi questi campi durante otto anni di corsi di studi precedenti, troverebbe sicuramente molti meno ostacoli, una volta arrivato alle scuole secondarie di secondo grado, a seguire argomenti più dettagliati come quelli che sono attualmente presentati nei medesimi corsi di studio. Il nostro consiglio è pertanto, se davvero si vogliono raggiungere tutti gli obiettivi pedagogici tuttora proposti dalla scuola italiana, di rendere il percorso di studio in fisica rivolto a quasi la totalità delle scuole dell'obbligo e in maniera più semplice e graduale.

Rendendoci conto che la precedente soluzione non rappresenti un accorgimento immediato al problema, e che inoltre comporti una modificazione troppo radicale del sistema scolastico, ci proponiamo per adesso di proporre semplicemente alcune di quelle che potrebbero essere strategie utili per ovviare ai fraintendimenti presentati dagli studenti in seguito ai processi cognitivi esposti in questo capitolo. Dal momento che, in base a quanto rilevato dal *Force concept inventory* (p. 5), la didattica tradizionale fino ad ora non ha riportato risultati soddisfacenti in questo campo, riteniamo che sia utile adottare un metodo pedagogico alternativo. È stato riscontrato che questo tipo di misconcezioni, per quanto risalenti a un sistema di pensiero molto intuitivo e immediato (il Sistema 2, secondo quanto detto nel §1.1, p. 6) non sono tuttavia esuli dall'essere modificate e, col tempo, addirittura rimpiazzate.

È nostra opinione che, dal momento che la didattica tradizionale non si è rivelata utile a questo scopo, sarebbe opportuno tentare metodi pedagogici completamente differenti, forse anche sulla "falsariga" dei processi attraverso i quali avvengono le misconcezioni stesse, ovvero attraverso metodi più intuitivi e dagli effetti immediati, metodi che possano quindi avvicinarsi maggiormente alla visione e al modo di pensare di uno studente che attualmente frequenta le scuole. Questi metodi pedagogici alternativi saranno proprio l'argomento principale del prossimo capitolo, dove vedremo che si può costruire una didattica della fisica efficace basando le lezioni interamente (o quasi) sul podcasting, sull'utilizzo di libri game o sulla narrazione in senso generale.

Complementi agli argomenti trattati in questo capitolo sono disponibili nel §3.3. Anche se essenziali per comprendere fino in fondo tutti i temi trattati in questa sezione, abbiamo deciso di non introdurli perché non strettamente collegati con le basi cognitive della fisica intuitiva.

Capitolo 2

Didattica della fisica e narrazione

Cercheremo, in questo capitolo, di suggerire delle tecniche per affrontare gli ostacoli enunciati nel capitolo precedente: esiste un tipo di didattica, al di fuori di quelle tradizionalmente utilizzate, che permette di far fronte ai problemi e ai fraintendimenti generati dalle misconcezioni di natura cognitiva?

Avevamo ipotizzato, durante le conclusioni del precedente capitolo, che probabilmente un approccio più intuitivo e con un ritorno immediato, in maniera da avvicinarsi maggiormente al modo di pensare e agire di uno studente, sarebbe stato più idoneo a risolvere il problema. Metodi pedagogici di questo tipo possono essere molteplici. Abbiamo deciso in questa sede di analizzarne due: la didattica della fisica che passa attraverso il podcasting e quella che passa attraverso i libri game.

Partiremo da un'analisi storica sullo sviluppo dei podcast scientifici, in particolare soffermandoci su un'analisi del loro gradimento da parte del pubblico (prestando maggiore interesse a quello manifestato dai ragazzi in età scolare); per poi riscontrare come effettivamente sia possibile utilizzare il podcasting come risorsa didattica, prima partendo a livello generale all'interno di ciascuna materia scolastica e poi soffermandoci in particolare sulla fisica.

Dopo la trattazione del libro game come risorsa pedagogica (che potrebbe essere, come strumento, meno popolare tra gli studenti rispetto al podcast, ma per questo non necessariamente risulterà anche meno efficace) passeremo al tema della narrazione in ambito della pedagogia della fisica: questa rappresenta sicuramente un aspetto della didattica molto ampio da discutere e abbiamo ritenuto necessario introdurla nelle presenti argomentazioni per il suo evidente legame con il podcasting e i libri game. Per entrambi, infatti, la narrazione rappresenta un elemento portante e non può che aggiungere nuovi spunti all'attività pedagogica connessa

2.1 La didattica attraverso l'utilizzo dei podcast

Per tutto l'arco della sua storia, la società ha attraversato molti cambiamenti. Negli ultimi tempi questi sono stati caratterizzati, tra gli altri, anche dall'evoluzione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, comunemente note come ICT (in*formation and comunication tecnologies*) (Moreno-Guerrero, Soler-Costa, Marín-Marín, López-Belmonte, 2021) il cui ruolo nella vita di tutti i giorni si è andato a rafforzare anche a causa della pandemia di COVID-19 (García-Peñalvo, Corell, 2020). Tra questo tipo di tecnologie compare anche il podcast.

L'Oxford Dictionary definisce il podcast come "un file digitale audio o video o una registrazione, solitamente parte di una serie a tema, che può essere scaricato da un sito web su un lettore multimediale o un computer[1]", ma il termine Podcast deriva dall'unione dei termini "iPod", il noto sistema audio, e il termine "brodcasts" (dall'inglese "trasmettere"), in relazione alla diffusione di contenuti (Ferreira, Kochhan, Nogueira, 2020)

L'etimologia del nome è impropria, dal momento che i podcast possono essere scaricati da qualsiasi dispositivo, fin tanto che ci sia a disposizione una connessione a internet e un'applicazione per la ricezione (Wentzel, De Hart, 2020). In più, possono trovarsi in qualsiasi sito internet o blog, ma possono essere anche ascoltati direttamente su piattaforme quali iTunes, Spotify, SoundCloud o Ivoox (Riddell, Robins, Brown, Sherbino, Lin, Ilgen, 2020). Ciò che li differenzia maggiormente dalla radio è la possibilità di essere ascoltati in qualsiasi momento, in maniera asincrona. I programmi radio sono, invece, sincroni.

Fernandez (et al., 2009) fa notare che esistono tre tipi di podcast:

- Il primo è un podcast di base che ha solo contenuti audio e che è il più facile da creare e da ascoltare
- Il secondo è un podcast migliorato che ha sia contenuti audio che diapositive video. Il podcast migliorato è simile al podcast tradizionale, ma contiene informazioni multimediali quali slide, immagini, fotografie e brevi video che aiutano gli utenti ad affinare la loro percezione del contenuto.
- L'ultimo è un *podcast video* (o *vodcast*) che contiene sia file audio che video.

[1] "Podcast: Definition of Podcast by Oxford Dictionary," Lexico.com, https://www.lexico.com/en/definition/podcast.

Sin dal 2004, i podcast sono emersi come un nuovo mezzo per la comunicazione libera e indipendente rivolta a un pubblico globale. Tipicamente, un podcast è distribuito online e scaricabile direttamente su PC, lettori MP3, dispositivi interattivi multimediali e smartphone. Essendo svincolati da format televisivi o radiofonici, sono disponibili grandi varietà di podcast, inclusi monologhi, chat informali, notizie scientifiche professionali, talk show e commedie (Condayan 2008). Grazie alla loro distribuzione online, i podcast hanno il potenziale di raggiungere un pubblico esteso su tutto il globo, non essendo vincolati da restrizioni demografiche o geografiche come può invece avvenire con i media tradizionali (Redfern, Illingworth, Verran, 2016).

2.1.1 Diffusione e sviluppo dei podcast scientifici

I podcast rappresentano una risorsa multimediale con un grosso seguito. Secondo una stima del 2022, attualmente in Europa circa il 3% della popolazione dichiara di essere un "ascoltatore frequente" (dalle 11 ore di ascolto alla settimana in su) mentre il 25% dichiara di essere un "ascoltatore occasionale" (10 ore o meno di ascolto alla settimana). In Italia i dati variano lievemente da un 2% di ascoltatori frequenti a un 21% di ascoltatori occasionali (Mañas-Pellejero, Paz, 2022). Secondo una stima prodotta negli Stati Uniti, nelle nuove generazioni (individui con età compresa dai 13 anni in su) l'utilizzo dei podcast è aumentato del 176% rispetto a dieci anni fa, con un totale del 22% di podcast rispetto al totale di risorse audio utilizzate contro un 8% (Edison 2021).

Uno studio del 2019, condotto su 952 podcast in lingua inglese esclusivamente a tema scientifico, riporta una crescita lineare della produzione di podcast di questo tipo tra il 2004 e il 2010, per poi invece crescere esponenzialmente fino al 2018 (Figura 2.1). Lo stesso studio evidenzia anche che l'87% dei podcast analizzati sono disponibili solo in formato audio, mentre i podcast in formato video hanno subito un calo considerevole da un picco del 30% nel 2007 fino a un 5% nel 2017 (MacKenzie 2019). Questo potrebbe sostenere la tesi che un approccio uditivo nelle discipline scientifiche sarebbe favorito da parte del pubblico, come evidenziato in studi meno recenti.

Merzagora (2004), ad esempio, nota che, se paragonata alla televisione e alla stampa, la fonte audio è "più rilassante e riflessiva" e che "permette al pubblico di ascoltare la vera voce

del protagonista” aggiungendo anche: “la barriera che separa l’ascoltatore dai giornalisti e dagli scienziati è meno impenetrabile”. In altri studi, invece, è stato comprovato che i podcast aumenterebbero la diffusione di informazione scientifiche tra gli studenti, pazienti medici e pubblico. (Johnson, Ross, Iwanenko, Schiffert, Sen, 2012; Thoma, 2018; Prakash, Muthuraman, Anand, 2017), mentre non è esclusa l’ipotesi che gli utenti potrebbero sentirsi connessi più intimamente con i produttori dei podcast rispetto a quelli delle altre forme di comunicazione (Markman, Sawyer, 2014). Per concretizzare maggiormente queste ipotesi, riportiamo il grafico in figura 2.2, dove viene mostrato come la percentuale maggiore di utenti interessata ai podcast scientifici appartenga al grande pubblico, e non agli addetti al settore (78% contro 22%).

Tra questo grosso campione di podcast scientifici analizzati negli Stati Uniti, enfatizziamo il fatto che quelli che trattano temi di fisica (o di astronomia) sono tra i preferiti dagli ascoltatori, preceduti soltanto da “scienza di carattere generale” (Figura 2.3).

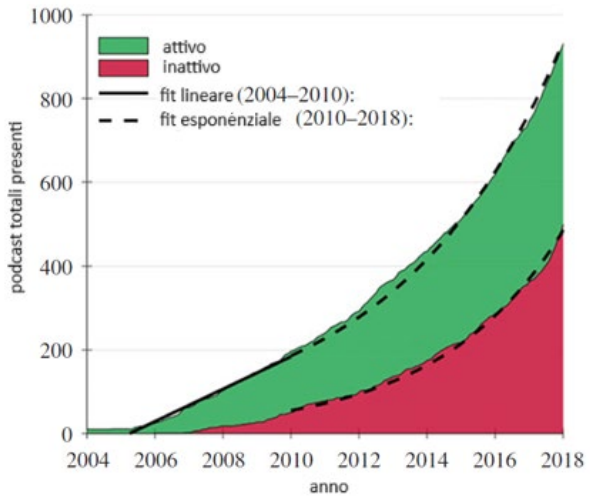


Figura 2.1 - Il numero totale di podcast scientifici rileva una crescita lineare tra il 2004 e il 2010, seguita da una crescita esponenziale tra il 2010 e il 2018.

Figura 2.2 - Gli ascoltatori di podcast scientifici nel 2019 divisi per fasce di pubblico. Come si può notare, solo in piccola parte sono addetti al settore

Infatti, la fisica, assieme alla biologia, sembrerebbe comprendere una serie di temi unificanti e di narrazioni pubbliche che le restituirebbero un ruolo privilegiato rispetto alle altre discipline (Hartings, Fahy, 2011) e pare che si sia anche adattata più velocemente ai nuovi modelli di comunicazione accademica basati sul web (Velden, Lagoze, 2009). Questo tipo di narrazione si contrappone a quella analizzata precedentemente inerente ai ragazzi frequentanti

le scuole superiori, dove abbiamo visto che la preferenza nei confronti della biologia è netta rispetto a quella per la fisica (p. 1). Riteniamo che questo possa rappresentare un forte punto di appoggio per valorizzare l'insegnamento della fisica attraverso l'utilizzo dei podcast, dal momento che, molto probabilmente, consentirebbe di evitare l'ostacolo preliminare basato sui preconcetti inerenti alla materia già discussi nell'introduzione di questo lavoro (difficoltà, standard troppo alti, argomenti noiosi ecc.).

Tutti questi dati preliminari, uniti alla netta preferenza che i più giovani sembrano avere per i podcast rispetto agli adulti, riteniamo possano avere già di per sé valenza per una proposta didattica in ambito fisico che passerebbe attraverso l'utilizzo di un podcast. Nel corso dei prossimi paragrafi cercheremo di avvalorare questa tesi attraverso l'analisi di veri e propri metodi didattici già comprovati e strutturati in tal senso.

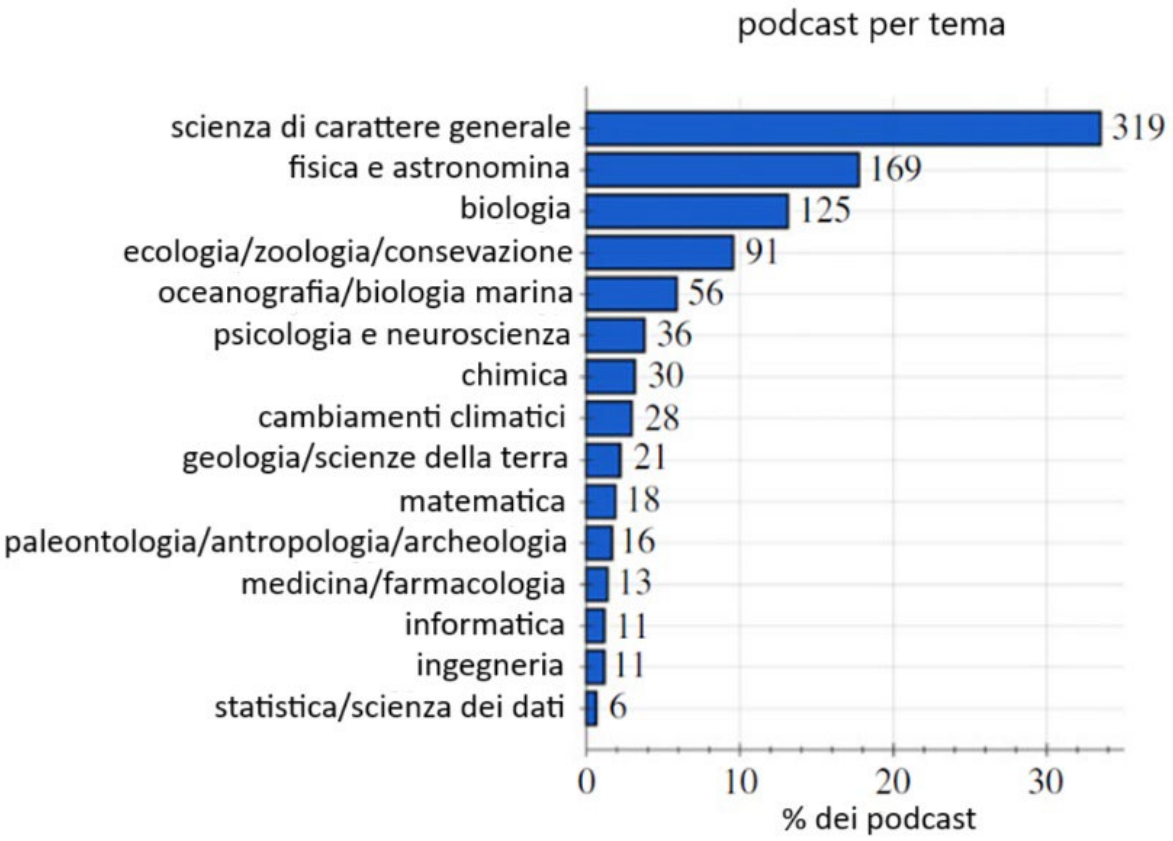


Figura 2.3 - Proporzioni tra vari podcast scientifici riferiti a specifiche tematiche. Come si vede, i podcast che trattano temi di fisica sono in cima alla classifica, seguiti soltanto da "scienza di carattere generale"

2.1.2 Podcast come metodo didattico nella scuola superiore di secondo grado

Lo sviluppo di Internet ha creato nuovi modi per gli educatori di comunicare con gli studenti. Molte istituzioni di istruzione superiore hanno adottato l'uso di ambienti di apprendimento virtuale e incorporato l'e-erning nei loro tradizionali metodi di insegnamento come parte di un approccio pedagogico integrativo.

L'e-learning (*eletronic learning*) è un concetto vasto, tipicamente riferito all'uso di computer e sistemi di informazione nel processo di apprendimento e di educazione. La scelta del mezzo di comunicazione, delle risorse didattiche e dei canali di comunicazione sono tutti dipendenti dall'argomento didattico, dalla scelta dei metodi e dalla natura e caratteristiche del mezzo tecnico. Se paragonati con le lezioni tradizionali, gli e-learning hanno il vantaggio di permettere agli studenti di scegliere (entro determinate limitazioni) quando, dove e come studiare. Sono anche utilizzati per rivedere il materiale di studio e ottenere feedback (Evans, Fan, 2002).

Il *mobile learning* (m-learning) eredita gli stessi vantaggi dell'e-learning, ma estende il proprio raggio d'azione facendo uso di tecnologie wireless portatili. Dispositivi idonei includono i digital media players (i Pods, lettori MP3), smart phone o Personal Digital Assistant o PDA (palmari, Pc portatili).

Con la proliferazione degli iPod e della facilità di condivisione di video attraverso siti come YouTube, gli studenti hanno ottenuto fluidità digitale nei formati audio e video, i quali hanno lentamente cominciato ad accrescere la loro presenza all'interno dell'istruzione superiore attraverso tecnologie come quella del podcasting (Rajiccaca, 2015).

Il podcasting come strumento didattico suscita interesse e aspettative da molti anni. Già nel 2005, Gardner Campbell scrive un articolo riguardante il potenziale dei podcast come aiuto per gli studenti nel processo di apprendimento, enfatizzando la connessione tra radio e podcast in termini di importanza della voce umana nel portare un tocco più personale e informale a quello che è stato detto (Anguelina, Palitha 2010).

Sotto un profilo educativo, i podcast rappresentano un metodo versatile con una buona varietà di possibili sviluppi. Oltre ad essere una risorsa di apprendimento disponibile online, possono essere creati dagli stessi docenti o dagli studenti (come in ogni processo educativo, la creatività gioca un ruolo fondamentale anche nel ruolo dei podcast come mezzo didattico)

(Ferrer, Lorenzetti, Shaw, 2019). Possono anche essere usati come supplemento alle sessioni educative o come materiale di rinforzo per genitori e studenti, ma possono anche essere impiegati per condividere esperienze e risorse da parte dei docenti (Besser, Blackwell, Saenz, 2021). Vedremo, in questa sezione, questi e molti altri modi di utilizzare il podcasting come strumento didattico in ambito generico, cercando di elencarne le principali caratteristiche.

Iniziamo con il far notare che il podcasting può offrire un modo innovativo per sostenere la didattica: i podcast, infatti, possono essere utilizzati per fornire materiale introduttivo prima delle lezioni, o, più comunemente, per registrare le lezioni e permettere agli studenti di poterle riascoltare, sia per quando non hanno partecipato alle lezioni, sia per rinforzare le loro conoscenze (Rajiccaca, 2015).

L'apprendimento audio gioca un ruolo importante nella sfera educativa dei giovani: per esempio, "quando le parole sono dette ad alta voce, i bambini possono capire vocaboli di difficoltà maggiore rispetto a quanto possano fare leggendo". Ascoltare i podcast è quindi un modo che hanno gli studenti per sperimentare l'apprendimento attraverso fonti audio.

Alle persone, e specialmente ai bambini, piace guardare lo stesso video o leggere lo stesso libro ripetutamente. I podcast rendono facile ascoltare lo stesso episodio più e più volte, e questo permette ai ragazzi di imparare qualcosa di nuovo a ogni ripetizione, facendoli entrare dentro le loro routine come guidare verso scuola o ascoltare la storia della buonanotte (FeHennig, 2017, p. 30-31).

Vandenberg (2018), inoltre, riscontra che "l'ascolto attento di buoni podcast rivela l'importanza del processo di pensiero logico e coerente di strutturare un argomento. I podcast, quindi, migliorano la scrittura degli studenti e aumentano la comprensione relativa all'analisi di un testo".

L'utilizzo di un podcast a scopo educativo può essere suddiviso in tre diverse tipologie (Rajiccaca, 2015):

Prima tipologia – È di livello base e consiste nell'utilizzare il podcasting come sostituto delle tradizionali lezioni. Queste, infatti, vengono registrate e messe a disposizione degli studenti in qualsiasi momento. Mentre si ha valore educativo nel predisporre registrazioni delle lezioni con lo scopo di ripasso o revisione, se usato esclusivamente come un sostituto alle tradizionali lezioni, tale uso può rinforzare ulteriormente gli studenti come destinatari passivi di informazioni.

Seconda tipologia - Il podcasting può anche essere utilizzato, in secondo luogo, per assicurare materiale supplementare a supporto dell'apprendimento. Il materiale ausiliario può assumere due forme molto differenti: la prima, e la più comune, consiste nel garantire sommari o sintesi per il materiale del corso, mentre nella seconda il materiale supplementare può anche essere costituito da contenuti aggiuntivi che possono allargare o approfondire la comprensione dello studente. È risaputo che basarsi unicamente su una singola lezione non è sufficiente agli studenti per capirne fino in fondo tutti i contenuti (Gachago, Livingston, Ivala, 2016, p. 859).

Popova, Kirschner e Joiner (2014, p. 330) rilevano che i podcast "aiutano a coprire la distanza concettuale tra le conoscenze nuove e quelle precedenti, a comprendere meglio gli argomenti delle lezioni e a stimolare il pensiero più profondamente all'interno dei contenuti della lezione e sulle possibili applicazioni dei temi trattati". Perlopiù viene riscontrato che "registrazioni regolari di lezioni difficili e ricche di contenuti sono state percepite come l'uso più efficace dei podcast" (Gachago, Livingston, Ivala, 2016, p. 859).

Terza tipologia - L'ultimo e il meno menzionato uso di un podcast all'interno dell'educazione è quello che potrebbe essere descritto come uso "creativo", dove gli studenti diventano maggiormente coinvolti nell'apprendimento attraverso la creazione di conoscenza piuttosto che riceverla semplicemente: gli studenti possono creare il loro stesso podcast per condividere le esperienze tra di loro, ma anche con gli altri studenti delle altre classi o delle altre scuole.

