



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

Dipartimento di Fisica

Corso di laurea magistrale in Scienze fisiche

**Confronto tra tre diverse metodologie
didattiche in sperimentazioni di
meccanica e termologia in un centro di
formazione professionale**

Tesi per la laurea di:
Diliberto Alessandro

Relatore/Relatrice:
Prof. Malgieri Massimiliano

Anno accademico 2023 – 2024

Indice:

1 - Introduzione.....	5
2 - La didattica della fisica.....	9
2.1 La ricerca e le metodologie didattiche	9
2.1.1 La Pedagogical Content Knowledge	10
2.2 Le teorie dell'apprendimento	14
2.3 Le indicazioni della ricerca riguardo le metodologie didattiche.....	17
2.3.1 La lezione frontale.....	19
2.3.2 La lezione in laboratorio di fisica	21
2.3.3 Il problem-based learning e il challenge-based learning.....	25
2.4 Le difficoltà degli studenti	29
2.4.1 La cinematica.....	31
2.4.2 La termologia.....	37
3 - La sperimentazione presso Engim Artigianelli.....	43
3.1 La formazione professionale in Italia	43
3.2 Engim Piemonte ETS	46
3.3 Le classi coinvolte	48
3.4 La sperimentazione	51
3.5 - Risultati dei test preliminari.....	53
3.5.1 Cinematica.....	55
3.5.2 Termologia.....	65
4 - Resoconto delle lezioni.....	77
4.1 Lezione frontale.....	77
4.1.1 Cinematica in II triennale e al IV anno.....	77
4.1.2 Termologia in I triennale e III triennale	82
4.2 Lezione di tipo laboratoriale.....	87
4.2.1 Cinematica in I biennale e III triennale	89

4.2.2	Termologia in II biennale e al IV anno	98
4.3	Lezione impostata in modalità Challenge-Based Learning (CBL)	104
4.3.1	Cinematica in I triennale e in II biennale.....	107
4.3.2	Termologia in I biennale e in II triennale.....	110
5	- Analisi dei risultati.....	113
5.1	Lezione frontale.....	115
5.1.1	Cinematica.....	115
5.1.2	Termologia.....	121
5.2	Lezione laboratoriale	128
5.2.1	Cinematica.....	128
5.2.2	Termologia.....	134
5.3	Lezione in Challenge-Based learning	141
5.3.1	Cinematica.....	141
5.3.2	Termologia.....	147
5.4	Confronto tra metodi didattici.....	156
5.4.1	Confronto di cinematica	156
5.4.2	Confronto di termologia.....	160
5.5	Engagement.....	163
5.6	Confronto e considerazioni sulle tre metodologie	167
	Ringraziamenti.....	176
	Bibliografia.....	177
	Pubblicazioni.....	177
	Siti Web.....	182
	Video da fonti web.....	183
	Appendice A: Questionario di cinematica.....	184
	Appendice B: Questionario di termologia	190
	Appendice C: Schede di laboratorio.....	195

1 - Introduzione

La scuola da sempre ha avuto un principale obiettivo: curare la crescita dell'individuo. Questo, nella scuola secondaria di secondo grado si declina come il fornire ad ogni studente *“gli strumenti culturali e metodologici per una comprensione approfondita della realtà, affinché egli si ponga, con atteggiamento razionale, creativo, progettuale e critico, di fronte alle situazioni, ai fenomeni e ai problemi, ed acquisisca conoscenze, abilità e competenze coerenti con le capacità e le scelte personali e adeguate al proseguimento degli studi di ordine superiore, all'inserimento nella vita sociale e nel mondo del lavoro”*¹. Da queste indicazioni del MIUR appare immediatamente chiaro che la centralità degli sforzi della scuola si orienta verso quella che è definita come la “comprensione della realtà”, e su questa comprensione, infatti, che si concentra lo sforzo degli insegnanti della scuola italiana.

Proprio per questo motivo, negli ultimi decenni la scuola ha intrapreso la strada di una graduale diminuzione dell'importanza attribuita al nozionismo, inteso come conoscenza ed assimilazione di contenuti trasmessi dal docente al discente, per orientarsi verso un paradigma di matrice più costruttivista, in cui si mette in risalto il ruolo dell'educando come protagonista attivo nella costruzione della propria conoscenza.