Lo studente è tenuto ad avere una conoscenza approfondita della materia per poter creare con successo un podcast adeguato e, di conseguenza, questo tipo di utilizzo lo sfida a esaminare criticamente il materiale a cui è stato precedentemente esposto. Questo tipo di uso può anche sviluppare le abilità ICT degli studenti attraverso la creazione e l'utilizzo di media digitali. Quando messi a lavorare in gruppo, gli studenti possono sviluppare altre importanti abilità sociali, quali la capacità di collaborare e partecipare efficacemente in un team di persone (McGarr, 2009). Perlopiù creare un podcast permette agli studenti di sviluppare abilità quali ricerca, scrittura, uso del lessico appropriato, *problem solving*, organizzare il tempo in maniera efficace, attirare l'attenzione e migliorare il proprio vocabolario. Senza contare che gli studenti affrontano lo stesso tipo di creatività che sperimentano gli scrittori quando cercano di creare contenuti originali.

Le competenze tecnologiche e mentali sviluppate attraverso questo processo durano tutta la vita. Senza offrire ai ragazzi l'opportunità di creare podcast, non sarebbero esposti a tutto questo e rimarrebbero indietro rispetto a coloro che invece lo hanno fatto (Goldman, 2018).

Di seguito altri, nonché i principali, benefici educativi relativi alla didattica basata sul podcasting (Rajiccaca, 2015):

- *Possibilità di ascoltare una lettura più volte*

Gli studenti possono infatti fermare la registrazione, “riavvolgere” e ricominciare da dove preferiscono, oltre che velocizzare la riproduzione dei contenuti a loro piacimento.

- *Aumentare l’interazione con l’insegnante*

Invece di concentrarsi sugli appunti presi in classe, gli studenti possono prendere appunti durante il podcast (prima di cominciare la lezione) e prepararsi così preventivamente per l’attività da svolgere in aula.

- *Integrazione ai tradizionali appunti presi in classe*

Una volta che le lezioni fatte in classe sono state pubblicate, gli studenti possono riascoltarle a casa e completare i punti che hanno perso nei loro appunti scritti.

- *Portabilità/Multitasking*

Gli studenti hanno la possibilità di ascoltare la lezione in qualsiasi momento o luogo una volta scaricato il podcast nel loro personale lettore multimediale

- *Multitasking*

Gli studenti possono ascoltare le lezioni mentre fanno altre cose come guidare, fare esercizio fisico o mentre camminano.

- *Benefici per gli studenti che apprendono in maniera uditiva*

Gli studenti che apprendo maggiormente per via uditiva potrebbero assimilare più rapidamente i contenuti del corso ascoltando un podcast piuttosto che leggendo gli appunti della lezione. I podcast audio e video possono “offrire agli studenti la possibilità di imparare come preferiscono, in base alle loro capacità di apprendimento” e possono anche procurare condizioni tali da motivare gli studenti a “coinvolgersi attivamente sui contenuti del corso”.

Ulteriori ricerche sulla didattica dimostrano come i podcast possano anche aumentare positivamente il comportamento degli studenti, e come di conseguenza aumenti la loro predisposizione verso l’apprendimento (Miller, Uphold, 2021). Si nota anche un aumento

dell’interesse e della motivazione nell’insegnare e nell’imparare (Berk, Watto, Williams, 2020; Rodman, Abrams, Watto, Trivedi, Barbee, Meraz-Muñoz, Fried, 2021; Sendag, Gedik, Toker, 2018) oltre il fatto che i podcast sono generalmente accettati dagli studenti come risorsa didattica (Bueno-Alastuey, Nemeth, 2020; Young, Pouw, Redfern, Cai, Chow, 2021).

Perlopiù i podcast hanno la proprietà di migliorare le prestazioni accademiche (Bianchi-Pennington, 2018), aumentare l’autoriflessione, l’autocoscienza e la metacognizione (Fouz-González, 2019; Jeong, 2019; Matulewicz, Hammond, Patterson, Frankart, Donohoe, 2020) incrementare la creatività e l’espressione personale (De los Ríos, 2020; Kornieva, Vashchylo, 2019), consolidare l’apprendimento e l’apprendimento autonomo (Samuels, Halpern, Carmichael, Christian, Travis, Jaiswal, Nehler, 2020; McNamara, Haegele, 2020; Wall, 2019), migliorare le capacità d’ascolto (Wall, 2019) e consentire la creazione di ambienti di apprendimento unici (McNamara, Drew, 2019). In generale, il feedback su una lezione basata sul podcasting da parte degli studenti è molto positivo, dimostrandosi coinvolti nel processo di ascolto e produzione di podcast, entusiasti di crearne di propri e divertiti a riflettere su come trasmettere ciò che hanno imparato (Sumeet, 2022).

Concludiamo elencando alcune eventuali strategie che possono essere utili da parte del docente al fine di ottenere un podcast efficace (Rajiccaca, 2015):

1. È importante coinvolgere l’ascoltatore con il materiale incluso nel podcast. È necessario che i dialoghi includano argomenti d’interesse per l’ascoltatore, ai quali quest’ultimo possa relazionarsi.
2. Un buon podcast ha una struttura chiara, con un’introduzione che ne delinea il contenuto, il presentatore e gli obbiettivi. La conclusione dovrebbe evidenziare i punti chiave e introdurre l’obiettivo principale del prossimo episodio della serie.
3. L'inizio del podcast dovrebbe essere lungo, ma poco approfondito. I podcast seguono un formato standard: prima introducono l'argomento e il contenuto del materiale; poi spiegano brevemente l'importanza di comprendere un tema specifico; successivamente passano al materiale teorico più complesso; e infine riassumano i punti chiave.
4. L’uso di elementi visivi incorporati nel podcast permette ai destinatari di comprendere meglio l’argomento.
5. L’uso di “pause riflessive” nel podcast, dove viene chiesto agli studenti di fermarsi e pensare a un particolare, permette di riflettere sul materiale trasmesso

6. Porre domande alla fine del podcast, attraverso le quali gli studenti possono rispondere in preparazione alla sessione seguente, sviluppa abilità di tipo critico e riflessivo.
7. I docenti dovrebbero determinare i loro scopi educativi per ogni podcast che creano
8. È meglio se i docenti creano i podcast in maniera personale e informale.
9. I docenti dovrebbero spiegare i loro contenuti attraverso interviste, dialoghi e monologhi.
10. Il formato del dialogo può coinvolgere due o più presentatori in una discussione, offrendo all'ascoltatore una maggiore varietà rispetto al singolo oratore. L'intervista si presenta sotto forma di domande e risposte e offre l'opportunità di parlare con un esperto del proprio campo di studio o di consentire agli studenti di interrogarsi a vicenda su una questione particolare.

2.1.3 Podcast nella didattica di carattere scientifico

Per quanto riguarda lezioni di carattere scientifico, i podcast sono stati utilizzati all’interno delle classi in vari modi, generalmente passando attraverso tre obbiettivi: (Sumeet, 2022)

• *Nell’apprendimento*: come già menzionato, è presente un gran numero di podcast accessibili alla rete, spaziando da quelli brevi e riassuntivi a quelli che invece affrontano l’argomento in maniera approfondita[2]. Alcuni attraversano più discipline, altri analizzano le ripercussioni dell’argomento nella società, ma in generale si può dire che il docente ha a disposizione una vasta gamma di podcast da proporre agli studenti.

• *I docenti possono registrare unità riassuntive come ripasso* per gli studenti. Queste unità sono presenti online in maniera che possano essere ascoltate anche da casa. Queste possono includere le lezioni più importanti, collegamenti alle idee più interessanti e preparazioni alla lezione successiva con domande introduttive. Se paragonato con le unità scritte e i compiti a casa, la voce narrante può procurare un modo semplice ed efficace per rendere l’esperienza di apprendimento più leggera e apprezzabile.

[2] Tra i podcast disponibili in rete e trattanti temi di natura scientifica (e in particolare della fisica) si possono citare: scientificast (https:// www.scientificast.it), fantascientificast (https:// www.fantascientificast.com) e austronauticast (https:// www.astronauticast.it).

• *Un esercizio di registrazione* di una narrazione coerente permette agli studenti di affinare le proprie abilità nella *Next Generation Science Standard* (NGSS)[3] nella pratica scientifica di "Ottenere, valutare, e comunicare informazioni".

Rinforziamo quanto già esposto nel precedente paragrafo per sottolineare che, nonostante i temi trattati fossero di carattere generale, questi non escludono il campo delle discipline scientifiche dove, come si può già notare da questo breve elenco appena esposto, vengono riproposte le stesse direttive e peculiarità[4]. A titolo di conferma di quanto appena detto proponiamo, in forma riassuntiva, una metodologia didattica basata sul podcasting inerente a una lezione di fisica dove viene utilizzata la seconda e la terza tipologia di utilizzo di un podcast a scopo educativo, con tutti i relativi benefici connessi (§2.1.2 p. 43).

La lezione segue una struttura quale quella indicata nell'elenco a p. 44: durante la fase dell'apprendimento, gli studenti sono invitati ad ascoltare un podcast con un blocco per gli appunti a fianco e a fermare la registrazione, se non addirittura a riavvolgerla, nel caso ci fosse qualche parte da loro ritenuta più complessa. Se il podcast fosse troppo lungo, potrebbe essere utile creare delle pause al suo interno attraverso marcatori temporali, in maniera che gli studenti abbiano la possibilità di riflettere meglio sugli argomenti e, una volta ascoltato il podcast, suddividere gli studenti in gruppi in modo che possano condividere opinioni sugli aspetti più difficili o su quelli da loro ritenuti più interessanti (Sumeet, 2022). Quest'ultima parte è molto utile per promuovere la pratica di "fare domande" e "costruire spiegazioni" promossa dall'NGSS (MacKenzie 2019).

Infine, gli studenti sono invitati a creare un podcast utilizzando la propria voce. Questa, denominata la fase dell'"esercizio di registrazione", è molto importante nel rinforzare "la propria dialettica da scienziato, avere una corretta forma grammaticale e sviluppare un tono di voce da presentatore" (MacIsaac, 2021). Oltre a questo, lo sviluppo di un podcast può essere utilizzato come strumento di revisione dei concetti acquisiti una volta terminato uno specifico

[3] Gli Standard Scientifici di Prossima Generazione (Next Generation Science Standards) identificano le conoscenze scientifiche che tutti gli studenti dalla scuola materna alla dodicesima classe (ultimo anno delle scuole secondarie di secondo grado) dovrebbero avere. Questi nuovi standard si basano su "A Framework for K-12 Science Education" del Consiglio Nazionale di Ricerca (National Research Council). Il Consiglio Nazionale di Ricerca, l'Associazione Nazionale degli Insegnanti di Scienze (National Science Teachers Association) e l'Associazione Americana per l'Avanzamento della Scienza (American Association for the Advancement of Science) hanno collaborato per creare questi standard attraverso un processo collaborativo a guida statale.

[4] Per maggiore riscontro sul tema si consiglia di leggere "Blickenstaff, J., *Science podcasts in the classroom*, NSTA, nsta.org/resources/science-podcasts-classroom", Shapiro (2019) e Blickenstaff (2019)

argomento (o come ripasso generale a fine anno scolastico). Con una tipologia di apprendimento così strutturata, è stato riscontrato come gli studenti si sentano coinvolti nel processo di ascolto e di produzione del podcast, come manifestino entusiasmo nel crearne di propri e di come si divertano nell’elaborare modalità efficienti nel comunicare quanto da loro appreso. Inoltre, i podcast prodotti dagli studenti rappresentano anche uno strumento potente e significativo da condividere con i compagni di classe (Sumeet, 2022).

Millanes et al. (2017) propongono una procedura leggermente diversa: integrano alle lezioni tradizionali di fisica l’utilizzo preliminare di un podcast (seconda tipologia di utilizzo di un podcast a scopo educativo, vedi §2.1.2, p. 43); gli studenti vengono invitati a prendere nota delle parole chiave menzionate dal podcast e, nel caso ci fossero problemi di comprensione di alcuni contenuti, a riavvolgere parte della registrazione per riascoltarla nuovamente.

Nonostante la semplicità del metodo, gli studenti che hanno usufruito dell’ausilio del podcast per integrare il materiale didattico hanno ottenuto risultati significativamente superiori rispetto ad altri che invece non ne hanno fatto uso. In più gli studenti che hanno utilizzato i podcast hanno percepito un aumento delle loro conoscenze anche senza una discussione effettiva in classe e hanno dato generalmente feedback molto positivi riguardo la nuova esperienza didattica.

È riscontrato, inoltre, che ascoltare i podcast in questo modo migliora l’abilità di prendere appunti degli studenti e che la flessibilità da parte del podcast di poter riascoltare più volte lo stesso contenuto porta a una migliorata partecipazione e motivazione nell’imparare la fisica da parte degli studenti. Si nota anche una diminuzione del livello di ansia nei confronti dei temi percepiti come più difficili. Come ultima cosa, si riscontra una personalizzazione dell’apprendimento e una massimizzazione dei potenziali di apprendimento. Vediamo quindi come si presentano, anche in questo caso, risultati già previsti nel §2.1.2 quali migliorare le prestazioni accademiche, consentire ambienti di apprendimento unici, feedback positivi da parte degli studenti, efficacia nelle lezioni dai contenuti difficili, e altro (p. 39-41).

Come esempio finale[5], riportiamo una ricerca atta esplicitamente a valutare il livello di motivazione degli studenti allo studio in seguito all’integrazione dei podcast alle normali

[5] Nel caso si fosse interessati ad altre esperienze concernenti l’uso del podcasting all’interno delle lezioni di fisica si consiglia Millanes (2021) e Andersson e Nilsen (2006).

lezioni di fisica (Millanes, (2021). Per otto settimane, infatti, 80 studenti di età compresa tra i 14 e i 16 anni sono stati esposti all'utilizzo di alcuni podcast inerenti temi di fisica quali cinematica, gravitazione, torsione, calore, temperatura e gravitazione per integrare le lezioni svolte in classe. Anche in questo caso, la visione del podcast precedeva sempre la lezione. Gli studenti sono stati poi sottoposti a test di gradimento molto specifici, con l'obbiettivo di valutare in maniera mirata, come già detto, il loro livello di motivazione in relazione all'esperienza svolta. Oltre ad osservare un considerevole aumento della motivazione tra gli studenti, viene riscontrata anche la validità del podcasting in ambito pedagogico, ai fini di massimizzare l'uso potenziale della tecnologia e di promuovere l'apprendimento a lungo termine.

Riportiamo questo esempio perché, rispetto agli altri due precedentemente analizzati, sottolinea il ruolo chiave del gradimento per il podcasting da parte degli studenti come integrazione in ambito pedagogico, che diventa maggiore nel caso in cui i podcast vengano utilizzati nelle lezioni inerenti temi di fisica. Questo, a nostro parere, è dovuto probabilmente al fatto che il podcasting permette, grazie a strumentalizzazioni digitali e forme di intrattenimento che i ragazzi sentono maggiormente come proprie, a diminuire il divario tra gli studenti e la materia solitamente percepita come difficile e noiosa.

2.1.4 Elaborazione e comunicazione dei podcast scientifici

Terminiamo con alcune considerazioni su come avviene l'elaborazione dei contenuti di una didattica basata sul podcasting da parte di uno studente: il processo si differenzia veramente dalla lezione frontale? Se così fosse, quali sono, esattamente, le incongruenze? In ultima analisi, che tipo di linguaggio comunicativo utilizzano i podcast e quando questo può essere davvero utile all'interno del processo educativo di uno studente delle scuole secondarie di secondo grado?

Non molti studi, fino ad ora, hanno accertato con chiarezza l'andamento del livello di attenzione in una classe, il che permetterebbe di calibrare meglio le pause, o anche di modulare meglio l'attenzione inserendo elementi di sorpresa (Bagnoli, Gronchi, 2019). Tuttavia, grazie ad una ricerca condotta da Poh, Swenson e Picard (2010) si è riscontrata una notevole diminuzione dell'attività del sistema nervoso simpatico proprio durante le ore di lezione in

classe. Attraverso le variazioni della conduttanza cutanea, o *attività elettrodermica* (*DEA*, dall'inglese *electrodermal activity*) è possibile notare come le attività quotidiane di uno studente che meno coinvolgono l'intervento del sistema nervoso simpatico sono tre: guardare la televisione, rilassarsi e, come già detto, seguire una lezione in classe (Figura 2.4).

I risultati cambiano notevolmente quando vengono eseguite attività di laboratorio, si effettua un esame universitario o vengono svolti i compiti a casa; probabilmente per via di un aumento dello stress cognitivo associato a queste attività. Quello che si evince è che, mentre probabilmente in queste ultime pratiche l'attività di un discente di riflessione e di elaborazione delle informazioni è piuttosto elevata, nel guardare la televisione e nel seguire una lezione in classe, invece, lo studente passa a una modalità di assorbimento e memorizzazione dei contenuti (Bagnoli, Gronchi, 2019). In effetti, sussistono ricerche a favore di come la comunicazione asincrona di contenuti in un contesto di apprendimento consenta più tempo al discente per riflettere sulle proprie considerazioni e comprendere in maniera più approfondita il materiale esposto rispetto alla comunicazione sincrona[6] (Davidson-Shivers, Muilenburg, & Tanner, 2001; Hrastinski, 2008; Bryce, 2009).

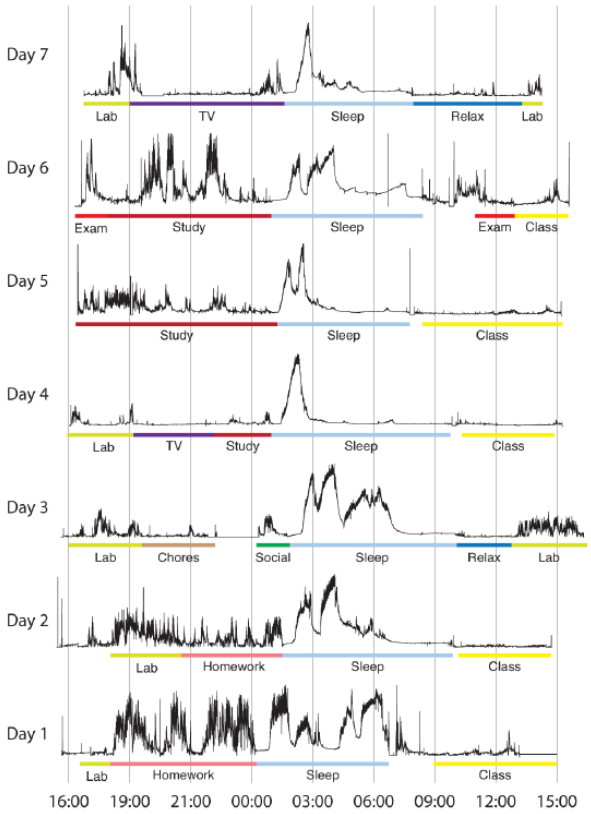


Figura 2.4 - Registrazioni EDA. Le misurazioni continue della conduttanza cutanea sono state registrate per sette giorni in un ambiente domestico naturale. Le forme d'onda EDA giornaliere visualizzate sono normalizzate.

Tuttavia, esistono anche elementi a sfavore della comunicazione asincrona in ambito pedagogico, come ad esempio il fatto che non consente di rivisitare in maniera diretta i contenuti elaborati dal discente e le eventuali misconcezioni che possono insorgere nello stesso (Giesbers, Rienties, Tempelaar, Gijselaers, 2013; Hrastinski,

[6] Perlopiù, Buxton (2014) ha condotto uno studio su due gruppi di 41 studenti di farmacia: un gruppo era iscritto a un corso online asincrono, mentre l'altro partecipava a un corso sincrono tramite webinar dal vivo. Sono stati riscontrati risultati statisticamente significativi riguardanti la soddisfazione dei partecipanti al corso asincrono. Anche se non sono stati chiesti a questi partecipanti espliciti paragoni con la modalità sincrona, gli studenti iscritti al corso asincrono hanno dichiarato di aver appreso il materiale e di essere molto soddisfatti delle modalità con cui si svolgeva il corso.

2008). A nostro parere, viene avvalorata in questo modo l'ipotesi che la compartecipazione tra modalità sincrona e asincrona durante il susseguirsi delle lezioni in classe sia una delle alternative migliori per sviluppare l'apprendimento dello studente. In effetti, le tipologie di lezione basate sul podcasting analizzate in questo lavoro hanno sempre compreso una parte di lezione sincrona (quella relativa all'insegnamento in classe assieme al docente) e una asincrona (relativa all'ascolto dei podcast) e hanno ottenuto sempre buoni risultati in materia di apprendimento dello studente[7].

Un altro importante aspetto da considerare quando si tratta di valutare le capacità di apprendimento di uno studente in questo tipo di didattica è quello di valutare la tipologia di pubblico a cui il podcast utilizzato si riferisce. Nei casi analizzati fino a questo momento, abbiamo sempre preso in considerazione podcast rivolti ai soli studenti delle scuole scuole secondarie di secondo grado, con argomentazioni che difficilmente possono esulare dai programmi scolastici.

Molti dei podcast disponibili nel web possono essere rivolti a un genere differente di pubblico e gran parte dei loro contenuti potrebbero esulare da quelli normalmente trattati nelle scuole, così come parte della loro comunicazione potrebbe non essere la stessa ricercata in un contesto scolastico. Tuttavia, è importante far presente che il podcast, rispetto, ad esempio, a un normale programma radiofonico, non è costretto a soddisfare un'ampia varietà di ascoltatori. Con i podcast, infatti, si raggiunge il massimo di audience declinando in formati diversi lo stesso contenuto ed è possibile così realizzare livelli differenti di informazione per pubblici diversi con interessi diversi. Si vengono, quindi, a creare in rete nuove composizioni in sezioni tematiche in grado di soddisfare i generi più differenti di pubblico (Picardi, Simona, 2008).

I podcast con contenuti scientifici possono essere suddivisi in tre modalità principali di produzione: i *podcast come radio in differita* (trasmissioni radiofoniche concepite per essere trasmesse via radio e distribuite successivamente anche attraverso il podcasting), *branded podcast* (realizzato da aziende che offrono prodotti e servizi che hanno visto nel podcasting un forte potenziale divulgativo in grado di veicolare valori aziendali e avvicinarsi a potenziali clienti), i *podcast editoriali* (prodotti da alcune testate giornalistiche intenzionate a declinare i

[7] Durante il corso del terzo capitolo (§ 3.4.2, p 84) analizzeremo un altro metodo di insegnamento in cui comunicazione sincrona e asincrona si alternano, quello della *peer istruction* (detta anche *flipped classroom*). Il valore in ambito pedagogico di quest'ultima è già stato convalidato in molti contesti (Crouch, Mazur, 2001; Fagen, Crouch, Mazur, 2002)

loro contenuti in altre forme) e infine i *podcast indipendenti* (comprendono i podcast che non rientrano nelle categorie appena citate; possono essere realizzati a livello amatoriale o con il supporto di professionisti) (Marucco, 2022). In un panorama così strutturato un insegnante ha buone probabilità di riuscire a trovare podcast utili per molte delle sue lezioni. Nel terzo capitolo (§3.3) forniremo alcuni esempi di podcast (principalmente podcast video) che possono essere integrati facilmente a una lezione in classe

2.2 La dimensione ludica come risorsa pedagogica

Proseguiamo prendendo in considerazione la possibilità di introdurre attività ludiche di vario tipo in ambito accademico attraverso dispositivi elettronici; in particolare analizzeremo videogiochi e libri game. Vale la pena tenere in considerazione questo contesto se si considera che gli studenti fanno parte di una generazione di nativi digitali e non possiamo non tenere conto che non sono la stessa tipologia di persone per le quali è stato istituito il sistema educativo qualche decade fa. Questi studenti sono cresciuti in un nuovo contesto tecnologico con la sua specifica cultura e stanno per affrontare un mondo più esigente, più competitivo e più complesso (Bidarra, Figueiredo, 2014).

La validità dei giochi su schermo come veicolo di trasmissione delle conoscenze è già stata presa in considerazione in vari contesti, anche per quanto concerne la fisica e la matematica, raggiungendo riscontri perlopiù positivi (Soleha, Wulantina, 2023; Utoyo, 2018; Barzilai, Blau, 2014; Gee, 2003; Prensky 2001), ma per quanto riguarda i libri game, che prenderemo in considerazione prevalentemente soltanto nel formato digitale, la letteratura da noi riscontrata è meno vasta, ma non per questo meno soddisfacente.

Un libro game segue le caratteristiche di un libro tradizionale, ma non è detto che debba essere letto sequenzialmente. La differenza principale con un libro tradizionale risiede nella possibilità da parte del lettore di poter scegliere quale strada far intraprendere al personaggio principale, così come avviene nei videogiochi. Il lettore/giocatore effettua delle scelte che influenzano il corso della storia e le sue decisioni hanno un effetto significativo sullo sviluppo del finale. Alcune scelte possono essere semplici, come girare a destra o a sinistra, altre più difficili come risoluzioni di problemi inerenti disastri naturali, inquinamento ambientale o cambiamenti climatici. Se considerati esclusivamente in ambito digitale, i libri game possono

seguire generi tipici e formati dei giochi elettronici, come puzzle, giochi di ruolo, enigmi di strategia e altro (Bidarra, Figueiredo, 2014).

Vale la pena far notare, quindi, che un libro game in formato digitale può essere considerato a tutti gli effetti una forma particolare di videogioco. Inoltre, facciamo presente che la maggior parte delle considerazioni generali che possono essere fatte sui videogiochi in ambito pedagogico si riflettono anche sui libri game. Prensky (2001, p. 20) riscontra che l'apprendimento digitale basato sui giochi trova particolare riscontro in tutte quelle discipline dove è difficile trovare "motivazione" o che risultano complesse, nello specifico elenca i seguenti target di efficacia:

1. Materie aride, tecniche e "noiose" (utilizzando termini degli stessi studenti)
2. Argomentazioni più difficili
3. Pubblico più difficile da raggiungere
4. Comprensione dei processi più complessi
5. Analisi sofisticate del tipo "cosa succede se"
6. Sviluppo e comunicazione di una strategia

Abbiamo visto a p. 1 di questo elaborato che molte di queste caratteristiche coincidono proprio con quelle date dagli studenti nei confronti della fisica come disciplina scolastica. Questo ci fa presupporre come questo tipo di didattica si possa avvicinare molto all'insegnamento della disciplina e dedicheremo un po' del nostro spazio analizzando la realizzazione di questo tipo di processo educativo.

Studi più recenti hanno fatto notare come i *serious game*[8] in effetti si affianchino efficacemente all'apprendimento delle materie scientifiche, ottenendo risultati migliori sul rendimento scolastico degli studenti se paragonati ai metodi di insegnamento tradizionali (Riopel et al, 2019) o di come questi aumentino le soft skills, il pensiero critico e le capacità di prendere decisioni e di problem solving degli studenti (Anastasiadis, Lampropoulos, Siakas, 2018).

[8] I *serious game* sono generalmente definiti come software digitali il cui scopo principale è rivolto all'apprendimento piuttosto che all'intrattenimento (Klopfer, Osterweil, Salen, 2009).

Elencati i fattori positivi inerenti a questo tipo di attività, è bene tenere presente che persistono anche alcune difficoltà nella produzione e nello sviluppo di giochi elettronici educativi che riteniamo siano da tenere in considerazione (Bidarra, Figueiredo, Natálio, 2015):

- Il costo elevato sulle innovazioni inerenti questo tipo di giochi all'interno un mercato fondamentalmente insicuro rendono gli investimenti rischiosi agli occhi dei produttori.
- Le istituzioni scolastiche sono tendenzialmente insicure nell'adottare innovazioni e non vogliono necessariamente applicare cambiamenti e investimenti, incluso l'utilizzo di nuove tecnologie nel processo educativo.
- Docenti, istituzioni e case di pubblicazione non vogliono (tradizionalmente) rimpiazzare i libri di testo con giochi educativi
- Il valore di specifiche tecnologie educative (giochi, simulazioni ecc.) non sono stati, in molti casi, comprovati
- Genitori e insegnanti hanno ancora un approccio molto negativo sull'uso di giochi in classe;
- I giochi creano in genere abilità di alto livello che non sono tipicamente richieste nelle verifiche o negli esami (multitasking, decision-making, visione strategica ecc.).

Oltre che poter essere considerati una forma particolare di videogioco, i libri game presentano altre caratteristiche peculiari. Ad esempio, bisogna considerare che, così come per i podcast, anche l'esperienza di studio attraverso i libri game può essere catalogata come mobile learning se i libri vengono sviluppati in maniera da interagire su piattaforme digitali. Ricordiamo che il mobile learning (m-learning) è il processo di apprendimento che non è limitato a una locazione fissa, ma che permette, attraverso l'utilizzo della tecnologia mobile (smartphone, tablet ecc.) di accedere all'esperienza educativa pressocché ovunque (Sharples, 2000). Gli m-learning, come evidenziato in uno studio del 2010 (Bidarra), sviluppano certi tipi di pattern inerenti alla didattica degli studenti:

1. le attività di apprendimento sono basate principalmente sulle risorse online e nell'interazione con le altre persone (spesso anche attraverso il lavoro accademico)

2. Reti di collaborazione e di gruppi di lavoro sono un aspetto molto importante dell'interazione mobile ogni volta e in ogni dove.
3. La facilità nel pubblicare istantaneamente contenuti online stimola gli studenti a diventare ricercatori e autori;
4. La possibilità di catturare, registrare e pubblicare multimedia trasforma gli studenti in produttori e critici (per esempio quando interagiscono con Facebook, Twitter ecc.)
5. La didattica digitale evolve attorno all'ambiente sociale degli studenti (attraverso la condivisione di contenuti di ogni sorta: audio, video, testi, immagini ecc.).

Enfatizziamo ciascuna di queste caratteristiche perché sono di una certa rilevanza all'interno del processo educativo che passa attraverso l'utilizzo di un libro game. È infatti ragionevole considerare l'integrazione del mobile learning (e dell'apprendimento basato sul gioco) in un sistema gestito dagli studenti, permettendogli di scegliere i loro obbiettivi, amministrare i contenuti e comunicare tra di loro. In pratica, questi ambienti di apprendimento personale (o PLEs, dall'inglese Personal Learning Environments) sono fatti da molti componenti, che possono includere i social network, mondi virtuali e software di authoring che connettono varie risorse di apprendimento, che possono essere ottenute da ciascun studente. I libri game, a causa delle loro caratteristiche e del loro potenziale di interattività, possono facilmente diventare parte dei PLEs (Bidarra, Figueiredo, Natálio, 2015).

Un'altra caratteristica che concerne i libri game è sicuramente l'esperienza ludica, che necessita di essere sfruttata e valorizzata. Questa, se il libro è scritto a fini pedagogici, si viene a incrociare con l'esperienza di apprendimento attraverso dinamiche e meccaniche di gioco. In questo contesto, possiamo definire le meccaniche di gioco come l'insieme di regole e ricompense che creano l'esperienza altamente motivante o, in altre parole, più sfidante e coinvolgente. Le più comuni meccaniche di gioco (Lee, Hammer, 2011) includono:

- *Punti*: studi all'università di Chicago dimostrano come i punti sono fantastici motivatori e possono essere usati come ricompense per gli utenti/studenti attraverso livelli o dimensioni giocabili. In generale le persone amano essere ricompensate e, quando interagiscono con sistema a punti, sentono come se avessero ottenuto qualcosa.

- *Livelli*: possono essere usati dagli studenti (o dagli utenti) per motivare uno status raggiunto o avere accesso a contenuti aggiuntivi.
- *Sfide, medaglie, achievement, trofei*: l'introduzione di traguardi permette agli studenti (utenti) di sentirsi come se stessero lavorando a un obbiettivo. Normalmente, le sfide dovrebbero essere configurate su specifiche azioni e dovrebbero includere ricompense quando l'utente raggiunge gli specifici obiettivi.
- *Tavole dei leader o "tavole dei punteggi migliori"*: sono usate per tracciare ed esporre certi tipi di azioni. In termini di motivazione, sono tra gli elementi più importanti di un gioco perché inducono un certo senso di aspirazione tra i giocatori.

In un certo qual modo, la scuola ha sempre utilizzato le precedenti meccaniche di gioco nelle attività di apprendimento applicando valutazioni ai compiti assegnati che possono essere considerati come punti. Inoltre, in accordo con questa prospettiva, la carriera accademica può essere considerata come un insieme di livelli da superare e il diploma come il premio finale (Lee, Hammer, 2011). Tuttavia, un sistema così strutturato non sembra molto coinvolgente per gli studenti e può essere migliorato aggiungendo, ad esempio, tecnologie che coinvolgono i libri game, essendo questi strumenti che gli studenti accettano maggiormente nel loro processo di educazione (Bidarra, Figueiredo, Natálio, 2015).

Terminiamo riportando quelli che sono gli effettivi benefici dell'utilizzo di un libro game digitale in ambito pedagogico e che riteniamo lo differenzino da un serious game tradizionale. L'utilizzo di un libro game come risorsa didattica sembra avere il potenziale di spingere gli studenti a diventare attivamente coinvolti nel processo educativo, dal momento che gli permette di provare di volta in volta differenti strade e di distinguere quelle che è rilevante da quello che è di secondaria importanza. Gli consente, inoltre, di creare e annotare materiale da varie risorse e incoraggia l'esplorazione di nuovi argomenti (Bidarra, Figueiredo, Natálio, 2015).

Riteniamo che questi siano tutti incentivi molto utili per apprendere appieno la fisica, essendo, come già accennato precedentemente, una materia che necessita di vari approfondimenti a causa delle abilità particolari che richiede per padroneggiare la grande varietà di obbiettivi formativi (Ornek, 2008). Abbiamo ragione di ritenere che, ovviamente, più questi approfondimenti avvengono in maniera spontanea da parte dello studente, più si rivelerà

fruttuoso l'apprendimento della materia stessa. Riteniamo che l'incentivo da parte dello studente può essere ulteriormente implementato, se affiancato dall'utilizzo delle meccaniche di gioco elencate precedentemente.

In conclusione, anche se non si conoscono (almeno per quanto concerne la letteratura analizzata) i risultati prodotti da un libro game come strumento didattico di discipline quali la fisica o la matematica, questo sembra avere tutto il potenziale per ottenere buoni risultati: la dimensione ludica permetterebbe di interagire bene con gli argomenti più ostici per gli studenti, l'inserimento di meccaniche di gioco ben strutturate darebbe il giusto coinvolgimento che permetterebbe ai giocatori/studenti di ripetere più volte l'esperienza di gioco e quindi ripassare i concetti e in più il libro game porterebbe gli studenti, per sua natura, ad approfondire gli argomenti seguendo più strade all'interno del gioco. Riteniamo molto importante, inoltre, anche l'interazione sociale alla base degli m-learning esposta precedentemente: un confronto di tal genere, a nostro parere, migliorerebbe enormemente l'esperienza di apprendimento della fisica (o della matematica) se sfruttata nel modo corretto e pertanto dovrebbe essere presa assolutamente in considerazione durante la realizzazione di un libro game.

2.3 Narrazione in ambito scientifico

Non sarebbe possibile definire in maniera specifica la validità di un podcast o di un libro game in un qualsivoglia contesto senza passare dall'ambito della narrazione, tema che sicuramente caratterizza il podcast (o il libro game) nella sua interezza. La narrazione, a sua volta, assume connotati specifici se adibita a fini pedagogici di stampo scientifico.

Cercheremo, durant il corso di questo paragrafo, di descrivere in maniera più approfondita possibile questo particolare tipo di narrazione, elencandone le peculiarità e i possibili sviluppi.

A chiunque abbia speso del tempo con dei bambini sarà capitato che, ad un certo punto, gli venisse chiesto di leggere la stessa storia dozzine di volte, con le stesse ripetizioni accolte con la medesima attenzione e seguite con fascino, come se la storia fosse stata raccontata per la prima volta. L'immenso potere di una buona storia di catturare la mente e il cuore di un bambino è da sempre utilizzato come efficace strumento per accompagnare l'apprendimento nel dominio delle arti del linguaggio e degli studi sociali, ma raramente si rivela una strategia per affacciarsi nel mondo degli studi scientifici. In realtà, la natura intrinseca di imparare

attraverso la narrativa in effetti crea un approccio ideale per sviluppare l'apprendimento scientifico nei principianti e, nonostante non goda di buona reputazione tra gli addetti al settore, trova più riscontro rispetto alla comunicazione logico-scientifica tradizionale (Engel, Lucido, Cook, 2018). Secondo Martin e Brouwer (1991), la narrativa può essere pedagogicamente efficace perché "sprona gli studenti nel dare un senso alle storie" (p.719). Come loro stessi sottolineano "Una storia con poche parole ben scelte può catturare il lettore o l'ascoltatore e creare un mondo di esperienze condivise. Il racconto può, a volte, comunicare in poche parole quello che un'analisi densa e tecnica può fare in diverse righe" (p.708).

I bambini sviluppano due modalità di pensiero per percepire il mondo circostante. Una è sociologica, che processa informazione astraendola dal contesto. L'altra è narrativa, che è anch'essa dipendente dal contesto e si basa su fatti dati dalle situazioni. Ricerche hanno dimostrato che "la maniera narrativa di pensare rappresenta la modalità predefinita del pensiero umano, fornendo struttura alla realtà e rappresentando un importante alleato per la memoria"[9]. Quindi, nel contesto dell'apprendimento scientifico, presentare nuove informazioni sottoforma di storie riguardanti scienziati e scoperte scientifiche accompagna ulteriormente un modo naturale di elaborare le informazioni per molti studenti. Infatti, un modello di capacità della comprensione dei bambini sviluppato da Shalom Fisch indica che più una nuova nozione è inserita all'interno di un contesto narrativo, meno risorse cognitive ne saranno richieste per la comprensione (Fisch, 2000).

Un approccio narrativo all'apprendimento scientifico assicura benefici che vanno aldilà di nuove conoscenze. Storie che parlano di scienza e di scienziati possano avere un impatto positivo tale da ispirare il futuro apprendimento delle materie. Mentre le comunicazioni più tradizionali delle idee scientifiche possono ridursi a una serie di fatti o a una linea temporale di scoperte, un approccio narrativo permette l'accostarsi di emozioni positive quali eccitamento o curiosità partecipativa. Inoltre, solitamente, storie riguardanti scienziati comprendono informazioni sugli scienziati. Una descrizione delle discipline scientifiche attraverso la narrativa può aiutare i ragazzi a "vedere gli scienziati ritratti nelle storie come esseri umani reali" (e non come supereroi aventi eccezionali poteri intellettuali), e quindi aiutarli a identificarsi con essi". Questo potente beneficio dell'approccio narrativo promuove

[9] *Using narratives and storytelling to communicate science with nonexpert audiences.* http://www.pnas.org/content/111/Supplement_4/13614

l'inclusività nella scienza, potendo essere di potenziale ispirazione per le ricerche sui futuri apprendimenti scientifici dei ragazzi (Engel, Lucido, Cook, 2018).

2.3.1 La struttura della narrazione in ambito scientifico

La narrazione in ambito scientifico deve soddisfare due criteri principali: il primo, fondamentale, è quello di comunicare in maniera efficace i concetti scientifici, mentre il secondo è quello di coinvolgere i sentimenti dell'ascoltatore verso quei medesimi concetti. Anche se il narratore può avere un ruolo importante nel processo di coinvolgimento degli ascoltatori, è di fatto la "costruzione della storia" che determina la partecipazione negli ascoltatori e cosa venga da loro recepito o quanto rimanga impresso nella memoria[10] (Hadzigeorgiou, 2016).

In accordo con Avraamidou e Osborne (2009) gli elementi che giocano un ruolo significativo nella narrativa e che ne dovrebbero essere sempre inclusi all'interno sono *scopo* (capire il mondo naturale e umano) *eventi* (una sequenza di eventi che sono connessi tra di loro), *struttura* (una relazione temporale di eventi con un inizio, un intermezzo e una fine), *tempo* (il passato) *azione* (partecipanti umani o entità che causano e fanno esperienza di eventi) e un *narratore* (quello che deve interpretare o riconoscere il testo come narrazione). Questi elementi sono sicuramente molto importanti da tenere in considerazione, ma se lo scopo è quello di scrivere una storia con scopi informativi, la lista di Klassen e Froese-Klassen (2014) (riportata nella tabella 2.1) è sicuramente più di aiuto.

A titolo di esempio, dal momento che capire i concetti scientifici è lo scopo, o uno degli scopi, di raccontare la storia, la coerenza consequenziale[11] è un elemento cruciale, mentre una stretta sequenza cronologica non è necessaria (dal momento che la trama potrebbe avere

[10] Apparentemente, questo non è facile da ottenere se la storia si limita a fornire un contesto storico. Alcuni elementi devono essere considerati per rendere la storia coinvolgente: questi elementi, in accordo con la letteratura sulla selezione o la creazione di una storia coinvolgente, sono coerenza, problematizzazione, mistero, caratterizzazione, immagini mentali, conflitto e risoluzione del problema, sfida delle conoscenze pregresse, ironia e sollevare domande (Altman, 2008; De Young, Monroe, 1996; Hadzigeorgiou, Stefanich, 2001; Klassen, 2009; Kubli, 2001)

[11] Riportiamo un esempio di coerenza consequenziale (CC) così come intesa da Klassen e Froese-Klassen, usando proprio uno dei loro esempi: (A) Passaggio senza CC: Ohm ottenne una cattedra a Cologne, effettuò un esperimento per determinare la resistenza, pubblicò il suo esperimento; (B) Passaggio con CC: Ohm capì che la teoria matematica del calore, applicò tale teoria all'elettricità per analogia, e, come risultato, Ohm capì che la teoria matematica della resistenza.

Personaggio(i) preso(i) dalla storia della scienza
Azioni che sono consistenti con i dati storici
Situazioni o condizioni
Coerenza consequenziale delle azioni dei personaggi
Tempo passato
Struttura della trama con azione crescente e punto culminante
Azione critica fatta dal personaggio principale
Appropriato contenuto scientifico
Fonte: Klassen e Froese-Klassen (2014)

Tabella 2.1 - Lista valutativa delle caratteristiche necessarie per la realizzazione di un racconto di stampo scientifico.

flashback o flashforward). Hadzigeorgiou (2006b), invece, presta più attenzione ai seguenti elementi: il protagonista principale, il senso di meraviglia, immagini mentali e concetti scientifici (contenuto scientifico e conoscenza sulla natura della scienza), ma nel caso in cui la storia sia stata scritta con lo scopo di introdurre unicamente uno specifico argomento (forze e moto, dissoluzione, gravità, suono ecc.) che non è basato su eventi storici, allora l'attenzione andrebbe riportata di nuovo agli elementi della tabella 2.1. Resta comunque il fatto che, in ogni caso, il contenuto scientifico deve essere sempre e comunque incorporato nella storia.

Resta un ultimo interrogativo di fondamentale importanza da porsi: ha più valore una narrazione basata su eventi storici o una su eventi di fantasia? In effetti, non sussiste molta differenza. Il potere di una storia non risiede nel suo valore fattuale, ma sul messaggio che trasmette, su come riesce a catturare l'immaginazione degli studenti. Fin tanto che il racconto segue il suo scopo pedagogico, permane il valore dell'educazione scientifica (Hadzigeorgiou, 2006, p. 99).

Terminiamo esponendo un esempio pratico su come impostare una lezione incentrata su narrativa di carattere scientifico, secondo quanto elaborato da Engel, Lucido e Cook (2018). Innanzitutto, l'essenza di un racconto scientifico si basa su poche chiavi narrative: tema, pubblico, obiettivo, narratore e personaggi. Anche se queste chiavi possono essere in comune con qualsiasi altro linguaggio narrativo, bisogna tenere presente che, in un contesto scientifico, possono cambiare forma e richiedere nuovi tipi di interventi. Per quanto riguarda il pubblico, ad esempio, è necessario chiedersi, oltre se l'argomento può essere d'interesse, anche quali

potrebbero essere le eventuali misconcezioni del target (ciascuna tipologia di pubblico ha i suoi particolari obiettivi). Allo stesso modo, la struttura della narrazione deve essere coinvolgente e comprensibile, con un narratore che potrebbe essere lo scienziato stesso (che narra delle proprie scoperte e di come le ha effettuate) o addirittura dalla prospettiva di un oggetto (ad esempio un fossile, un animale o una pianta) che ha procurato allo scienziato nuove intuizioni. È importante mantenere l'accuratezza scientifica e tenersi ai fatti. Inoltre, la narrazione scientifica applica una struttura narrativa a contenuti non di finzione e presenta le informazioni in un formato familiare e coinvolgente.

L'esperienza di apprendimento si fonda su tre pilastri fondamentali: attrattiva (o punto di partenza), indagine e risoluzione; alcuni esempi sul significato di questi pilastri sono riportati in tabella 2.2. Le attrattive puntano a coinvolgere lo studente attraverso varie tipologie di processi educativi (enigmi, oggetti che scaturiscono curiosità, ecc.) mirati a suscitare interesse e a guidare l'esperienza di apprendimento. Subito dopo, gli studenti sono sottoposti ad un'indagine guidata: fare osservazioni, esplorare oggetti/campioni, investigare e fare domande.

Attrattiva	• Oggetti/assetti interessanti • Problemi • Enigmi • Scelte
Indagine	• Fare domande • Esplorare • Investigare • Fare osservazioni
Risoluzione	• Soluzioni • Risposte • Spronare all'azione

Tabella 2.2 - Pilastri *della narrativa* scientifica

Queste esperienze sono supportate dall'insegnante attraverso domande aperte/chiuse e informazioni. Alla fine, ogni esperienza finisce con una risoluzione. Questa può prendere la forma della soluzione a un problema, o può diventare uno spronare all'azione per promuovere gli studenti a continuare ad approfondire l'argomento o apportare qualche cambiamento al quadro fino a quel momento delineato.

L'esempio appena riportato, oltre a rappresentare, molto probabilmente, una valida tecnica di insegnamento utile agli scopi di questo elaborato, riteniamo possa essere applicato in

maniera molto efficace anche nella didattica che passa attraverso l'utilizzo di un podcast. Infatti, nonostante che fino a questo momento siano stati analizzati principalmente tecniche di podcasting didattico "tradizionali" (cioè, con podcast strettamente inerenti alle lezioni svolte in classe e con temi ed espressioni che si avvicinano alla didattica intesa nel senso comune) pensiamo che non sia per niente da escludere l'utilizzo di podcast con alcune connotazioni di fantasia ed elementi di interazione, come nell'esempio sopra. Tale ipotesi è avvalorata anche da quanto analizzato in relazione ai libri game nel §3.2., dove è stato riscontrato che una didattica interattiva migliorerebbe certe capacità di apprendimento nei discenti. Speriamo, quindi, che questo possa essere tema di ricerche future.

2..3.2 Funzioni della narrativa in un contesto scientifico

Hadzigeorgiou (2016), trova risultati simili a quanto esposto finora nel contesto dell'educazione scolastica. Le specifiche funzioni che la narrativa avrebbe in questo ambito possono essere riassunte in questo modo: a) l'umanizzazione della conoscenza scientifica, b) l'introduzione di idee sulla natura scientifica, c) l'incoraggiamento e lo sviluppo di comprensione romantica, d) l'introduzione di indagine scientifica, e) la presentazione di esperimenti mentali e f) lo sviluppo di consapevolezza ambientale. Cercheremo, nei contesti che seguono, di introdurne in maniera riassuntiva le caratteristiche basandoci unicamente sui lavori di Hadzigeorgiou (2016).

a) Umanizzazione della conoscenza scientifica - come suggerisce il nome, equivale a ritrarre lo scienziato come un essere umano che esperimenta non soltanto attraverso successi, ma anche con i suoi fallimenti, e che affronta molte difficoltà per ottenere le conoscenze scientifiche attuali, che nel presente diamo per scontate. È stato riscontrato che, sotto questi presupposti, una narrazione può aiutare ad umanizzare la scienza, presentando il contesto umano relazionato al contenuto che deve essere appreso (Hadzigeorgiou, Stefanich, 2001).

La narrativa, esibendo l'elemento umano inerente al processo scientifico (sforzi, ambizioni, sogni, debolezze ecc.), di fatto mostra l'aspetto umano della natura scientifica, qualcosa che non può essere intravisto nei suoi prodotti finali. La biografia è un importante elemento dell'umanizzazione della conoscenza che, secondo Mandler (1984) faciliterebbe l'acquisizione dei contenuti scientifici da parte degli studenti. Entrare in contatto con le

esperienze degli scienziati, infatti, aiuterebbe a sviluppare un sentimento di vicinanza nei confronti degli stessi, che a sua volta faciliterebbe l'apprendimento (Hong, Lin-Siegler, 2012; McKinney, Michalovic, 2004).

È importante anche far notare il conseguente sviluppo di empatia negli studenti (Klassen, Froese-Klassen, 2014; Solomon, 2002) (forse impossibile da raggiungere attraverso altri approcci pedagogici) che rende la narrativa una delle maniere migliori per umanizzare l'educazione scientifica, in particolare per le "scienze inorganiche" (quali chimica, fisica e geologia) (Hadzigeorgiou, 2006; Stinner, 1995).

b) Narrativa come introduzione di idee sulla natura della scienza – È un'ovvietà che ogni storia riguardante la scienza dovrebbe riportare la natura della medesima. Gli studenti dovrebbero essere aiutati, ascoltando un racconto, a diventare consapevoli di questa natura. Questo può succedere se la trama della narrazione ritrae scienziati e i loro sforzi così come davvero sono accaduti[12]. Ribadiamo quindi l'importanza di riportare fatti reali, con successi, problemi e fallimenti dello scienziato in questione.

Riguardo all'incerta e provvisoria natura della conoscenza scientifica, la trama della narrazione dovrebbe incorporare eventi dalla storia della scienza che documentano (a) il cambiamento delle idee scientifiche durante il corso del tempo, (b) l'esistenza di varie teorie per spiegare i fenomeni naturali e (c) l'irrazionalità del progresso scientifico. Il terzo punto è sicuramente il più difficile dei tre da realizzare, dal momento che la scienza di per sé sembra caratterizzata unicamente da processi razionali. In realtà esistono molti esempi nella storia della scienza in cui teorie, inizialmente considerate dalla maggioranza della comunità scientifica perlopiù come "folli", sono poi state accettate[13]. Questi eventi aiutano a capire che giudicare un'idea come irrazionale o impossibile non aiuta il progresso scientifico. La cosa

[12] È bene tenere presente sempre e comunque che il ritratto dello scienziato come eroe o come genio solitario non contribuisce alla comprensione dello studente sulla natura della scienza. Anzi, questa immagine può creare scoraggiamento nell'impegno scientifico da parte dell'ascoltatore. Oltretutto, come scrive Heering (2010) questa figura è del tutto inesistente all'interno della storia della scienza.

[13] Riportiamo alcuni esempi delle suddette teorie "irrazionali", che in un secondo momento non sono state più riconosciute come tali (Di Trocchio, 1997):

- Nel 1896 Lord Kelvin dichiara che l'aviazione fosse impossibile (niente più pesante dell'aria avrebbe potuto volare)
- Nel 1907 Lord Kelvin dichiara che l'atomo fosse impenetrabile
- Nel 1917 Robert Millikan dichiara che l'umanità non sarebbe mai stata in grado di utilizzare l'energia rilasciata dai nuclei atomici
- Nel 1933 Lord Ernst Rutherford dichiara che l'idea di utilizzare l'energia atomica fosse assurda.

importante da infondere nella trama della narrazione è che la forza con la quale certi scienziati del passato rifiutavano certe idee è stata alla fine abbattuta.

Infine, Heering (2010) sostiene che, affinché la narrazione aiuti gli studenti a capire la natura della scienza, quattro idee necessitano di particolare attenzione: (a) la conoscenza scientifica, per quanto duratura, ha un'indole provvisoria, (b) persone da tutte le culture contribuiscono alla scienza, (c) gli scienziati sono dei creativi, e (d) la scienza è una parte della tradizione culturale e sociale.

Bisognerebbe far notare, comunque, che la narrazione, forse più di qualsiasi altro approccio, può presentare un'immagine più realistica dell'indagine scientifica, dal momento che presenta esperienze di vita ed eventi associati con la conoscenza scientifica. Sebbene l'indagine scientifica possa aiutare gli studenti a diventare consapevoli della provvisoria natura della conoscenza, la narrazione rappresenta un approccio diretto all'apprendimento sulla natura della conoscenza scientifica. È un approccio diretto perché presenta esplicitamente delle idee che soltanto attraverso la narrazione possono essere capite dagli studenti, specialmente da quelli più giovani.

c) *Narrativa come introduzione all'indagine scientifica* – L'indagine è un metodo pedagogico che si basa su una caratteristica distintiva: il porre una domanda nel tentativo di capire un'idea o una situazione. L'aspetto cruciale del metodo d'indagine è che "permette sia agli studenti che agli insegnanti di diventare persistenti formulatori di domande e ponderatori" (Olrich, Harder, Callahan, Gibson, 2001, p. 320). Il punto centrale dell'indagine scientifica è l'idea che gli studenti, come gli scienziati, usino una serie di processi interconnessi attraverso i quali facciano domande e investighino sui fenomeni naturali. Questi processi si riferiscono ai ben noti processi scientifici quali osservare, classificare, predire, formulare delle ipotesi e sperimentare.

L'utilizzo di questi processi richiede che gli studenti vadano oltre il mero metodo di memorizzazione e diventino pensatori indipendenti e risolutori di problemi (*problem solvers*) (Hadzigeorgiou, Garganourakis, 2010; Hadzigeorgiou, Stefanich, 2001). Ovviamente, la parte più difficile sarà quella di predisporre gli studenti a fare domande in maniera frequente. Il problema, però, può essere risolto se la narrazione cattura l'attenzione degli studenti e stimola la loro immaginazione attraverso situazioni misteriose e fenomeni inspiegabili. In concomitanza con il livello scolastico, gli studenti saranno disposti ad accettare la sfida e

aiutare il personaggio principale della storia a risolvere un mistero o un problema. Il "trucco" in questo caso è una trama dove la risposta non va data direttamente all'insegnate, ma piuttosto a un problema a una situazione da risolvere. Le evidenze empiriche riguardanti il ruolo della narrativa nello stimolare l'indagine negli studenti è incoraggiante, sia in termini di impatto sui risultati di apprendimento[14] sia in termini di motivazione.[15]

d) Narrazione come sviluppo della comprensione romantica – La nozione di "comprensione romantica", benché si possa accostare bene, ad esempio, al contesto letterario o artistico, nei confronti della scienza è sempre sembrato un concetto naïve, se non assurdo, sino a 30 anni fa, dal momento che si preferiva focalizzarsi sulla comprensione concettuale (Schulz, 2009). Tuttavia, questo, se unito al contesto umano, fornisce al racconto struttura e contesto narrativo, indispensabili per la creazione di un significato emotivo e la generazione del pensiero narrativo[16] nel lettore.

È possibile raggiungere una comprensione romantica in un contesto scientifico assicurandosi di inserire all'interno della trama della narrazione i seguenti elementi: (a) un senso di meraviglia, (b) alcuni limiti ed estremi della realtà dell'esperienza umana, (c) tratti eroici di un personaggio che sono acclamati e (d) idee convenzionali che vengono contestate.

Il contesto umano, che, come già accennato, è una caratterista centrale della comprensione romantica, può essere desunto indirettamente dalla storia della scienza, che ci assicura che eventi e idee reali si intreccino alla trama della narrazione.

e) Narrazione come introduzione agli esperimenti mentali – Da un punto di vista storico, trovare una maniera efficace di presentare gli esperimenti mentali durante una lezione di scienze è cruciale. Incoraggiare gli studenti a ideare i loro esperimenti ha molti benefici, oltre

[14] Corni, Gilberti e Mariani (2010) ha riportato risultati su bambini che, interagendo su un contesto narrativo riguardante un determinato personaggio e cercando di risolverne i problemi proposti, hanno familiarizzato con questioni riguardanti il flusso d'acqua in un acquedotto e il riempimento di una piscina, sviluppando *problem solving* e altre abilità di investigazione scientifica. Kokkotas et al. (2010) ha ottenuto risultati simili sempre sui bambini, ma argomentando di elettricità anziché di fluidodinamica, mentre Hill e Baumgartner (2009) hanno ottenuto lo stesso successo, ma con ragazzi delle superiori e in ambito di cinematica.

[15] Gli studi di Morais (2015) mostrano come i bambini delle scuole elementari (8-10 anni), che ascoltano una storia, oltre ad apprezzarla provano piacere anche nelle attività manuali correlate. Risultati simili sono stati riportati da insegnanti che hanno utilizzato la controversia di Galvani-Volta con lo scopo di far comprendere il concetto di elettricità (Hadzigeorgiou, 2006).

[16] Il pensiero narrativo, secondo Bruner (1985), contrapposto al pensiero paradigmatico (logico, cercatore di prove, risolutore di problemi e relativo al pensiero razionale in generale), è una tipologia spontanea di pensiero che si fonda sulla "verosimiglianza", ovvero sull'appartenenza alla vita e sulla creazione di un senso. Il pensiero narrativo richiede mezzi letterari quali storie e metafore per evocare un significato. È quindi una maniera di pensare che si accosta alle persone (intenzioni, azioni ed esperienze umane) e non soltanto al pensare di per sé, come avviene invece per il pensiero paradigmatico.

allo sviluppo della loro immaginazione. Ci sono esperimenti che hanno giocato un ruolo decisivo nello sviluppo della scienza, e questi esperimenti possono essere raccontati in classe sottoforma di storia.

Nel definire un esperimento mentale come una ricostruzione immaginativa di un fenomeno naturale, con lo scopo di chiarificare i concetti scientifici o rispondere alle domande degli studenti, e considerando che le sequenze di apprendimento potrebbero anche essere strutturate come ricostruzioni, Klassen (2006) fa notare che è ragionevole vedere gli esperimenti mentali come sequenze di apprendimento. Quindi, ciò che è importante in questo contesto è capire che, anche se l'obbiettivo formativo è quello di far capire l'argomento logico alla base (ovvero la componente scientifica) dell'esperimento mentale, è la narrativa (quindi la componente umana) che aiuta lo studente a trovare il significato delle cose.

f) Narrativa come strumento per accrescere la consapevolezza ambientale – Nonostante che il rapporto tra educazione scientifica ed educazione ambientale sia stato contestato in passato (Ashley, 2000; Gough, 2002, 2008) prospettive postmoderne sulla scienza e sull'educazione scientifica rendono questo connubio plausibile (Jenkins, 2009). Tuttavia, fintanto che l'educazione ambientale è accessibile, la narrativa è considerata una strategia efficace nei casi in cui l'esperienza diretta non sia possibile oppure quando le conseguenze delle proprie esperienze siano negative o indesiderabili (De Young, Monroe, 1996; Hadzigeorgiou, Prevezanou, Kabouropoulou, Konsolas, 2010). La domanda principale resta come inserire temi ambientali all'interno di un racconto che contiene già argomentazioni scientifiche, contesto umano e idee sulla natura della scienza. Generalmente, le strategie adottate sono due: (a) infondere meraviglia verso le idee scientifiche e loro interconnessioni con la trama della storia e (b) raccontare la storia dell'universo. Riguardo quest'ultimo punto, una storia contenente l'evoluzione dell'universo sin dal Big Bang (Swimme, 1988), può dare un importante contributo alla consapevolezza ambientale, aiutando gli studenti ad avere una prospettiva ampliata che include anche l'ambiente naturale.

2.4 Conclusioni del secondo capitolo

Abbiamo visto come il podcasting, attraverso metodi comprovati, rappresenti un ottimo ausilio didattico su molti fronti. Attraverso la sua possibilità di comunicare efficacemente con gli

studenti, unito all'evidente entusiasmo che questo manifesta per gli stessi, riteniamo possa essere un'efficace alternativa alle lezioni tradizionali per ovviare ai fraintendimenti di natura cognitiva che minano a una completa comprensione della fisica in quanto tale. Tutti questi elementi riteniamo possano portare a un tipo di didattica più intuitiva e diretta, secondo quanto ci eravamo prefissati di trovare alla fine del primo capitolo. Tutte queste considerazioni acquisiscono maggiore valore se consideriamo l'importanza che ha la narrativa in ambito di didattica scientifica, secondo quanto discusso nel §2.3.

Tuttavia, se limitato soltanto all'ambito scientifico, e in particolare alla fisica, la letteratura proposta in questo paragrafo si riduce a considerare il podcast in ambito pedagogico come consolidatore delle conoscenze o come mezzo per approfondire i temi trattati a lezione. Riteniamo, invece, che l'impiego del podcasting possa essere esteso su scala maggiore per quanto riguarda l'insegnamento della fisica e che un maggior numero di metodi debbano essere comprovati. Infatti, abbiamo visto come l'ascolto di podcast aumenti la comprensione relativa all'analisi del testo, o come l'uso più efficace dei podcast passi attraverso le lezioni più difficili e ricche di contenuti (p. 40): riteniamo che entrambi i fattori siano essenziali per comprendere più attentamente un argomento di fisica, essendo questa una materia, come già menzionato, notoriamente considerata dagli studenti come difficile e avente un gran numero di nozioni. Inoltre, altri aspetti positivi conseguenti l'ascolto di un podcast e che riteniamo possono essere molto utili per un approccio positivo alla materia sono: ricerca, *problem solving* (p.42), aumentare l'interazione con l'insegnante (p. 43), consolidazione dell'apprendimento e dell'apprendimento autonomo, miglioramento della capacità di ascolto, aumento del comportamento positivo degli studenti, aumento dell'interesse e della motivazione nell'insegnare e nell'imparare, accettazione da parte degli studenti come risorsa didattica, aumento dell'autocoscienza e della metacognizione e creazione di ambienti di lavoro unici (p. 44). Gli ultimi aspetti di carattere motivazionale sono stati introdotti perché, sempre in riferimento al primo capitolo di questa tesi, la fisica, oltre che a essere percepita come difficile, è anche considerata perlopiù noiosa e vuota di contenuti e questo, ovviamente, rappresenta un grosso ostacolo per la didattica della materia stessa.

Quanto appena detto, a nostra opinione, viene amplificato se consideriamo che i podcast trattanti temi di fisica e astronomia sono tra quelli più ascoltati (come descritto nel §2.1.1, p. 38-39). Molto probabilmente la materia viene percepita come difficile e noiosa fintanto che si

mantengono i canoni della lezione tradizionale, ma una volta che questa viene raccontata attraverso un podcast acquista il suo fascino agli occhi del pubblico (ed è un fascino, almeno così sembrerebbe, molto forte). È molto probabile, quindi, che il podcast si presenti come un'ottima alternativa alla lezione tradizionale per ovviare alle misconcezioni di natura cognitiva già discusse nel capitolo 1 e sono necessari, pertanto, ulteriori studi che investighino differenti modi di approcciarsi attraverso i podcast agli studenti, in maniera da tirare fuori a pieno ogni potenziale.

Anche l'utilizzo di un libro game come risorsa didattica di stampo scientifico si è rivelato molto funzionale e sicuramente degno di interesse. Così come i podcast, anche tutte le funzionalità dei libri game sono confermate da quanto esposto in tema di narrazione scientifica. Il potenziale dei libri game di fronte alle materie percepite come più difficili può, a nostro parere, avanzare l'ipotesi di un podcast interattivo dove, alla fine di ogni episodio, l'ascoltatore è messo a confronto con delle prove o dei quesiti che gli vengono proposti per confermare o avvalorare quanto discusso precedentemente. Nel caso di un podcast di fisica, allo studente potrebbero essere presentati sia esperimenti scientifici sia rompicapi da risolvere in attesa dell'episodio successivo. Se davvero questa ipotesi si rivelasse valida, il risultato rappresenterebbe un'efficace sintesi tra i metodi didattici avanzati mediati libri game e quelli mediante i podcast, includendo i vantaggi di entrambi gli strumenti pedagogici. Questo porterebbe, a nostro parere, a una risorsa didattica i cui vantaggi potrebbero essere superiori a quelle analizzate durante tutto il corso di questo capitolo.

Capitolo 3

Insegnare fisica: un libro aperto di pedagogia

Visti alcuni dei principali problemi che possono coinvolgere uno studente durante la sua fase di apprendimento della fisica, e una volta presentate alcune metodologie didattiche alternative alle lezioni tradizionalmente svolte nelle scuole italiane, siamo passati a cercare di coinvolgere il più possibile gli insegnanti sulla questione e, allo stesso tempo, cercare di raccogliere più informazioni possibili in maniera da completare il quadro (quali siano le cause legate alla difficoltà della fisica come materia scolastica e, al contempo, le conseguenti possibili soluzioni al problema, è, infatti, ancora materia di discussione). Per far ciò, abbiamo deciso di creare *Insegnare Fisica*, un libro condivisibile online (e modificabile dagli utenti) dove presentare molti dei temi visti nei primi due capitoli e dove raccogliere le esperienze degli insegnanti e degli studenti in maniera da riuscire ad ottenere un insieme di informazioni il più possibile dettagliato sulle difficoltà che un alunno può incontrare nello studiare la fisica e la matematica. L'obiettivo finale è quello di rielaborare queste informazioni in maniera da ottenere un vero e proprio manuale di didattica disciplinare, che mira a catalogare in maniera dettagliata molte delle difficoltà che i discenti normalmente riscontrano nell'imparare la fisica, oltre a fornire nozioni sulla psicologia cognitiva legata all'apprendimento e sulle metodologie di didattica diverse da quella normalmente usate nelle scuole.

La piattaforma scelta dove avviare il progetto è Wikibooks (https://it.wikibooks.org), un portale online simile a Wikipedia, ma dove vengono condivisi libri di testo anziché articoli enciclopedici. Wikibooks, infatti, presenta un'interfaccia facilmente gestibile da qualsiasi tipologia di utente ed è ad accesso libero, il che permette una facile raccolta di informazioni e un'agevole gestione delle medesime. Inizialmente il libro sarà redatto da noi, in maniera da rappresentare già una lettura organica e di interesse per chiunque abbia intenzione di insegnare fisica alle superiori o ai primi anni di università, e successivamente attenderemo modifiche o integrazioni da parte degli utenti, in maniera da poterle successivamente rielaborare. La speranza maggiormente attesa è quella che il libro possa continuare ad essere redatto anche

dopo la conclusione di questa tesi di laurea, in maniera da rappresentare una solida fonte di ispirazione per ricerche in ambito pedagogico anche negli anni a venire.

Lo scopo di questo capitolo sarà quindi quello di descrivere dettagliatamente il processo di creazione di questo *wikibook* e le motivazioni che hanno portato alla sua ideazione.

3.1 Il formato wiki e i tratti generali del progetto

Gli e-book (o libri elettronici) sono "libri composti o convertiti nel formato digitale per essere visualizzati su uno schermo per computer o su un dispositivo mobile" (Merriam-Webster, 2007). Risparmiare sul costo di carta e stampa e minimizzare il processo di produzione sono solo alcuni dei vantaggi rispetto a un libro tradizionale: gli e-book possono essere anche cercati online, consentono annotazioni al loro interno di più facile gestione e possono contenere link esterni e contenuti multimediali. I libri digitali non occupano spazio fisico e possono essere consultati anche online, permettendo di evitarne il trasporto fisico.

Il formato *wiki* ha già conquistato il globo specialmente attraverso lo sviluppo di Wikipedia, dal momento che molte persone la usano quotidianamente come enciclopedia online. Dalla stessa Wikipedia è possibile trovare la definizione di wiki: "Un wiki è un'applicazione web che permette di aggiungere, modificare o cancellare contenuti in collaborazione con altri utenti. I testi sono di solito scritti usando un linguaggio di markup[1] semplificato o un editor di testo".

Anche se wiki è un tipo di sistema di gestione dei contenuti, si differenzia da un blog o dalla maggior parte degli altri sistemi dal fatto che il contenuto è creato senza definire alcun proprietario o leader, e dal fatto che ha una piccola struttura implicita, permettendo così che questa emerga in accordo con le esigenze degli utenti (Wikipedia c, 2025). In pratica, un *wiki* è una raccolta di pagine di testo contenute in un database che è mostrata all'utente attraverso il software wiki non appena egli, attraverso il suo browser, clicca nei vari link dedicati nella

[1] Il *linguaggio di markup* (in italiano *linguaggio di marcatura* o *linguaggio di formattazione*) è un insieme di regole che descrivono i meccanismi di rappresentazione (strutturali, semantici, presentazionali) o d'impaginazione di un testo; facendo uso di convenzioni rese standard, tali regole sono utilizzabili su più supporti. Perciò, la tecnica di formattazione con marcatori (detti *espressioni codificate*) richiederà una serie di convenzioni, proprie appunto di un linguaggio a marcatori di documenti (Wikipedia d, 2025).

pagina web (Petersen, Udby, 2016). Tra le piattaforme che utilizzano un formato wiki compare anche quella utilizzata nel nostro progetto, *Wikibooks*.

Wikibooks, inizialmente chiamato *Wikimedia Free Textbook Project* e *Wikimedia-Textbooks*, è un progetto multilingue per la redazione di libri di testo, manuali, libri commentati, dal contenuto libero e gratuito, sviluppati in forma collaborativa. Il suo obiettivo è pertanto la realizzazione di una "biblioteca" composta da e-book, di taglio divulgativo e/o didattico, scritti dagli utenti stessi. Wikibooks mira ad aiutare l'autoapprendimento e il suo principale obiettivo è proprio quello di rendere disponibile materiale didattico liberamente fruibile a chiunque. La particolare configurazione di Wikibooks rende il progetto ideale sia per i giovani, che leggendo e contribuendo possono fare esperienza di un progetto wiki e allo stesso tempo studiare, sia per i più anziani che possono collaborare alla scrittura e alla revisione dei contenuti, dando maggiore attendibilità ai testi stessi. I contenuti del sito vengono rilasciati secondo le condizioni delle licenze CCBY-SA e, se non indicato diversamente, GFDL: in questo modo, i contributi rimangono di proprietà dei creatori, e la licenza copyleft garantisce che i contenuti rimarranno sempre liberamente distribuiti e riproducibili (Wikibooks, 2024).

Wikibooks è stato avviato il 10 luglio 2003 in seguito a una richiesta del wikipediano[2] Karl Wick di avere uno spazio dove realizzare dei libri di testo *open content*[3], ad esempio per la chimica organica o per la fisica, al fine di ridurre costi e altre limitazioni inerenti ai materiali di apprendimento. Alcuni dei primi libri erano completamente originali, altri testi copiati da fonti libere presenti nel web. Attualmente, il più grande progetto è in lingua inglese, mentre la versione italiana conta al momento (ottobre 2024) 17.916 pagine di 618 libri dagli argomenti più differenti: dalla matematica all'informatica, dalla filosofia alla letteratura, dalle lingue ai libri per bambini e pre-lettori. Wikibooks è progetto della Wikimedia Foundation, organizzazione senza scopo di lucro per la diffusione della conoscenza libera nel modo, che gestisce anche progetti come Wikipedia e Wikisource (Wikibooks, 2024).

Un problema comune con libri di testo che non sono in formato ipermediale (come un libro stampato o un normale file di testo) è che non sono facilmente e immediatamente aggiornabili.

---

[2] Con il termine "wikipediano" si intende qualsiasi tipologia di utente che collabora al progetto Wikipedia scrivendone e modificandone le voci (Wikipedia, 2024).

[3] Un contenuto aperto (dall'inglese *open content*, coniato in analogia con *open source*) descrive un qualsiasi tipo di lavoro creativo, o contenuto, pubblicato sotto una licenza libera che permette esplicitamente la copia e la modifica da parte di qualcun altro. Il contenuto aperto è un paradigma alternativo all'uso del diritto di autore per creare monopoli; piuttosto che condurre a un monopolio, il contenuto aperto facilita la democratizzazione della conoscenza (Wikipedia b, 2024)

Quando si usa un ipermedia quale un libro di testo wiki (o wikibook) la “versione recente” può essere quella accessibile e condivisa. Questo è un vantaggio per i lettori ma può rivelarsi una difficoltà per gli autori (Lin, Bonk, Sajjapanroj 2008). Se gli studenti hanno accesso alle modifiche dei contenuti sia direttamente che attraverso una pagina riservate ai commenti, possono contribuire facilmente al miglioramento e all’aggiornamento del libro di testo e, in questo modo, il wikibook si comporta come una piattaforma integrata di comunicazione e di insegnamento.

Come avviene per qualsiasi ipermedia, i contenuti di un wikibook possono essere estesi attraverso collegamenti a riferimenti interni o esterni. È bene tenere presente, tuttavia, che, essendo un libro a tutti gli effetti, il wikibook deve comunque avere una struttura dei contenuti ad albero, con capitoli, paragrafi e sottoparagrafi. Alcuni formati wiki permettono solo strutture dei contenuti piatte, mentre altre permettono strutture a livelli. La struttura è garantita dagli autori in termine dei collegamenti interni aggiunti tra le varie pagine del libro. È quindi importante mantenere uno schema del materiale e una panoramica della struttura in un wikibook, poiché potrebbe essere difficile ristrutturare i contenuti in una fase successiva (Petersen, Udby, 2016).

Il nostro progetto prevede quindi l’interazione da parte di docenti e studenti con un e-book condivisibile online, facile da modificare e accessibile a tutti e che raccolga il maggior numero possibile di esperienze in ambito di didattica della fisica (e, in parte, anche della matematica).

Il nostro approccio metodologico è ispirato a quello condotto da Arnold B. Arons il quale, per circa vent’anni, raccolse le testimonianze dei membri della comunità degli insegnanti di fisica inerenti a ricerche e osservazioni sistematiche sull’apprendimento e sulla comprensione dei concetti, dei modelli e delle linee di pensiero della fisica. Alcuni di questi lavori iniziarono con ricerche su aspetti più generali riguardanti lo sviluppo della capacità di ragionamento logico astratto, o finirono per confluirvi in un secondo tempo.

Un’altra fonte di importanza rilevante per il lavoro di Arons fu il colloquio diretto con gli studenti, così come l’analisi delle risposte scritte degli stessi in occasione di verifiche o di esami. Il risultato fu un libro di 447 pagine contenente la rielaborazione di testimonianze da parte di un vastissimo numero di persone coinvolte nel settore pedagogico della fisica e con lo scopo di proporre una guida all’insegnamento della stessa rivolto a tutti di docenti delle scuole secondarie di secondo grado e dei primi anni di università.

Il lavoro che vogliamo proporre non è certo lo stesso di Arons, troppo dettagliato e approfondito per i tempi che ci sono stati proposti. Ma di sicuro rappresenta, tradotto in chiave multimediale e digitale, l'apporto iniziale agli studi condotti da Arons, in particolare per quanto concerne la raccolta di opinioni dei docenti e degli studenti sulle esperienze didattiche. Ovviamente, speriamo che il progetto possa proseguire negli anni, oltre l'elaborazione di questa tesi di laurea, in maniera che i suoi contributi possono divenire via via sempre più significativi e sempre più di rilevanza pedagogica. Uno dei nostri scopi principali sarà quindi, innanzitutto, quello di verificare se il progetto è attuabile, ovvero se riceverà la giusta partecipazione da parte dei docenti e degli studenti italiani e se si riuscirà a ottenere il giusto valore dai contributi. La creazione di un wikibook di questo tipo, infatti, non è mai stata attuata, e la sua efficacia non è ancora certa. La rielaborazione del materiale scritto presente nell'e-book, così come la periodica revisione dei contenuti, saranno entrambe effettuate durante l'arco del nostro lavoro, ma la rielaborazione finale a fini pedagogici, con ricerche sulla didattica della fisica annesse, devono per forza essere delegate a un seguito.

Terminiamo elencando le principali motivazioni che rendono il formato wiki utile per scopi didattici, rivolto sia a studenti che a insegnanti (Petersen, Udby, 2016):

- Vi si può accedere ovunque e in qualsiasi momento.
- È aggiornabile continuamente in maniera facile e flessibile.
- È rintracciabile globalmente, a differenza dei formati non digitali.
- È facile condividere pagine specifiche attraverso collegamenti.
- Wikipedia è largamente utilizzato e quindi il formato wiki dovrebbe essere facilmente accessibile per molti studenti/insegnanti.
- Il formato wiki è largamente usato per lo scambio di informazioni tra i giovani. Infatti, Wikipedia è principalmente gestita dai giovani: il 53% dei wikipediani hanno meno di 30 anni di età e solo il 28% degli utenti supera i 40 anni (Wikipedia d, 2025)
- Il formato wiki supporta una piattaforma integrata di comunicazione e insegnamento tramite la pagina di discussione.
- I contenuti in un formato wiki possono essere strutturati se necessario
- È user-friendly come piattaforma multimediale digitale, poiché tutto ciò che serve è un browser, rendendola così (in gran parte) indipendente dal dispositivo e dal

sistema operativo dell'utente. Questo è in contrasto con molti altri software multimediali che spesso devono essere installati su un dispositivo o su un sistema operativo.

- Non è costoso da produrre o da distribuire

3.2 La struttura del wikibook

Il libro è diviso in cinque capitoli principali, che a loro volta si dividono in altri sottocapitoli. Ogni capitolo si differenzia per finalità pedagogiche, e ciascuno di essi può completamente essere modificato dagli utenti. Riportiamo, di seguito, i titoli dei cinque capitoli elencandone le principali caratteristiche:

1. *Basi cognitive*: In questo capitolo vengono esposti alcuni degli argomenti riguardanti le scienze cognitive e il processo di apprendimento della fisica. In particolare, si fa riferimento ai lavori di Vallortigara, Kanheman, Twersky, Rizzolatti, Sloman, Robin Dunbar, McCloskley e diSessa, la maggior parte dei quali già citati nel primo capitolo di questa tesi. Vengono esposti anche alcuni modelli di acquisizione della conoscenza. Ci aspettiamo che questo capitolo avrà, tendenzialmente, più contributi da parte di scienziati cognitivi che da parte dei docenti, essendo quest'ultimi meno preparati sull'argomento. Rappresenta, tuttavia, una buona fonte di ispirazione per chiunque voglia insegnare fisica e riteniamo che possa condurre molti insegnanti verso nuove tecniche di insegnamento che potranno successivamente trascrivere nelle sezioni del wikibook indicate. Inoltre, forse, anche gli stessi studenti potrebbero capire qualcosa in più su loro stessi e sulla loro maniera di apprendere. I sottocapitoli inerenti sono i seguenti: Fisica intuitiva, La teoria del doppio processo del pensiero e le euristiche cognitive, Il Force Concept Inventory, Embodiment, L'illusione della profondità esplicativa e l'illusione della conoscenza, Attenzione e riflessione, Peer Istruction, Le "dimostrazioni" e la magia, Modelli di acquisizione della conoscenza, Difficoltà legate a temi specifici. Tratteremo i temi contenuti in alcuni di questi sottocapitoli nel corso del §3.3.

2. *Didattica Tradizionale*: Questo capitolo contiene suggerimenti e avvertenze legate a qualsiasi aspetto della didattica intesa in senso "tradizionale". Con il termine tradizionale, in questo caso, indichiamo quel tipo di didattica della fisica che più facilmente può essere accostata a quella praticata attualmente all'interno delle scuole italiane: questa

comprenderà, in parte, una lezione frontale, un libro di testo con esercizi da fare sia in classe che a casa e certe tipologie di argomenti svolti.

Il capitolo è diviso in altri 13 sottocapitoli, ciascuno riguardante un ben preciso argomento di fisica che viene trattato nelle scuole secondarie di secondo grado (fatta eccezione per il primo, che comprende le basi matematiche con cui si studia la fisica dei sottocapitoli successivi): Aspetti introduttivi, Cinematica, Dinamica, Quantità di moto ed energia, Fluidi, Calore e termodinamica, Elettrostatica, Circuiti, Elettromagnetismo, Onde, Ottica, Relatività ristretta e Primi elementi di meccanica quantistica. A questi 13, è stato aggiunto un altro dal titolo "Didattica generica da svolgere in classe" dove vengono presentati elementi di pedagogia che non sono rivolti a un argomento di fisica specifico, ma piuttosto a un contesto didattico più generale (come correggere un compito scritto su un qualsiasi argomento, progettare una lezione in senso generale, ecc.). "Didattica tradizionale" rappresenta sicuramente il capitolo dove gli insegnanti avranno maggiore possibilità di interazione, essendo questo lo spazio dell'e-book più vicino ai temi della vita scolastica.

3. *Fisica quotidiana*: Questo capitolo comprende esperimenti ed esperienze di fisica che riguardano la vita di tutti i giorni o che utilizzano materiale reperibile in ambito domestico e quindi possono essere facilmente replicati dagli studenti o dagli insegnanti in classe. Questo tipo di trattazione degli argomenti non rappresenta una vera e propria sostituzione della didattica tradizionale, ma riteniamo possa costituire un valido supporto per completarne o rafforzarne le conoscenze, grazie anche alla sua particolarità di riuscire ad includere più tematiche di fisica contemporaneamente. Pertanto, pensiamo che non debba essere messa in secondo piano all'interno di un libro che tratta di temi pedagogici in ambito fisico.

4. *Narrazione della fisica*: Questo capitolo comprende esempi di narrazione della fisica, ovvero fisica esposta per via narrativa principalmente a fini divulgativi e di orientamento, ma anche come supporto alle lezioni tradizionali. È un tipo di divulgazione della fisica come quella che abbiamo visto nel secondo capitolo di questa tesi. Molti dei contenuti del secondo capitolo di questo elaborato, infatti, sono stati trasposti all'interno del wikibook, proprio nel capitolo "narrazione della fisica". "Narrazione della fisica" è diviso in cinque sottocapitoli: Interviste impossibili (poodcast di carattere storico contenente le biografie di alcuni dei fisici più importanti della storia), Sfide, Video, Podcast

(il cui contenuto è principalmente quanto è stato trattato sui podcast nel capitolo 2 di questa tesi), Siti web (elencheremo i contenuti di questi sottocapitoli nel §3.3).

5. *Temi disciplinari*: riteniamo che i vari argomenti trattati nei precedenti capitoli siano tutti di primaria importanza per lo svolgimento di una didattica completa di un preciso argomento di fisica. Pertanto, è sorta la necessità creare un collegamento che raccogliesse in un unico sottoparagrafo tutte le pagine dei precedenti capitoli che trattano uno specifico tema. Abbiamo inserito tutti questi collegamenti all'interno di un unico capitolo, chiamato, appunto, "Temi disciplinari". Lo scopo è ovviamente quello di evitare all'insegnante che sta trattando un particolare argomento in classe di passare da un capitolo all'altro dell'e-book ricercando ogni volta il suddetto argomento, ma piuttosto di collegarsi direttamente su "Temi disciplinari", cliccare sul tema ricercato e avere quindi a disposizione tutti i link dei capitoli corrispondenti (la stessa procedura è dedicata anche, ovviamente, a uno studente interessato). Il numero di sottocapitoli presente in questa sezione è estremamente elevato e pertanto eviteremo di elencarne tutti i titoli. La gestione e la modifica di questo capitolo sono, ovviamente, unicamente delegati agli autori di questa tesi, dal momento che il capitolo presenta soltanto aspetti tecnici e non ha nessun valore di divulgazione pedagogica.

Questo tipo di classificazione degli argomenti è stata scelta in maniera da poter restituire una trattazione dell'esperienza didattica il più ricca e approfondita possibile: grazie a questa tematizzazione, infatti, è possibile conoscere, una volta che il libro sia completato, le difficoltà che gli studenti incontrano a seguito dell'argomento trattato (così come di solito viene proposto all'interno delle classi nella scuola italiana) unite a tutti i preconcetti che gli alunni di solito hanno nei riguardi dello specifico tema (che siano questi di natura cognitiva o meno). A completamento di questi supporti alla didattica tradizionale, il libro contiene anche molti suggerimenti di didattica alternativa (proposti nei capitoli 3 e 4) che possono fungere da supporto (se non addirittura da sostituto) alle normali lezioni. Riteniamo quest'ultimo tipo di didattica sia molto importante, se non addirittura fondamentale, perché, come abbiamo già visto nel capitolo 1 di questa tesi, molti dei concetti proposti nelle lezioni di fisica vengono spesso confusi e, col tempo, dimenticati dagli studenti. Tecniche di insegnamento alternative,

in parte già viste nel secondo capitolo di questa tesi, sono fondamentali per una completa riuscita della didattica.

Infine, l'ultimo capitolo del wikibook sarà quello che, molto probabilmente, si rivelerà più utile agli insegnanti: come già detto, permetterà un collegamento diretto alle basi cognitive correlate, così come ai suggerimenti didattici ed esperimenti tradizionali, esperienze di fisica quotidiana e narrazione legati a un tema specifico, che possono stimolare gli studenti o costituire spunti per lavori collettivi

3.3 Prima realizzazione del wikibook

Il wikibook è stato inizialmente scritto da noi, partendo dal capitolo 2 (didattica tradizionale) e quindi iniziando a elencare i primi suggerimenti e integrazioni alla normale didattica svolta in classe, ritenuti da noi gli argomenti di maggiore interesse per il pubblico di riferimento del libro (ovvero gli insegnanti e gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado) e quindi degni di una certa priorità. Da sottolineare che il capitolo fa soltanto riferimento a *suggerimenti* o *integrazioni* alla didattica tradizionale, e quindi esula dal descrivere completamente quest'ultima, che sicuramente si rivelerebbe un lavoro troppo lungo. La didattica tradizionale viene bensì data per scontata, e quello che si propone di fare è restringere il campo a qualche correzione o qualche aggiunta alla stessa in maniera da poterne migliorare (a volte anche in maniera considerevole) i risultati. È quindi fuori dagli scopi anche una didattica alternativa, che piuttosto può essere trattata in altri capitoli, come ad esempio il capitolo 3 (fisica quotidiana) o il capitolo 4 (narrazione della fisica).

Essendo la varietà degli argomenti trattati piuttosto vasta (come già menzionato, 11 sottocapitoli a loro volta suddivisi in altri paragrafi e sottoparagrafi) e ritenendo che un certo quantitativo di testo fosse necessario in questo capitolo per poter attirare l'attenzione iniziale di un certo numero di utenti, è stato deciso di iniziare con la stesura di una trattazione riassuntiva di "Guida all'insegnamento della fisica" di Arnold B. Arons (1992), i cui temi generali abbiamo già discusso precedentemente (§3.1. p. 71-72). Sono stati riassunti quasi tutti i capitoli del libro di Arons relativi agli argomenti d'interesse, a eccezione dei temi ritenuti esclusivamente di livello universitario o di quelli che comunque esulano dal programma di solito seguito dalle scuole italiane. È stato inoltre introdotto anche qualche elemento relativo a

“Didattica della Fisica” di U. Besson (2017). Grazie a questo intervento, è stato possibile esporre una prima stesura introduttiva del capitolo 2 del wikibook, con ciascun sottocapitolo comprendente in media due paragrafi con circa 2000-3000 caratteri ciascuno.

Sono stati introdotti, per ogni sottocapitolo legato a un tema specifico di fisica, anche due paragrafi inerenti alla didattica in laboratorio e software utili in ambito dell’insegnamento. Il primo è stato aggiunto per raccogliere il più possibile esperienze da effettuare con gli studenti all’interno dei laboratori scolastici, il secondo per poter ottenere spunti utili in ambito di software che possono aiutare l’apprendimento a fronte dei vari argomenti trattati. Entrambi i sottocapitoli sono stati lasciati perlopiù senza contenuti, dal momento che entrambi racchiudono tematiche che, prevalentemente, non sono analizzate né in “Didattica della fisica” di U. Besson né in “Guida all’insegnamento della fisica” di A. Arons, con la speranza che vengano compilati in un secondo tempo dagli insegnanti che parteciperanno al progetto.

La seconda parte del lavoro ha compreso interventi sia nel capitolo 1 che nel capitolo 4, dove sono stati inseriti principalmente passi riassuntivi inerenti a quanto trattato nei precedenti capitoli di questa tesi.

Come già menzionato, il capitolo 1 (basi cognitive) del wikibook contiene molti dei temi discussi nel capitolo primo di questo lavoro, e pertanto la maggior parte dei concetti esposti in quest’ultimo sono stati ritrascritti o riassunti. In aggiunta a questi, abbiamo trattato anche i seguenti argomenti:

- Embodiment – In questo paragrafo viene discussa la tendenza dell’essere umano ad associare il concetto di forza allo sforzo muscolare o, più genericamente, all’*intenzionalità* di un atto osservato, oltre che ulteriori aspetti della nostra percezione, come ad esempio la nostra inclinazione a credere che la luce arrivi sempre da sopra di noi, o come la nostra scansione destra-sinistra.
- Peer Istruction – Un metodo di lezione alternativa che prevede una maggiore partecipazione degli studenti nel processo didattico.
- Le “dimostrazioni” e la magia – In questo paragrafo si fa riferimento allo scetticismo degli studenti nei confronti di quello che hanno imparato nelle lezioni di fisica, e alla conseguente necessità di poter avvalorare quanto precedentemente appreso. A tal fine, vengono proposti alcuni metodi didattici alternativi alla lezione frontale. Parte di

questi metodi li descriveremo più avanti quando parleremo della stesura del capitolo 4 (narrazione della fisica).

- Modelli di acquisizione della conoscenza – Qui vengono elencati e descritti i principali modelli di acquisizione delle conoscenze da parte di un individuo, in particolare il “comportamentismo”, lo “strutturismo”, il “cognitivismo” e il “costruttivismo”.

Si è poi passati alla stesura dell’ultimo capitolo, il quinto, relativo ai temi disciplinari. È stato deciso di dividere tutto il capitolo in 37 sottocapitoli inerenti a temi disciplinari differenti, anche se questa divisione sarà probabilmente aggiornata in seguito. Ciascun sottocapitolo è stato poi diviso in altri quattro paragrafi, ciascuno denominato come i capitoli precedenti del wikibook: Basi cognitive, Didattica tradizionale, Fisica quotidiana e Narrazione della fisica. All’interno di ciascun paragrafo è stato infine inserito ogni tipologia di link inerente al tema trattato dal sottocapitolo. Ciascun link collega direttamente a una pagina del libro indicata dal titolo del paragrafo. Si è cercato di inserire quanti più sottocapitoli possibile in maniera da riuscire a differenziare maggiormente gli argomenti e, ovviamente, si è cercato anche di introdurre all’interno del paragrafo, per quanto possibile, tutti i temi trattati nel capitolo corrispondente.

Il lavoro esposto fino ad ora sul quinto capitolo non si tratta di un episodio isolato, limitato all’intervallo di tempo dedicato alla prima stesura del libro, ma piuttosto un’operazione continuativa che si estende a tutto il periodo di sviluppo del wikibook. I “Temi disciplinari” e tutto ciò che contengono dovranno di volta in volta essere aggiornati, a seguito di ogni nuova modifica del libro. Come già detto precedentemente, saremo quasi esclusivamente noi a occuparci della stesura così come dell’aggiornamento di questo capitolo.

Il passo successivo è stato quello di occuparsi del capitolo 3 (Fisica quotidiana) e del capitolo 4 (Narrazione della fisica). Per quanto riguarda i temi integrati nel capitolo 3, sono essenzialmente esperienze condotte in varie scuole secondarie di secondo grado della Toscana da Bagnoli (2017) al fine di istruire gli studenti coinvolti con esperimenti di fisica di facile riproduzione (cioè, principalmente, utilizzando materiali e oggetti facilmente reperibili anche in ambito domestico). Questi esperimenti hanno, inoltre, la caratteristica di non prevedere la raccolta di dati sperimentali e la loro elaborazione (come avviene di solito nella didattica tradizionale), ma si limitano semplicemente a mostrare dei fatti fisici con lo scopo di stupire

e/o interessare lo spettatore, oltre che istruirlo sulla natura del fenomeno fisico coinvolto. Le esperienze introdotte di questo tipo sono state (Bagnoli, 2017):

1. “L’affondamento del Titanic” dove, attraverso l’utilizzo di acqua, di un bicchiere e di altri oggetti viene messo in evidenza il principio di Archimede;
2. “Palombaro in bottiglia” dove, attraverso l’utilizzo di oggetti come un tappo di penna Bic Crystal e una bottiglia di plastica si trattano temi quali pressione, spinta di Archimede, legge di Boyle-Mariotte e la legge di Stevino;
3. “Acqua nella rete”, nel quale vengono analizzati vari principi di meccanica dei fluidi, tra cui la tensione superficiale e il principio dei vasi comunicanti;
4. la “Scopa equilibrista” che, attraverso l’utilizzo di una scopa, mette in evidenza le proprietà del centro di massa di un corpo, del momento delle forze e dell’attrito radente;
5. Il “rimbalzo a catena” che prevede l’utilizzo di diversi oggetti di forma sferica (palle da basket, da pallavolo, da ping-pong ecc.) e attraverso il quale è possibile discutere della caduta dei gravi, degli urti elastici e della conservazione dell’energia;
6. “L’uccello bevitore” (o drinking bird), il cui principio di funzionamento permette di capire concetti legati all’evaporazione, alle macchine termiche, all’energia e all’umidità;
7. “Le foglie di tè” dove, attraverso la rotazione del tè all’interno di una tazza, è possibile affrontare molti argomenti legati alla fluidodinamica e il cosiddetto “paradosso delle foglie di tè”, citato da Albert Einstein in un articolo del 1926;
8. Il “palloncino ubbidiente” attraverso il quale, utilizzando un phon e un palloncino, è possibile introdurre concetti legati al modello cinetico dei gas, alla legge di Bernoulli, alla viscosità e all’effetto Venturi.
9. “L’effetto Magnus” detto anche effetto giro, dove si cerca di spiegare la variazione di traiettoria di un corpo rotante all’interno di un fluido (in particolare dell’aria).
10. Infine, il “Cannone a vortici” dove, attraverso uno strumento composto da un bidone di plastica e una membrana di gomma, si mette in evidenza il cosiddetto “effetto Bernoulli”.

Per quanto riguarda il capitolo 4 (Narrazione della fisica), invece, sono state introdotte molte sezioni concernenti perlopiù *interviste impossibili ai fisici del passato* (una raccolta di podcast inerenti a fisici del passato, andati inizialmente in onda su NovaRadio, una radio

comunitaria dell'area fiorentina, e poi raccolte in due volumi edite da Apice libri), ludicizzazione della fisica, libri consigliati per la didattica e materiale reperibile online per l'insegnamento della fisica, tra cui principalmente video e siti web. È stata introdotto anche un sottocapitolo inerente alla didattica della fisica che passa attraverso l'utilizzo di podcast, del quale, tuttavia, eviteremo di parlare in questa sede, dal momento che i contenuti sono gli stessi già trattati nel capitolo 2 del presente lavoro.

I temi inerenti la ludicizzazione del capitolo 4 del wikibook comprendono: la magia e la fisica, con in particolare il lavoro svolto da Bagnoli (2017) e Bagnoli, Guarino e Pacini (2018); *Il taccuino del Dr. Watson* (Bagnoli, 2018), un libro giallo che è stato anche distribuito dalla Regione Toscana, nell'ambito del Pianeta Galileo, in varie scuole; libri game a scopo didattico, contenente in particolare una versione libro-game del taccuino del Dr. Watson in formato digitale (Bagnoli, 2020); e infine "la fisica dei paperi" o "il diario segreto di Quo" dove, prendendo spunto da alcune delle avventure di Paperon dé Paperoni (riprese essenzialmente dalle opere di Carl Barks e Don Rosa) si cerca di introdurre concetti di fisica trovando i casi in cui questi vengono violati all'interno dei suddetti racconti Disney (Bagnoli, 2016).

Per quanto concerne la sezione "video" del capitolo 4 sono stati inseriti link multimediali indirizzati a siti web contenenti video disciplinari sulla fisica, in particolare:

1. "Physical Science Study Committee" disponibili in italiano (prodotti da Esso) su YouTube. Il Physical Science Study Committee (PSSC) è stato un comitato scientifico istituito presso il Massachussetts Institute of Tecnology di Boston nel 1956 con lo scopo di sottoporre a revisione l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria superiore. Il materiale didattico creato dal gruppo di lavoro è stato progettato per sottolineare i principi fondamentali della fisica, in modo da favorire la comprensione anziché la memorizzazione, così da rendere la materia più interessante per gli studenti (Wikipedia e, 2024).
2. National Committee for Fluid Dynamics films o NCFMF (https://web.mit.edu/hml/ncfmf.html), una raccolta di 39 video e relativi testi con lo scopo di insegnare la meccanica dei fluidi, creata da Asher Shapiro nel 1961 in cooperazione con Education Depelovement Center[4].

[4] Education Dvelopement Center (EDC), fondata nel 1958, è un'organizzazione no-profit con lo scopo di migliorare la didattica, promuovere la salute ed espandere le opportunità economiche attraverso gli Stati Uniti e in più di 80 altri paesi nel mondo. Con sedi in Waltham, Massachusetts, Washington, D.C., New York e Chicago, conta circa 1.400 impiegati in tutto il mondo (Wikipedia f, 2024).

3. MIT PhisicsIsFun (https://www.youtube.com/@physicsisfun_official), un canale di YouTube inerente alla divulgazione della fisica.

4. Physics classroom (https://www.physicsclassroom.com/Physics-Video-Tutorial), una raccolta di video e altro materiale per aiutare gli studenti delle scuole secondarie di secondo grado a comprendere meglio la fisica studiata in classe.

5. Veritasium (https://www.veritasium.com/), un canale di video di scienza e ingegneria includenti esperimenti, interviste con esperti e discussioni con il pubblico su temi inerenti qualsiasi ambito scientifico (Veritasum, 2024)

6. Phisicsgirl (https://www.youtube.com/channel/UC7DdEm33SyaTDtWYGO2

CwdA) un canale YouTube creato da Dianna Cowern con lo scopo di divulgare aspetti generali della fisica utilizzando video inerenti esperimenti, dimostrazioni e nuove scoperte (Physics Girl, 2024).

I siti web introdotti nel quarto capitolo sono stati, invece, Fisica X (https://fisicax.complexworld.net/) e Science hobbist (https://www.eskimo.com/~billb/), entrambi siti contenenti materiali di divulgazione scientifica. Nell'ultimo paragrafo del capitolo 4, contenente i libri consigliati, sono stati introdotti: "The Flying Circus of Physics" di Jearl Walker, tutte le opere di Andrea Frova, "How to dunk a doughnut: the science of everyday life" di Len Fisher, "The physics of Star Trek" di Lawrence M. Krauss e "A qualcuno piace freddo. Temperatura, vita, materia" di Gino Segrè (Bollati Boringhieri, 2005).

Tutti i precedenti contenuti del libro appena esposti sono stati scelti in base al valore didattico che gli abbiamo attribuito, ovvero in base all'utilità che ciascun contenuto può avere all'interno di una lezione di fisica svolta in classe o nello studio personale di uno studente. Tale scelta si basa sulla nostra esperienza e, ovviamente, speriamo che una collaborazione futura da parte dei docenti e degli studenti, basata su criteri di valutazione simili, possa contribuire ad aggiungere ulteriori elementi in ciascuno dei capitoli del libro.

3.4 Elementi integrativi inseriti nel libro

Continuiamo con una breve descrizione di alcuni argomenti che abbiamo introdotto nel paragrafo precedente (p. 77-78), ma che non abbiamo esplicitamente trattato durante il corso di questo lavoro. Come già menzionato, sono tutti argomenti che verranno descritti in maniera

più approfondita all'interno del primo capitolo del wikibook. Abbiamo deciso di aggiungere anche alcuni elementi inerenti alla storia della didattica della fisica, che, oltre a completare alcune delle tematiche già esposte in questo elaborato, si riveleranno utili anche per comprendere gli argomenti successivi di questo paragrafo, in particolare la sezione inerenti ai *modelli di acquisizione della conoscenza*.

3.4.1 Introduzione alla storia della didattica della fisica

La fisica (conosciuta originariamente come "filosofia naturale") venne proposta nelle università e nelle scuole superiori fin dall'inizio dell'800, includendola nei piani accademici in gran parte per la sua utilità pratica e rilevanza nella vita di tutti i giorni. Tuttavia, solo in questo periodo le materie scientifiche iniziarono a ottenere una solida posizione nei curricula universitari, dopo una lunga resistenza da parte dei sostenitori dell'educazione "classica". Gli anni tra il 1860 e il 1884 rappresentano un periodo di transizione. All'inizio di questo lasso di tempo, l'istruzione era principalmente delegata ai libri di testo e passava prima di tutto attraverso la lezione, la "recitazione" (cioè, la letterale ripetizione dei contenuti dei libri di testo da parte degli studenti) e dimostrazioni occasionali date dall'insegnante. Anche se l'uso della matematica in questi libri era limitato, divenne sempre più comune trovare problemi pratici quantitativi alla fine dei capitoli, in contrasto con l'enfasi prevalentemente qualitativa dei testi precedenti. Fino alla fine di questo periodo, la didattica in laboratorio era molto rara, ma, attorno al 1880, cominciò sempre più a prendere piede. Il lavoro del discente all'interno dei laboratori didattici cominciò sempre di più ad apparire necessario per raggiungere i principali obbiettivi formativi. Il cosiddetto "metodo induttivo" (cioè il porre l'esecuzione e l'analisi degli esperimenti prima di qualsiasi enunciazione esplicita dei principi, e il porre quest'ultimi in relazione agli esperimenti effettuati) cominciò ad essere visto come essenziale (tuttavia, questa tendenza non rimase immutata: abbiamo ad esempio, agli inizi del '900 negli Stati Uniti, un tipo di istruzione molto più formale, con libri di testo fondati sulla matematica ed esperienze di laboratorio "sotto ricetta", ovvero con procedure stampate da eseguire al dettaglio) (Meltzer, Otero, 2015). La teoria dell'educazione dominante nella prima metà del ventesimo secolo è quella dell'attivismo e delle scuole nuove, le quali fanno riferimento alla motivazione, la socializzazione, l'antiautoritarismo, la sinergia fra scuola ed esperienza

ambientale e sociale, il rispetto del ritmo personale di apprendimento, basato sull'indagine e la risoluzione di problemi (Focardi, 2024). È in questo periodo che si può riconoscere l'avvio di alcune istituzioni di importanza rilevante e attive tutt'oggi: l'inizio del *Physics Education Research* (PER)[5] può essere attribuito alla seconda decade del XX secolo, mentre l'*American Association of Physics Teacher* (AAPT)[6] prende campo intorno al 1930 e l'*American Physics Teacher* (più tardi conosciuto come *American Journal of Physics*[7]) è stato per la prima volta pubblicato nel 1933.

Durante gli anni Cinquanta, le preoccupazioni legate alla Guerra Fredda sulla sicurezza tecnologica, unite con la carenza di personale tecnico causate dalla grande guerra, catalizzarono una significativa riallocazione di risorse nell'educazione scientifica e tecnica. L'effetto fu quello di inizializzare un processo che avrebbe trasformato, sotto molti aspetti, la didattica della fisica e delle scienze negli Stati Uniti, creando le fondamenta per nuovi sviluppi che continuano tutt'oggi. Un evento caratterizzante di questo periodo fu il lancio del satellite Sputnik nel 1957 da parte dell'Unione Sovietica che fece crescere in meno di tre anni di un ordine di grandezza i fondi federali per la didattica della matematica e delle scienze in generale negli Stati Uniti (Meltzer, Otero, 2015). In questo periodo vengono elaborati progetti e libri in diverse discipline scientifiche e tecniche; per la fisica vale la pena ricordare il PSSC (*Physical Science Study* Commitee), sviluppato da un gruppo di fisici diretto da Jerrold Zacharias (già introdotto nel §3.3, p. 80), ed il PPC (*Project Physics* Course) sviluppato dalla Harvard University. Questi programmi promuovono una innovazione nell'insegnamento della scienza sotto vari punti di vista: quello dei contenuti, delle strategie didattiche, delle metodologie dell'insegnamento e apprendimento e delle tecnologie di supporto mediale.

---

[5]Il PER è una forma di ricerca inerente alla didattica specificatamente relazionata allo studio dell'insegnamento e l'apprendimento della fisica, di solito con lo scopo di migliorare l'efficacia dell'apprendimento dello studente. Il PER attinge da altre discipline, tra cui la sociologia, le scienze cognitive, l'educazione e la linguistica, e le completa riflettendo le conoscenze disciplinari e le pratiche della fisica. Negli Stati Uniti, le ricerche sull'educazione scientifica e della fisica sono condotte da circa ottantacinque istituzioni (Wikipedia g, 2025).

[6] L'*American Association of Physics Teacher* è un'associazione con lo scopo di promuovere l'insegnamento della fisica. Ha sede nell'American Center for Physics al College Park, in Maryland. Si occupa della pubblicazione di riviste di fisica e offre agevolazioni per insegnanti, studenti, università e istituzioni che si occupano della promozione della fisica (Wikipedia e, 2025).

[7] L'*American Journal of Physics* è una pubblicazione scientifica mensile a revisione paritaria incentrata sulla fisica insegnata nelle università e nelle scuole superiori. Include articoli sulle varie ricerche nei vari campi della fisica, su attrezzature e dimostrazioni per laboratori didattici e sulle metodologie di insegnamento, includendo anche recensioni di libri e trattando spesso anche gli aspetti storici, filosofici e culturali della fisica; il tutto avendo come utenti di riferimento insegnanti e studenti di fisica a partire dalle scuole superiori (Wikipedia b, 2025).

Un evento chiave è la conferenza di Wood Hole del 1959, negli Stati Uniti, sotto la direzione di Bruner. In questo evento si trovano riuniti sia esperti di varie discipline scientifiche, sia esperti di discipline quali storia, letterature, arte, psicologia e pedagogia, con lo scopo di individuare modalità più efficienti per migliorare l'apprendimento delle scienze nella scuola. La relazione finale di questa conferenza, redatta da Bruner stesso, ha portato alla realizzazione di un libro dal titolo *The Process of Education*, tradotto in molte lingue, fra cui l'italiano. Dal libro emergono idee come la centralità del ruolo della struttura, ovvero discipline organizzate come "complessi organizzati e coerenti di conoscenze"; l'apprendimento a spirale, cioè prima ad un livello più intuitivo e poi approfondendo ciclicamente i contenuti; e l'importanza di utilizzare i tre tipi di rappresentazione: attiva, fondata sull'esperienza; iconica, fondata sulle immagini; simbolica, fondata sulla parola, sui numeri e sulle formule. Viene affermato che un insegnamento efficace è un compito complesso e che "presentare fenomeni fisici in modo che risultino interessanti, esatti e comprensibili, richiede una profonda intelligenza insieme ad un onesto scrupolo" (Focardi, 2024).

È proprio durante gli anni Cinquanta e Sessanta che si ha la nascita del PER in senso moderno, che può essere attribuita, in parte, ai lavori di A. B. Arons e R. Kaplus. Quest'ultimo contribuì applicando metodi di ricerca sistematici e rigorosi alle indagini sull'apprendimento degli studenti (sebbene prestando maggiormente attenzione ai processi di ragionamento scientifico piuttosto che all'apprendimento dei concetti di fisica in sé); Arons contribuì descrivendo dettagliatamente metodi per riconoscere, utilizzare e sviluppare le idee concettuali degli studenti che studiano fisica. L'attenzione di Arons era rivolta soprattutto allo sviluppo di corsi di fisica basati sull'indagine per futuri insegnanti delle scuole elementari.

L'attenzione verso gli studenti universitari pervenne in maniera significativa leggermente più tardi, tra gli anni Settanta e Ottanta del secolo scorso, ed è proprio verso la fine di questo periodo che si ha la pubblicazione della versione iniziale del *Force Concept Inventory* (già introdotto nel §1.1, p. 4) e che si ha l'introduzione dei primi computer nelle aule di fisica. Nel decennio successivo si riscontrò un incremento significativo delle università coinvolte nel PER e, al contempo, gli studenti laureati coinvolti nell'educazione della fisica aumentano di quattro volte o più. Negli anni 2000 si viene a creare un'altra versione degli standard scientifici nazionali: il "*Next Generation Science Standard*" (NGSS) (già introdotti nel §2.1.3, p.46), prosecutore della *Bencamarks for Science Literacy* (Project 2061) del 1993 e del *National*

Science Education Standard del 1996. I NGSS includevano (a) i concetti scientifici ritenuti fondamentali, (b) una pratica scientifica specifica rilevante per ciascun concetto e (c) "concetti trasversali" (indicati come "temi comuni" nei Benchmark del Project 2061), come sistemi e modelli. A differenza delle pratiche precedenti, la maggior parte degli Stati Uniti si impegnò a "prendere seriamente in considerazione" l'adozione completa dei nuovi standard, e il governo federale fornì alcuni finanziamenti per lo sviluppo di valutazioni nazionali collegate ai NGSS. Le raccomandazioni emesse da varie commissioni nazionali e organizzazioni professionali, per oltre 130 anni, hanno sottolineato l'importanza di migliorare l'educazione scientifica negli Stati Uniti; tuttavia, l'urgenza espressa dalla seconda metà degli anni duemila in poi è paragonabile soltanto a pochi altri periodi storici (come, ad esempio, durante gli anni Cinquanta). Il campo delle ricerche in didattica della fisica ha continuato a espandersi: il numero di dipartimenti di fisica includenti facoltà PER diventa, negli Stati Uniti, più di 60 nel 2014 e il coinvolgimento dei fisici nelle attività di riforma educativa raggiunse livelli raramente eguagliati e mai superati in passato.

È ragionevole chiedersi se e in che misura questa nuova ondata di attività educative da parte dei fisici abbia avuto un impatto sull'apprendimento degli studenti a livello nazionale, sia nelle scuole superiori che nelle università. È ancora presto per fornire dati più che indicativi. In primo luogo, centinaia di studi accurati hanno documentato miglioramenti nell'apprendimento della fisica in corsi e programmi individuali in cui sono stati utilizzati materiali basati sulla ricerca. Studi longitudinali a lungo termine sui dati degli esami diagnostici per studenti di fisica introduttiva del college in Minnesota e Colorado hanno mostrato aumenti lenti ma costanti nei punteggi dei pretest, che possono o meno essere indicativi di un miglioramento dell'insegnamento della fisica a livello di scuola superiore (Meltzer, Otero, 2015). Tuttavia, come abbiamo visto nel §1.1, almeno in Italia i dati del *Force Concept Inventory* segnalano che sussiste ancora molto lavoro da fare in materia per riuscire a ottenere risultati veramente soddisfacenti.

3.4.2 Peer Istruction

La *peer istruction* (o *flipped classroom*) è un metodo didattico basato sul far interagire gli studenti durante la lezione in classe. Il metodo richiede a ciascun studente di applicare i concetti

chiave presentati dal docente e, successivamente, di introdurre tali concetti ai propri compagni. A differenza della pratica comune di fare domande informali durante la lezione, che di solito coinvolge soltanto pochi studenti motivati, il processo più strutturato della peer istruction interessa ogni studente nella classe. Sebbene la peer istruction sia stata inizialmente creata per essere usata in lezioni con un alto numero di studenti, è stato riscontrato che questa funziona molto bene anche in classi con poco popolate.

Un esempio di lezione in cui si utilizza il metodo PI (*Peer Instruction*) può essere quello di iniziare con una serie di brevi presentazioni, ognuna incentrata su un punto centrale e seguita da una domanda concettuale correlata, chiamata *ConcepTest*, che verifica la comprensione da parte degli studenti delle idee appena presentate. Agli studenti vengono concessi uno o due minuti per formulare risposte individuali e comunicare le loro risposte all'insegnante.

Successivamente, gli studenti discutono le loro risposte con i compagni seduti vicino a loro; l'insegnante li invita a cercare di convincersi a vicenda della correttezza della propria risposta, spiegando il ragionamento da loro elaborato. Durante la discussione, che tipicamente dura dai due ai quattro minuti, l’insegnante si muove per la stanza ascoltando le risposte elaborate dagli alunni. Infine, il docente dichiara il termine delle discussioni, richiama gli studenti per riformulare le loro risposte (che potrebbero essere cambiate a seguito della discussione), spiega la risposta corretta e quindi passa a un nuovo argomento. Gli studenti hanno una grossa motivazione nel partecipare a tutto il processo perché consapevoli che le domande proposte in classe sono tra quelle proponibili nei futuri test di valutazione.

Per risparmiare tempo durante la lezione e preparare meglio gli studenti ad applicare i concetti esposti in classe, di solito viene chiesto agli alunni di leggere alcuni argomenti che verranno trattati poi a lezione. Imparare attraverso la lettura è una competenza che vale la pena sviluppare, dal momento che, una volta entrati all’università, gran parte dell’apprendimento degli studenti avviene leggendo autonomamente. Per aiutare gli studenti a identificare e comprendere i punti chiave degli argomenti, e per fornire loro un incentivo a completare effettivamente la lettura, di solito vengono fornite alcune domande progettate per riflettere sul materiale.

Partecipando a un tipo di lezioni così strutturate, si riscontra che gli studenti coinvolti ottengono un miglioramento significativo dei risultati sia nei test proposti dal Force Concept

Inventory (si veda capitolo 1, pag. 5), sia in quelli del Mechanics Baseline Test[8] (Crouch, Mazur, 2001).

3.4.3 Modelli di acquisizione della conoscenza

Come già menzionato, il wikibook descrive, all'interno del primo capitolo, alcuni modelli di acquisizione della conoscenza: il comportamentismo, lo strutturismo, il cognitivismo e il costruttivismo. Passiamo a esaminarli separatamente (Focardi, 2024):

- *Comportamentismo* – Dagli anni Cinquanta del secolo scorso in poi, l'insoddisfazione per i risultati dell'apprendimento scientifico all'interno delle scuole fa crescere l'interesse verso il "comportamentismo". Quest'ultimo si concentra su parametri oggettivamente osservabili e misurabili, su meccanismi di stimolo e rinforzo[9], e sulla definizione operativa di obbiettivi, abilità e risultati. Sussiste quindi l'assunto che il comportamento dell'individuo sia l'unica unità di analisi scientificamente studiabile in psicologia, in quanto unica caratteristica direttamente osservabile.
- *Strutturismo* – Come già visto, alla fine anni Cinquanta, soprattutto negli Stati Uniti, inizia un vasto movimento di riforma dell'insegnamento scientifico. Questi programmi promuovono una innovazione nell'insegnamento sotto vari punti di vista: quello dei contenuti, delle strategie didattiche, delle metodologie dell'insegnamento e apprendimento e delle tecnologie di supporto mediale. Emergono idee come la centralità del ruolo della struttura, l'apprendimento a spirale e l'importanza di utilizzare i tre tipi di rappresentazione: attiva, iconica e simbolica (si veda p. 83). Ogni argomento deve avere una sua struttura, ed è apprendendo la natura di quest'ultima che è possibile afferrare il significato essenziale dell'argomento. La struttura di una disciplina è costituita dalle sue idee fondamentali e generali, dai principi organizzatori che permettono un inquadramento

[8] Il *Mechanics Baseline Test* è un test simile al *Force Concept Inventory* con contenuti più vicini alla comprensione dei concetti basilari della meccanica. Le domande sono state progettate per essere significative per gli studenti senza una formazione formale in meccanica e per far emergere le loro preconoscenze sull'argomento. Il test è universale nel senso che è limitato a concetti che dovrebbero essere affrontati nei corsi introduttivi di fisica a qualsiasi livello, dalla scuola superiore all'università (Wikipedia c, 2024).

[9] In psicologia comportamentista, lo *stimolo* è un mutamento identificabile nelle condizioni ambientali che, attraverso l'eccitazione degli organi sensoriali, è in grado di determinare una reazione nell'organismo; mentre il *rinforzo* è una conseguenza che, se applicata al comportamento di un organismo, rafforzerà il suo comportamento futuro ogni volta che esso è preceduto da uno specifico stimolo antecedente (Treccani.it, 2024).

organico delle conoscenze e dai dati dell'esperienza. Questi principi permettono quindi la sistemazione ed il progresso del sapere, portando ad una istruzione efficace. Un insegnamento centrato sulla struttura possiede due vantaggi: da una parte una maggiore capacità di memorizzazione davanti a ciò che è organizzato e strutturato in modo significativo; dall'altra si realizza un transfer di apprendimento, le idee generali apprese possono essere infatti utilizzate per affrontare problemi che si presentano in futuro.

- *Cognitivismo* – Affermatosi durante gli anni Sessanta del '900, pone al centro il ruolo attivo della mente come sede di processi di elaborazione delle informazioni e dà importanza a ciò che il discente conosce già, affermando che un nuovo apprendimento acquisisce un senso solo se viene inserito in un ambiente di conoscenze già possedute. È in contrasto con le teorie comportamentiste in quanto ritiene che l'apprendimento scolastico non possa essere considerato di natura stimolo-risposta, ma coinvolge necessariamente processi cognitivi[10]. Secondo il cognitivismo, quindi, lo studente assimila le informazioni all'interno di una sua struttura cognitiva preesistente. Questo vuol dire che l'apprendimento di un nuovo contenuto si deve collegare necessariamente a immagini, simboli e concetti già esistenti nella struttura cognitiva del discente.
- *Costruttivismo* – Il costruttivismo ha le sue origini negli anni Ottanta ed è considerato attualmente il quadro di riferimento comune della maggior parte degli studiosi di didattica e di problemi educativi. È caratterizzato dall'idea che la conoscenza sia il prodotto di una costruzione attiva del soggetto e che l'apprendimento si sviluppi attraverso particolari forme di negoziazione sociale. Il costruttivismo rifiuta l'idea dell'insegnante come semplice fornitore di informazioni e pone importanza sulla costruzione della conoscenza, non sulla sua riproduzione, cercando di concentrarsi sulla complessità del mondo reale ed evitando eccessive semplificazioni.

Sono stati introdotti nel libro anche altri sottocapitoli inerenti ai modelli di acquisizione della conoscenza; questi sono, in particolare: "sviluppo cognitivo", "ostacoli epistemologici", "cambiamento concettuale" e "uso della memoria e schemi cognitivi". Cercheremo quindi di introdurre in maniera sintetica ciascuno dei precedenti argomenti (Focardi, 2024):

[10] Con il termine "processo cognitivo" si intende il processo mentale di acquisizione della conoscenza attraverso il pensiero, l'esperienza e i sensi. Comprende funzioni intellettuali quali: percezione, attenzione, pensiero, immaginazione, intelligenza, formazione di conoscenza, memoria e giudizio.

- *Sviluppo cognitivo* – Formulato principalmente dalle ricerche di Jean Piaget (1896-1980), che si concentra sullo sviluppo delle idee dei bambini e adolescenti in materia dei fondamenti di fisica (quali forze, fluidi, luce ecc.), prevede che si possa condurre il bambino da uno stadio pre-operatorio[11] a uno di operazioni concrete[12] e infine a uno di operazioni formali[13] (questo tipo di processo spontaneo dovrebbe portare a quel tipo di capacità logiche formali che sono essenziali per l'apprendimento scientifico e matematico). In realtà ricerche successive mostrano che questa evoluzione non ha sempre luogo e che alcune capacità formali non sono sempre un patrimonio disponibile per ogni studente, e per questo devono costituire un obbiettivo della formazione.
- *Ostacoli epistemologici* - In contrasto con Piaget, Gaston Bachelard (1884-1962) afferma che l'apprendimento delle scienze moderne non avviene come uno sviluppo spontaneo, attraverso una continuità fra idee del bambino o della bambina e le idee scientifiche, ma si costruisce in conflitto con il pensiero spontaneo. Ciò è dovuto dal fatto che il pensiero scientifico moderno non è per niente naturale, ma molto spesso è anzi controintuitivo ed in contrasto con le apparenze e le idee comuni. Gli errori non sono quindi dei semplici errori, ma differenti modelli interpretativi.
- *Cambiamento concettuale* – Riconosciuta l'importanza delle rappresentazioni mentali degli allievi, è necessario trovare possibili strategie per poterle cambiare e/o modificare, aprendo così la strada alla conoscenza scientifica. Questo genere di campo di ricerca, ovvero quello del cambiamento concettuale, è di estrema importanza e tuttora molto attivo. Esistono di fatto due filoni: alcuni autori sottolineano l'importanza della continuità fra idee comuni e conoscenza scientifica, considerando le pre-concezioni come risorse da rimodellare e arricchire, altri autori insistono, invece, sul ruolo delle rotture e

[11] Stadio che dura dai 2 ai 6-7 anni di età. Secondo Piaget, in questo stadio il bambino è in grado di usare simboli (come ad esempio nel gioco creativo, quando il bimbo utilizza una scatola per rappresentare un tavolo, dei pezzetti di carta per rappresentare i piatti ecc.). Quest'utilizzo di simboli coinvolge anche l'imitazione differita, il linguaggio verbale usato per riferirsi a esperienze passate, anticipazioni sul futuro o persone e oggetti non presenti sul momento (Wikipedia d, 2024).

[12] Lo stadio operatorio completo dura dai 6 anni agli 11 anni. In questo stadio il bambino non solo utilizza i simboli, ma è anche in grado di manipolarli in modo logico. Un'importante conquista in questo periodo è l'acquisizione del concetto di *reversibilità*, ovvero che gli effetti di un'operazione possono essere annullati da un'operazione inversa (ad esempio, se il bambino gioca con una pallina di creta smistandola in più parti di grandezza minore, egli è conscio che possono essere riunite per andare a formare la stessa pallina di partenza) (Wikipedia d, 2024).

[13] A partire dai 12 anni il bambino riesce a formulare pensieri astratti: si tratta del cosiddetto pensiero "ipotetico-deduttivo", grazie al quale il bambino può riferirsi direttamente a oggetti non presenti nella sua esperienza, ma soltanto ipotetici, e ricavare da essi tutte le possibili conseguenze logiche. Il soggetto è ora in possesso degli stessi schemi di pensiero dell'adulto e in particolare dello scienziato, che per Piaget rappresenta il punto terminale dello sviluppo cognitivo umano (Wikipedia d, 2024).

del conflitto cognitivo, considerando necessario un vero e proprio cambiamento concettuale.

- *Uso della memoria e schemi cognitivi* – Tre tipi di memoria concorrono contemporaneamente nel processo di apprendimento e sono interconnessi tra loro: *la memoria sensoriale,* responsabile della codifica delle informazioni provenienti dell'esterno (con durata di circa tre secondi); *la memoria a lungo termine,* che racchiude i dati processati e acquisiti stabilmente; e infine *la memoria di lavoro,* veloce e immediata, ma con una capacità limitata, in grado di processare i dati provenienti da stimoli (memoria sensoriale) e da ricordi (memoria a lungo termine) e immagazzinare l'output in memorie esplicite nel sistema a lungo termine. La memoria di lavoro, in particolare, è responsabile di processi complessi ed è proprio quella che entra in gioco quando si chiede a studenti di risolvere un problema. Essa ha però una capacità limitata e inoltre bisogna tenere conto che non tutta l'informazione che arriva dall'esterno può essere assimilata, oltre al fatto che l'attenzione risulta essere selettiva.

La percezione è il processo di individuazione e organizzazione degli stimoli e di associazione di un significato. È pesantemente influenzata dal contesto, il quale è poi manipolato dagli schemi cognitivi. L'attivazione di uno schema dipende dal contesto, ovvero dalla presenza o meno di alcuni elementi e, dato che un certo contesto può attivare più schemi contemporaneamente, potrebbero sorgere situazioni di conflitto. In fisica ne è un esempio l'utilizzo della "fisica intuitiva" rispetto a quella "appresa", come già analizzato nel primo capitolo di questa tesi. Il conflitto tra schemi viene aggirato dalle euristiche, che a loro volta dipendono dal contesto (la scelta delle euristiche dipende anche dal tempo a disposizione). Gli schemi vengono poi rafforzati quando sono legati a esperienze positive, oppure, al contrario, indeboliti dalle esperienze negative

3.5 Divulgazione del progetto e coinvolgimento dei docenti

Una volta ottenuta la prima stesura del wikibook, abbiamo iniziato la fase di coinvolgimento di colleghi e docenti delle scuole secondarie di secondo grado. Abbiamo quindi presentato il progetto attraverso riunioni e conferenze e abbiamo sottomesso un articolo divulgativo del progetto su *Formazione e insegnamento* (una rivista che pubblica ricerche afferenti alle regioni

educativo-formative, concentrandosi sull'educazione continua, le policy educative in un contesto europeo e globale, la didattica e l’insegnamento) (Ojs, 2025).

Sviluppi futuri (posteriori alla realizzazione di questa tesi di laurea) prevedono anche una eventuale pubblicazione di un articolo inerente al progetto sul *Giornale di fisica*, una rivista destinata particolarmente agli insegnanti di fisica della Scuola secondaria superiore (Licei e Istituti tecnici di ogni indirizzo) e che mira a fornire aggiornamenti sulle più recenti ricerche in tutti i campi della fisica, sui più moderni metodi didattici e sulle nuove tecniche di insegnamento (Sif, 2025).

Tutte le operazioni qui elencate (con eccezione dell’ultima presentata) sono state svolte nell’arco di quattro mesi (da ottobre 2024 fino a gennaio 2025 compresi).

Il libro è ovviamente ancora in una forma incompleta, ma abbiamo già registrato l’interessamento e qualche contributo da parte di alcuni docenti. Nel futuro si prevede di utilizzare il wikibook come riferimento nei percorsi formativi abilitanti e di organizzare incontri mirati con i docenti, oltre ovviamente a continuare a popolare il testo con esperienze, in particolare per quanto riguarda la fisica quotidiana, le tecniche di insegnamento tramite ludicizzazione e il ruolo del coinvolgimento emotivo, per esempio attraverso presentazioni “magiche” che ovviamente si basano su fenomeni fisici che vengono poi illustrati.

Conclusioni

Abbiamo analizzato vari aspetti della fisica intuitiva: cercando di includere più settori della fisica classica possibile, abbiamo cercato di riportare osservazioni derivanti da ricerche sulle scienze cognitive che pensiamo abbiano rilevanza nell'illustrare le origini della fisica intuitiva e delle difficoltà intrinseche all'apprendimento della fisica intesa in senso accademico. La maggior parte degli aspetti della fisica intuitiva riportati, infatti, si contrappongono in maniera netta a quelli che sono i fondamenti della fisica newtoniana e si rivelano un ostacolo all'apprendimento del discente (le uniche eccezioni si sono rilevate essere principi quali la non violazione della continuità o della solidità, o il mantenimento della forma e del colore degli oggetti solidi, principi che di solito, nei libri di testo utilizzati nelle scuole, non vengono neanche menzionati perché dati per scontati).

Prendendo in considerazione questi fatti, abbiamo cercato di riportare alcuni metodi pedagogici che potessero aiutare a superare queste difficoltà di apprendimento legate alla fisica intuitiva e abbiamo deciso di usufruire della narrazione come integrazione alle normali lezioni di fisica. Analizzando il valore che la narrazione ha in generale su una lezione di stampo scientifico, e poi esaminando più nello specifico lezioni basate sul podcasting e sull'ausilio di libri game, abbiamo riscontrato che questo tipo di metodologie didattiche possono avere un grosso potenziale nell'insegnamento della fisica e, quindi, molto probabilmente, anche nel superamento delle misconcezioni cognitive.

Siamo poi passati a trascrivere gli elaborati così ottenuti sulla piattaforma *Wikibooks*, attraverso un wikibook dal titolo *Insegnare Fisica*. Oltre ai temi già elencati (basi cognitive, podcast, libri game e narrativa) sono stati inseriti all'interno del wikibook altre tecniche pedagogiche e la descrizione di alcuni modelli di acquisizione della conoscenza, oltre che collegamenti a materiali di supporto didattico quali video, libri di testo ed esperimenti da svolgere in classe o a casa.

Tale progetto è stato avviato con l'obbiettivo di sollecitare la partecipazione anche da parte degli utenti, così da poter ottenere una raccolta di esperienze in grado di fornirci ulteriori

informazioni riguardo i fraintendimenti legati alla comprensione della fisica durante le lezioni in classe così come nuovi metodi pedagogici funzionali. Il libro contiene già una guida sui fraintendimenti più comuni che si possono trovare in una classe durante una lezione di fisica, (e sui relativi metodi per contrastarli), ma l'elaborazione presentata richiede di essere completata e corretta sfruttando l'esperienza degli insegnanti. Per questo abbiamo scelto lo strumento wikibook, che è aperto alla collaborazione di tutti gli interessati. Lo scopo finale è quello di assemblare un manuale di pedagogia che estenda la *Guida all'insegnamento della fisica* di Arnold B. Arons, includendo sia gli aspetti cognitivi che gli strumenti "fuori dalla classe".

Il libro, ancora in forma incompleta, ha già registrato l'interessamento di molti docenti ed è riuscito a raccogliere qualche contributo da parte degli stessi. Nel futuro si prevede che, oltre a rappresentare una guida per molti docenti interessati a migliorare le proprie tecniche di insegnamento, diventi un riferimento importante per alcuni percorsi formativi rivolti agli insegnanti delle scuole secondarie di secondo grado. Per questo, avrà bisogno di modifiche continue, anche da parte nostra.

La divulgazione del progetto, così come la realizzazione del libro stesso, è appena iniziata: infatti, come già detto, l'articolo inerente al progetto è stato soltanto sottomesso alla rivista *Formazione e insegnamento.* Inoltre, il libro verrà presentato alla fiera Didacta Italia il 14 marzo e sono previste anche collaborazioni con altre riviste, come ad esempio il *Giornale di fisica.*

Crediamo, prima di tutto, che l'e-book sia una risorsa importante in ambito pedagogico, perché atta a informare su temi importanti la comunità dei docenti in Italia. Oltre a questo, il libro rappresenta anche un modo per ottenere nuovi importanti contributi alla ricerca in materia di didattica della fisica, e rappresenta anche una maniera di relazionare, confrontare e mettere in contatto i docenti di tutta Italia (a questo proposito, è già stato creato un gruppo Google dove i docenti possono confrontarsi in maniera diretta sui vari contenuti presenti nel libro - https://groups.google.com/g/insegnare-fisica).

Riteniamo, quindi, che un progetto come questo rappresenti, se non apporto fondamentale, quantomeno un primo passo verso una didattica della fisica più completa, che riesca ad attrarre più studenti e che, in generale, possa eliminare nel discente il senso di inadeguatezza che di solito presenta nei confronti della materia.

Bibliografia

Altman, R. (2008). *A theory of narrative*. New York: Columbia University Press.

Anastasiadis, T., Lampropoulos, G., Siakas, K., (2018). Digital Game-based Learning and Serious Games in Education. 4. 139-144. 10.31695/IJASRE.2018.33016.

Ancell C., Guttersrud O., Henriksen E., Isnes A., (2004) "*Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching*", *Science Education*,, 88(5), 683-706

Ancell, Guttersrud, Henriksen, Isnes; (2004): C. Ancell, O. Guttersrud, E., Henriksen, and A. Isnes, Physics: *Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching*, 2004

Andersson, G., Nilsen, P.E.S., (2006). Podcasting and learning electromagnetism. In *9th International Conference on Engineering Education, M5H-1-M5H-6*.

Anguelina P., Palitha E., (2010), *How can podcasts support engaging students in learning activities?*, Procedia - Social and Behavioral Sciences,Volume 2, Issue 2,Pages 5034-5038, ISSN 1877-0428,

Arons, A., B. (1992) Guida all'insegnamento della fisica, Zanichelli editore, ISBN 88-08-11378-7

Ashley, M. (2000). Science: An unreliable friend to environmental education? *Environmental Education Research, 6* , 269–280.

Avraamidou, L., & Osborne, J. (2009). The role of narrative in communicating science. *International Journal of Science Education, 31* , 1683–1707.

Bagnoli F., Gronchi G. (2019) *Perché la fisica è così difficile?* Physics & Neurosciences,

Bagnoli, F. (2016) Il diario segreto di Quo. Disponibile da https://fisicax.complexworld.net/articoli-e-libri/il-diario-segreto-di-quo

Bagnoli, F. (2017). 20 lezioni di fisica e magia. *Giornale di Fisica* LVIII (3), 173.

Bagnoli, F. (2018). *Il taccuino del Dr. Watson*. Sesto Fiorentino, Italia: Apice Libri.

Bagnoli, F. (2020). FisicaX-Il gioco. Disponibile da https://complexworld - net.github.io/FisicaX/FisicaX.html

Bagnoli, F., Guarino, A. & Pacini, G. (2018). Teaching physics by magic. *Physics Education* 54 (1), pp. 15-25.

Baillargeon R. (2008) *Innate ideas revisited for a principle of persistence in infants' physical reasoning*. *Perspect Psychol Sci*, 3:2–13.

Bao, L., Zollman, D., Hogg K., Redfish, E. (2002), *Model analysis of fine structures of student models: An example with New-ton's Third Law*, American Journal of Physics, 70(7), pp. 766–778.

Barbetta, M.G., Loria, A., Mascellani, V., & Michelini, M. (1984*). An investigation on students' frameworks about motion and the concepts of force and energy*. *Proceedings of a Conference on Physics Education*, *1*, 219-233, Utrecht.

Barmby P and Defty N 2006 *Secondary school pupils' perceptions of physics* Res. Sci. Technol. Educ. 24 199–215.

Barzilai, S., Blau, I., (2014) Scaffolding game-based learning: Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences Computers & Education, 70, pp. 65-79,

Berk, J., Watto, M., Williams, P. (2020). Twelve tips for creating a medical education podcast. *Medical Teacher, 42*(11), 1221-1227.

Besser E.D., Blackwell L.E., Saenz M., (2021). Engaging Students Through Educational Podcasting: Three Stories of Implementation. *Technology Knowledge and Learning*, 1-16.

Besson U. (2017) *Dittatica della fisica*, Carocci editore, pp 184-185

Bianchi-Pennington, B. (2018). Designing literary discussion with podcasts. *Journal of Adolescent & Adult Literacy, 61*(5), 589-591.

Bidarra, J., (2010) "Emerging Digital Media, Games and Simulations: A Challenge for Open and Distance Learning", *Revista de Ciências da Computação, 4*, Universidade Aberta, Lisbon,

Bidarra, J., Figueiredo, M., Natálio, C. (2014). Designing eBook Interaction for Mobile and Contextual Learning. Proceedings of 2014 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning, IMCL 2014. 10.1109/IMCTL.2014.7011095.

Bidarra, J., Figueiredo, M., Natálio, C., (2015). Interactive Design and Gamification of eBooks for Mobile and Contextual Learning. International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM). 9. 24. 10.3991/ijim.v9i3.4421.

Blickenstaff, J. (2019) “Science podcasts in the classroom,” NSTA, nsta.org/resources/science-podcasts-classroom.

Bradamente F., Michelini M., Stefanel A. (2007) *Learning problems related to the concept of field Proc. Int. Symp. on the Frontiers of Fundamental and Computational Physics (Italy)* vol 1 (The Netherlands: Springer) pp 367–79

Bruner, J. (1985). Narrative and paradigmatic modes of thought. In 84th Yearbook of NSSE,

Learning and teaching the ways of knowing . Chicago: University of Chicago Press.

Bryce, N. (2009). Collaboration in asynchronous online discussion : graduate teacher education candidates and the politics of online dialogue journaling. Presented at the 7th International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications. Orlando, FL.

Bueno-Alastuey, M.C., Nemeth, K. (2020). Quizlet and podcasts: effects on vocabulary acquisition. *Computer Assisted Language Learning*, 1-30.

Campbell, G. (2005), There’s something in the air: Podcasting in education. *Educause Review* 40, 33–46.

Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2012). Diagnosing students’ understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10, 241-266

Checkley D., *High school students’ perceptions of physics*. A Thesis Submitted to the School of Graduate

Clement, J. (1982); Students’ preconceptions in introductory mechanics. *Am. J. Phys.* 1 January 1982; 50 (1): 66–71.

Condayan C. (2008) Culture media. Nat. Rev. Microbiol. 6, 646. *Crossref, PubMed, Web of Science*, Google Scholar

Corni, F., Gilberti, E., & Mariani, C. (2010). *A story as innovative medium for science education in primary school.* Retrieved March 12, 2015, from https://personale.unimore.it/rubrica/pubblicazioni/corni

Crouch C. H., Mazur E. (2001) Peer instruction: Ten years of experience and results. American journal of physics, 69(9):970–977.

Davidson-Shivers, G. V., Muilenburg, L. Y., & Tanner, E. J. (2001). How do students participate in synchronous and asynchronous online discussions? Journal of Educational Computing Research, 25, 351–366.

De Hosson C., Kaminsky W. (2007) *historical Controversy as an Education Tool: Evaluating Elements of a Teaching-Learning Sequence Conducted with the text "Dialogue on the Ways that Vision Ope-rates"*, in "Internationl Journal lf Science Education" 29, 5, pp. 617-42

De los Ríos, C.V. (2020). Translingual Youth Podcasts as Acoustic Allies: Writing and Negotiating Identities at the Intersection of Literacies, Language and Racialization. *Journal of Language and Education*, 1-15.

De Young, *R*., Monroe, M. (1996). *Some fundamentals of engaging stories. Environmental Education Research, 2 , 171–187.*

diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction, 10*(2–3), 105–225.

diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education, 20*(10), 1155–1191.

Di Trocchio, F. (1997). *Il genio incompreso*. Milan: Mondadori.

Dijksterhuis E.J. (1961*) The mechanization of the world picture*; oxford university press;

Driver, R., Squires, A. Rushworth, P., Wood-Robinson, V. (2004). *Making sense out of secondary science.* New York, NY: Routledge.

Duit, R., (1984) "Learning the Energy Concept in School--Empirical Results from the Philippi-nes and West Germany.*" Physics Education 19: 59-66.*

Edison Research (2021). The spoken word audio report 2021 from NPR and Edison Research.

Engel A., Lucido K., Cook K., (2018) Rethinking Narrative: Leveraging storytelling for science learning, Childhood Education, 94:6, 4-12

Erinosho Stella Y. (2013) "*How Do Students Perceive the Difficulty of Physics in Secondary School? An Exploratory Study in Nigeria*" International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Edu-cation, Special Issue Volume 3 Issue 3,

Evans, C, Fan, J. (2002), Lifelong learning through the virtual university, *Journal of Campus Wide Information Systems*, 19 (4), 127–134.

Fagen, A. P., Crouch C. H., Mazur E. (2002) Peer instruction: Results from a range of classrooms. The physics teacher, 40(4):206–209. doi:10.1119/1.1474140.

FeHennig, N. (2017). Podcasts in context. Library Technology Reports, 53(2), 30-38,2.

Feher E., Rice K., (1988) *Shadows and Anti-Images: Children's Conceptions of Light and Vision. II*, Science Education 72(5): 637-649

Fernandez, V, Simo, P. & Sallan, J. M. (2009), Podcasting: A New Technological Tool to Facilitate Good Practice in Higher Education. *Computers & Education, 53* (2), 385-392.

Ferreira, A., Kochhan, N.H., Nogueira, R. (2020). *Podcast educational product for technical course of profesional and technological education*. *Laplage em Revista, 6*, 98-111.

Ferrer I., Lorenzetti L., Shaw, J. (2019). Podcasting for social justice: exploring the potential of experiential and transformative teaching and learning through social work podcasts. *Social Work Education, 39*(7), 849-865.

Fisch, S. M., (2000). A capacity model of children's comprehension of educational content on television. *Media Psychology, 2(*1), 63-91

Focardi, A. (2024); Teaching complex systems physics by (video) games: an exploratory investigation, Tesi di Laurea Magistrale in scienze fisiche e astrofisiche, Università degli studi di Firenze

Fouz-González, J. (2019). Podcast-based pronunciation training: Enhancing FL learners' perception and production of fossilised segmental features. *Recall, 31*(2), 150-169.

Furiò C., Guisasola J., (1998) *Difficulties in learning the concept of electric field Sci. Educ.* 82 511–26

Gachago, D., Livingston, C., Ivala, E. (2016). Podcasts: A technology for all?. *British Journal Of Educational Technology, 47*(5), 859-872.

Gao F, Levine SC, Huttenlocher J. (2000) *What do infants know about continuous quantity*? *J Exp Child Psychol*, 77:20–29.

García-Peñalvo, F. J., Corell, A. (2020). La COVID-19: ¿enzima de la transformación digital de la docencia o reflejo de una crisis metodológica y competencial en la educación superior?. *Campus Virtuales, 9*(2), 83-98.

Gee, J. P. , (2003) What video games have to teach us about learning and literacy, Palgrave Macmillan, New York.

Giesbers, B., Rienties, B., Tempelaar, D. & Gijselaers, W. (2013). A dynamic analysis of the interplay between asynchronous and synchronous communication in online learning: The impact of motivation. Journal of Computer Assisted Learning. 10.1111/jcal.12020.

Goldman, Thomas, (2018) "The Impact of Podcasts in Education" Advanced Writing: Pop Culture Intersections. 29

Gough, A. (2002). Mutualism: A different agenda for science and environmental education. *International Journal of Science Education, 24*, 1201–1215.

Gough, A. (2008). Towards more effective learning for sustainability: Reconceptualising science education. *Transnational Curriculum Inquiry, 5*, 32–50.

Guesne E., (1985) *Light*, in Driver, Guesne Tiberghien, pp.10-33

Gustone, R.F., & Watts, D.M. (1985*). Force and motion*. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberhien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 84-104). Milton Keynes, England: Open University Press.

Hadzigeorgiou, Y. (2006). Humanizing the teaching of physics through storytelling: The case of current electricity. *Physics Education, 41*, 42–46.

Hadzigeorgiou, Y. (2006b). Humanizing the teaching of physics through storytelling: The case of current electricity. *Physics Education, 41* , 42–46.

Hadzigeorgiou, Y., (2016). *Imaginative science education: The central role of imagination in science education*.Cham, Switzerland: SpringerInternational.

Hadzigeorgiou, Y., (2017) *The nature of science through storytelling*. 5 SFU Ed Review

Hadzigeorgiou, Y., Garganourakis, V. (2010). Using Nikola Tesla's story and experiments, as presented in the fi lm "The Prestige", to promote scientifi c inquiry. *Interchange, 41* , 363–378.

Hadzigeorgiou, Y., Prevezanou, B., Kabouropoulou, M., Konsolas, M. (2010). Teaching about the importance of trees. A study with young children. *Environmental Education Research, 17* , 519–536.

Hadzigeorgiou, Y., Stefanich, G. (2001). Imagination in science education. *Contemporary Education, 71* , 23–28.

Hartings MR, Fahy D. (2011) *Communicating chemistry for public engagement*. Nat. Chem. 3, 674–677.

Harlow, D.B., Bianchini, J.A. (2020). Knowledge-in-Pieces—Andrea A. diSessa, David Hammer. In: Akpan, B., Kennedy, T.J. (eds) Science Education in Theory and Practice. Springer Texts in Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_26

Heering, P. (2010). False friends: What makes a story inadequate for science teaching? *Interchange, 41*, 323–333.

Hespos SJ, vanMarle K. (2012) *Physics for infants: characterizing the origins of knowledge about*

Hestenes D.; Wells M.; (1992) Swackhamer G., *Force Concept Inventory*,

Hestenes D.; Wells M.; (1992) Swackhamer Gregg, *Force Concept Inventory*; Mar; The Physics

Hill, C., & Baumgartner, L. (2009). Stories in science: The backbone of science learning. *Science Teacher, 76* (4), 60–64.

Hong, H.-Y., Lin-Siegler, X. (2012). How learning about scientists' struggles infl uences students' interest and learning in physics. *Journal of Educational Psychology, 104*, 469–484.

Hrastinski, S. (2008). A study of asynchronous and synchronous e-learning methods discovered that each supports different purposes. Educause Quarterly, 4, 51–55. Retrieved from http:// www.educause.edu/ero/article/ asynchronous-and-synchronous-e-learning

Ioannides, C., Vosniadou, S. (2002). *The changing meaning of force. Cognitive Science Quarterly, 2(1), 5-62.*

Jenkins, E. (2009). Linking theory to practice: Education for sustainability and learning and teaching.

Jeong, A. (2019). Comparing Instructional Event Sequences in Audio Podcasts with Low Versus High User Satisfaction. *Techtrends*, *63*(5), 559-563.

Johnson J., Ross L., Iwanenko W., Schiffert J., Sen A. (2012) *Are podcasts effective at educating African American men about diabetes?* Am. J. Mens Health 6, 365–367.

Kahneman, D. (2012). Two Systems in the Mind. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, *65*(2), 55–59.

Kesonen M. H. P, Asikainen M. A., Hirvonen P. E., (2011) *University students' conceptions of the electric and magnetic fields and their interrelationships*, Eur. J. Phys. 32 521–534

Klassen, S. (2006). The science thought experiment: How might it be used profi tably in the classroom? *Interchange, 37,* 77–96.

Klassen, S. (2009). The construction and analysis of a science story. *Science & Education, 18*, 401–423.

Klassen, S., Froese-Klassen, C. (2014). Science teaching with historically based stories: Theoretical and practical perspectives. In M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history and philosophy for science and mathematics education* (pp. 1503–1529). Berlin: Springer.

Klassen, S., Froese-Klassen, C. (2014b). The role interest in learning science through stories. *Interchange, 45*, 133–151.

Klopfer, E., Osterweil, S., & Salen, K. (2009). Moving learning games forward. Cambridge, MA: Education Arcade

Kokkotas, P., Rizaki, A., & Malamitsa, K. (2010). Storytelling as a strategy for understanding concepts of electricity and electromagnetism. *Interchange, 41,* 379–405.

Kornieva, Z.M., Vashchylo, O.V. (2019). Efficiency of teaching english monologue production to future mechanical engineers by means of podcasting. *Information Technologies and Learning Tools, 74*(6), 71-83

Kubli, F. (2001). Can the theory of narrative help science teachers become better storytellers? *Science & Education, 10* , 595–599.

Küçüközer, H., Sabri, K. (2007). Secondary School Students' Misconceptions About Simple Electric Circuits. Journal of Turkish Science Education. 4.

Lavonen J., Meisano V., Byman R., Uiito A. , Juiit K., (2005) *Pupils interest in Physics: A survey in Finland*,

Lavonen J., Meisano V., Byman R., Uiito A., Juiit K., (2005) "*Pupils interest in Physics: A survey in Finland*", NORDINA, 2, pp 72-85

Lee J. J., Hammer. J., (2011), Gamification *in Education: What, How, Why Bother?* Adademic Exchange Quarterly, p. 146-151.

Lee, Y., Law, N. (2001). Explorations in Promoting Conceptual Change in Electrical

Concepts via Ontological Category Shift. *International Journal of Science Education*, 23 (2), 111-149.

Lin,M-F. G., Bonk, C. J. & Sajjapanroj, S. (2008) *:Twin Wiki Wonders?, Virtual Communities: Concepts, Methodologies, Tools and Applications, IGI global, 253-272*

Littledyke, M., Taylor, N., Eames, C., (Eds.), *Education for sustainability in the primary curriculum: A guide for teachers* (pp. 29–38). South Yarra, Australia: Palgrave Macmillan.

Liu, G., Fang, N. (2016). *Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education*. International Journal of Engineering Education. 32. 19-29.

MacIsaac, D., (2021), "Podcasts for physics, astronomy and science teachers," *Phys. Teach*. 44, 622

MacKenzie LE. (2019) *Science podcasts: analysis of global production and output from 2004 to 2018*. R. Soc. open sci. 6:180932.

Mañas-Pellejero, M.; Paz, E. (2022). "*Podcast fandom in Europe: Audio audiences' participation in a digital context*". Profesional de la información, v. 31, n. 5, e310525.

Mandler, J. (1984). *Stories, scripts, and scenes: Aspects of schema theory.* Hillsdale, NJ: Erlbaum. Manicas, P., & Secord, P. (1983). Implications for psychology of the new philosophy of science. *American Psychologist, 38* , 399–413.

Markman K. M., Sawyer C. E., (2014) *Why pod? Further explorations of the motivations for independent podcasting.* J. Radio Audio Media 21, 20–35.

Marucco, M. (2022). Il podcasting nella comunicazione della scienza di oggi. Il caso studio di Scientificast, Tesi di laurea in Strategie di Comunicazione, *Università degli Studi di Padova,*

Matulewicz, A.T., Hammond, V., Patterson, J.A., Frankart, L.M., Donohoe, K.L. (2020). Utilizing widely available podcasts to create a reflection activity for pharmacy students. *Currents in pharmacy teaching and learning, 12*(10), 1215-1223

McCloskey M., Washburn Allyson, Felch (1983), *Intuitive Physics: The Straight-Down Belief and Its Origin*;; Johns Hopkins University;

McCloskey, M. (1983). *Naive theories of motion*. Mental Models.

McCloskey, M. (1983b), *Intuitive Physics*, Scientific American, Vol. 248, No. 4 April, pp. 122-131

McGarr O. (2009), A review of podcasting in higher education: Its influence on the traditional lecture, Australian Journal of Educational Technology, 25(3), 309- 321 , University of Limerick

McKinney, D., Michalovic, M. (2004). Teaching the stories of scientists and their discoveries. *Science Teacher, 71* , 46–51.

McNamara, S. W.T., Drew, C. (2019). Concept analysis of the theories used to develop educational podcasts. *Educational Media International, 56*(4), 300-312.

McNamara, S.W.T., Haegele, J.M. (2020). Undergraduate students' experiences with educational podcasts to learn about inclusive and integrated physical education. *European Physical Education Review, 27*(1), 185-202.

Megalakaki, O. (2008). *Pupils' conceptions of force in inanimates and animates*. European Journal of Psychology of Education - EUR J PSYCHOL EDUC. 23. 339-353. 10.1007/BF03173003.

Meltzer D. E., Otero V. K. (2015); A brief history of physics education in the United States. *Am. J. Phys.* 1 Ma; 83 (5): 447–458.

Merriam-Webster. (2007). E-book. <http://m-w.com/dictionary/e-book> Accessed 27.12.2007.

Merzagora M. (2004) *Science on air: the role of radio in science communication*. J. Sci. Commun. 3, 1–6.

Millanes, M., Paderna, E., Que, E. (2017). Podcast-Integrated Physics Teaching Approach: Effects on Student Conceptual Understanding. The Normal Lights. 11. 10.56278/tnl.v11i2.527.

Millanes, M. A. A., (2021). Development and evaluation of physics podcasts as instructional materials for grade 9 High school students.

Miller, R.D., Uphold, N. (2021). Using Content Acquisition Podcasts to Improve Preservice Teacher Use of Behavior-Specific Praise. *Teacher education and Special Education*, 1-19.

Morais, C. (2015). Storytelling with chemistry and related hands-on activities. Informal learning experiences to prevent "chemophobia" and promote young children's scientifi c literacy. *Journal of Chemical Education, 92,* 58–65.

Moreno-Guerrero A.J., Soler-Costa R., Marín-Marín J.A., López-Belmonte, J. (2021). *Flipped learning y buenas prácticas docentes en educación secundaria*. *Comunicar, 29*(68), 1-11. doi: 10.3916/C68-2021-09 .

Ojs (2025) Consultato gennaio 2025 da: https://ojs.pensamultimedia.it

Olrich, D., Harder, R., Callahan, R., Gibson, H. (2001). *Teaching strategies,* Boston: Houghton Miffl in Company.

Ornek F., Robinson W R, Haugan M. P., 2008 *What makes physics difficult*? *Int. J. Environ. Sci. Educ.* **3** 30–4

Osborne, R. (1983). Towards Modifying Children's Ideas about Electric Current. *Research in Science and Technological Education,* 1 (1), 73-83.

Petersen, N.C. and Udby, L., (2016). WIKIs for online documents and textbooks. *Tidsskriftet Læring Og Medier (LOM), 9*(16).

PhysicsGirl(2024):https://www.youtube.com/channel/UC7DdEm33SyaTDtWYGO2CwdA

Piaget, J. (1978). *Behavior and evolution*. New York, NY: Random House.

Picardi, I., Simona, R. (2008). Science via podcast (Italian original version). JCOM : Journal of Science Communication. 7. 10.22323/2.07020305.

Pocovi M. C., Finley F. (2003) *Historical evolution of the field view and textbook accounts Sci. Educ.* 12 387–96

Poh M.Z., Swenson N.C., Picard R.W. (2010) A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. IEEE Trans Biomed Eng. 2010 May;57(5):1243-52. doi: 10.1109/TBME.2009.2038487. Epub 2010 Feb 17. PMID: 20172811.

Popova, A. a., Kirschner, P. A., Joiner, R. (2014). Effects of primer podcasts on stimulating learning from lectures: How do students engage?. *British Journal Of Educational Technology*, 45(2), 330-339.

Povoci M. C., Finley F. (2002) Lines of force: *Faraday's and students' views Sci. Educ.* 11 459–74

Povoci M. C., Finley F. (2007) *The effects of a history-based instructionalmaterial on the students' understanding of field lines J. Res. Sci. Teach.* 44 107–32

Prakash S.S., Muthuraman N., Anand R. (2017) *Short-duration podcasts as a supplementary learning tool: perceptions of medical students and impact on assessment performance*. BMC Med. Educ. 17, 1–14.

Prensky, M., (2001) *Digital game-based learning*, McGraw Hill, New York.

Rajiccaca, *S.R. (2015). EDUCATIONAL USE OF PODCAST.*

Redfern J, Illingworth S, Verran J. (2016) What does the UK public want from academic science communication? F1000Research 5, 1261.

Reiner, M., Slotta, J.D., Chi, M.T.H., Resnick, L.B. (2000). *Naïve physics reasoning: A commitment to substancebased conceptions. Cognition and Instruction, 18(1), 1-34*.

Riddell J., Robins L., Brown A., Sherbino J., Lin M., Ilgen J.S. (2020). Independent and Interwoven: A Qualitative Exploration of Residents' Experiences with Educational Podcasts. *Academic Medicine, 95*(1), 89-96.

Riopel, M., & Nenciovici, L., Potvin, P., Chastenay, P., Charland, P., Blanchette Sarrasin, J., Masson, S. (2019). Impact of serious games on science learning achievement compared with more conventional instruction: an overview and a meta-analysis. Studies in Science Education. 55. 169-214. 10.1080/03057267.2019.1722420.

Rodman, A., Abrams, H.R., Watto, M., Trivedi, S., Barbee, J., Meraz-Muñoz, A., Fried, M.C. (2021). Medical Podcasting in Low- and Middle-Income Countries: A needs Assessment and Vision for the Future. *Teaching and Learning in Medicine*, 1-7.

Rosell-Aguilar, F. (2013). *Podcasting for language learning through iTunes U: The learner's view*. Language, Learning and Technology, 17(3), 74–93

Rovelli, C. (2015), *Relative information at the foundation of physics*. In: Aguirre A, Foster B, Merali Z (eds). It from bit or bit from it? On Physics and Information. Springer International Publishing; pg 79-86.

Saarelainen M., Laaksonen A., Hirvonen P. E. (2007) *Students' initial knowledge of electric and magnetic fields—more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions Eur. J. Phys.* 28 51–60

Samuels, J.M., Halpern, A.L., Carmichael, H., Christian, N.T., Travis, C.E.M., Jaiswal, K., Nehler, M.R. (2020). This Surgical Life - An Exploration of Surgical Department Podcasting. *Journal of Surgical Education, 77*(5), 1257-1265.

Schulz, R. (2009). Reforming science education: Part II. Utilizing Kieran Egan's educational metatheory. *Science & Education, 18* , 251–273

Sendag, S., Gedik, N., Toker, S. (2018). Impact of repetitive listening, listening-aid and podcast length on EFL podcast listening. *Computers & Education, 125*, 273-283.

Shapiro, D., (2019), "Podcasting in the science classroom," *NSTA Reports* **30** (8), 1–4

Sharples, M., (2000) "The design of personal mobile technologies for lifelong learning", *Computers & Education*, vol. 34, pp. 177–193.

Shipstone, D. M., Rhöneck, C.v., Kärrqvist, C., Dupin, J., Johsua, S., Licht, P. (1988) A Study of Student' Understanding of Electricity in Five European Cuntries. *International Journal of Science Education*, 10 (3), 303-316.

Sif (2025) Consultato gennaio 2025 da https://www.sif.it/riviste/sif/gdf

Soleha, R. P., Wulantina, E. (2023). Development of Mathematics Adventure Educational Game on SPLDV Material to Improve Students' Mathematical Connection Ability. *Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika, 12*(4), 925–936.

Solomon, J. (1983). *Messy, contradictory, and obstinately persistent: A study of children's out-of-school ideas about energy. School Science Review,* 65(231), 225 – 229

Solomon, J. (2002). Science stories and science texts: What can they do for our students? *Studies in Science Education, 37* , 85–106.

Spelke ES, Breinlinger K, Macomber J, Jacobson K. (1992) *Origins of knowledge*. *Psychol Rev*, 99:605–632.

Stefancik, R., Stradiotova, E. (2020). Using Web 2.0 tool podcast in teaching foreing languages. *Advanced Education*, (14), 46-55.

Stinner, A. (1995). Contextual settings, science stories and large context problems: Toward a more humanistic science education. *Science Education, 79,* 555–581.

Sumeet K. (2022); Brooke A. Whitworth, "Podcasts in Science Classrooms: Storytelling for All Ears!" *Phys. Teach.* 60, 419–421

Summers, M., Kruger, C. & Mant, J. (1998). Teaching Electricity Effectively In The Primary School: A Case Study. *International Journal of Science Education, 1998,* 20 (2), 153-172.

Swimme, B. (1988). The cosmic creation story. In D. Griffi n (Ed.), *The reenchantment of science* (pp. 47–56). New York: SUNY Press.

Thoma B et al. (2018) *The impact of social media promotion with infographics and podcasts on research dissemination and readership*. Can. J. Emerg. Med. 20, 300–306.

Törnkvist S, Petterson K-A and Transtömer G (1993) *Confusion by representation: on students' com-prehension of the electric field concept Am. J. Phys.* 61 335–8

Treccani.it (2024): https://www.treccani.it/enciclopedia/stimolo/; https://www.treccani.it/enciclopedia/rinforzo/

Trumper, R. & Gorsky, P. (1993). Learning about energy: the influence of alternative frameworks, co-gnitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (7), 637-648.

Utoyo A. W., (2018) Video Games as Tools for Education, *Journal of Game, Game Art and Gamification Vol. 03, No. 02,* School of Design – Visual Communication Design Bina Nusantara University

Van de Walle GA, Spelke ES. (1993) *Perceiving and reasoning about objects: insights from infants*. In: *Spatial Representation*;, 132–161.

Vandenberg, D. (2018). Using podcasts in your classroom. Metaphor, (2), 54-55.

Velden T., Lagoze C. (2009) *Communicating chemistry*. Nat. Chem. 1, 673–678.

Veritasum (2024): Consultato gennaio 2025 da: Veritasium Science and engineering videos

Viennot L and Ramson S (1992) *Students' reasoning about the superposition of electric fields Int. J. Sci. Educ.* 14 475–87

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wall, I.R. (2019). Podcast as assessment: entanglement and affect in the law school. *Law Teacher, 53*(3), 309-320.

Wallach H., (1959) *The Perception of Motion*; Scientific American, Vol. 201, No. 1, July, pp. 56-61 Published by: Scientific American, a division of Nature America, Inc.

Watts, D. (2002). Some alternative views of energy. Physics Education. 18. 213. 10.1088/0031-9120/18/5/307.

Wentzel L., De Hart K. (2020). The use of podcasts and videocasts by tertiary accounting students in distance education. *South African Journal of Higher Education, 34*(1), 267-287.

Wikibooks (2024): Consultato Novembre 2024 da https://it.wikibooks.org/wiki/Wikibooks:About

Wikipedia (2024): Consultato Novembre 2024 da https://it.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Wikipediani

Wikipedia (2025): Consultato Gennaio 2025 da https://it.wikipedia.org/wiki/American_Association_of_Physics_Teachers

Wikipedia b (2024): Consultato Dicembre 2024 da https://it.wikipedia.org/wiki/Contenuto_aperto

Wikipedia b (2025): Consultato Gennaio 2025 da https://it.wikipedia.org/wiki/American_Journal_of_Physics

Wikipedia c (2024): Consultato Gennaio 2025 da https://it.wikipedia.org/wiki/Processo_cognitivo

Wikipedia c (2025). Consultato Gennaio 2025 da https://en.wikipedia.org/wiki/Wiki

Wikipedia d (2024): Consultato Dicembre 2024 da https://it.wikipedia.org/w/index.php?title= Jean_ Piaget&veaction=edit&section=7

Wikipedia d (2025). Consultato Gennaio 2025 da https://it.wikipedia.org/wiki/Linguaggio_di_markup

Wikipedia e (2024) : Consultato Dicembre 2024 da https://en.wikipedia.org/wiki/Physical_Science_Study_Committee

Wikipedia e (2025) Consultato Gennaio 2025 da https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Wikipedians#Demographics

Wikipedia f (2024) Consultato da https://en.wikipedia.org/wiki/Education_Development_Center

Wikipedia f (2025) Consultato gennaio 2025 da https://it.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget

Wikipedia g (2025) Consultato gennaio 2025 da https://en.wikipedia.org/wiki/Education_Development_Center

Williams A., Stanisstreet M., Spall K., Boyes E., Dickson D., (2003) "*Why aren't secondary students*

Xu F, Spelke ES. (2000) *Large number discrimination in 6-month-old infants*. *Cognition*, 74:B1–B11.

Young, B., Pouw, A., Redfern, A., Cai, F., Chow, J. (2021). Eyes for Ears - A Medical Education Podcast Feasibility Study. *Journal of Surgical Education, 78*(1), 342-345.