Una forte spinta a questo cambiamento, relativo alle idee sull'insegnamento e sull'apprendimento, è attribuibile al lavoro fatto dalla ricerca in didattica che ha spostato il centro di interesse del lavoro dell'insegnante dal contenuto dell'azione didattica (nel senso della “nozione” da far memorizzare all'allievo), alla relazione tra l'insegnante e l'allievo durante la trasmissione del sapere, e si occupa principalmente di come questa relazione possa produrre un apprendimento significativo da parte di quest'ultimo. La ricerca in didattica nella sua forma più generale infatti prende le distanze da due concezioni, purtroppo molto diffuse, relative all'insegnamento: da una parte c'è l'idea che per essere un buon insegnante sia sufficiente “saper insegnare”, indipendentemente dal contenuto dell'insegnamento, per cui un buon insegnante si riduce ad essere un buon oratore che potrebbe insegnare qualunque argomento (il sottotitolo della “Didattica

¹ fonte: <https://www.miur.gov.it/web/guest/scuola-secondaria-di-secondo-grado>

generale” di Comenio, uno dei primi testi che storicamente si sono occupati di insegnamento già nel XVII secolo era infatti “l’arte universale d’insegnare tutto a tutti”), ed opposta a questa, ma ugualmente diffusa, si trova l’idea che per insegnare bene una materia l’unica competenza necessaria sia quella di conoscerla molto bene, secondo la concezione che “sapere è saper insegnare”. A queste due visioni, viene contrapposta l’idea che al centro dell’insegnamento ci sia il triangolo allievo-insegnante-sapere e le relazioni che intercorrono tra questi tre attori principali. La prima relazione da considerare, tra l’insegnante ed il sapere, è la trasposizione didattica che è in primo luogo la capacità di tradurre il contenuto da insegnare in modo che esso non sia la semplice ripetizione della conoscenza accademica di un argomento, ma che sia il frutto di un processo di selezione degli argomenti da trattare, in secondo luogo è il processo di riduzione della complessità di un dato argomento in modo che diventi comprensibile per gli studenti senza ricorrere ad iper-semplificazioni che potrebbero arrivare al punto di inficiarne la correttezza da un punto di vista accademico, ed in terzo luogo è l’organizzazione coerente tra i vari argomenti trattati in modo che la materia insegnata non risulti frammentata (Chevallard, 1985). La seconda relazione da considerare è quella che intercorre tra l’allievo ed il sapere che riguarda le personali strategie di apprendimento che ogni alunno mette in gioco ma anche l’integrazione delle nuove conoscenze con quelle già acquisite ed il superamento di eventuali concezioni errate precedenti, ed infine la terza relazione è quella che si instaura tra allievo ed insegnante, che comprende le interazioni in classe sia da un punto di vista puramente didattico, vale a dire legato al rapporto di fiducia e rispetto reciproco necessario per la riuscita del processo educativo, sia da un punto di vista più umano cioè legato al clima di classe positivo e alla capacità dell’insegnante di generare quel misto di curiosità e motivazione che spinge gli allievi a mettere in moto il processo di apprendimento.

La didattica della fisica si allinea a questa visione relazionale dell’insegnamento, seppur con le sue specificità. Un primo punto da sottolineare è il concetto, già citato, di trasposizione didattica, che nella fisica è inevitabile, necessario e delicato. La fisica che viene spiegata in aula nella scuola secondaria non può essere la stessa che si affronta a livello accademico, a volte a causa di difficoltà concettuali che potrebbero avere gli studenti nella comprensione di un dato argomento (per esempio la fisica moderna), ma il più delle volte a causa della struttura matematica che sarebbe necessaria sin dai primi anni di studio (basti pensare all’importanza che ha in fisica il concetto di derivata, che però viene affrontato negli ultimi anni della scuola secondaria). Per la buona riuscita di questo processo è necessario accettare la distanza tra fisica accademica e fisica insegnata ma tenerla costantemente sotto controllo, per evitare di cadere nella pseudoscienza, nello svuotamento del contenuto scientifico o nella riduzione della

materia ad un formulario sterile. Il rischio per gli insegnanti non è solo quello di dare informazioni sbagliate, ma è di natura epistemologica: non compiere la trasposizione può portare gli studenti a credere che la fisica abbia una struttura frammentata e che valgano regole diverse in base all'argomento oggetto di studio, o che il vero contenuto della fisica siano le formule, fisse ed immutabili (Hammer, 1994). Un secondo aspetto che sarà centrale in questa tesi è il cambiamento concettuale, inteso come quel processo di trasformazione profonda della concezione che ogni studente ha di un determinato fenomeno fisico. Ogni studente, infatti, vive in un mondo "fisico", ed in maniera naturale fin dall'infanzia si crea delle idee che possono essere più o meno strutturate e complesse, legate all'esperienza quotidiana (Caramazza, McCloskey & Green, 1981; McCloskey, 1983; Spelke, 1991; Viennot, 1979; Vosniadou & Brewer, 1992). Queste idee spesso divergono, in parte o totalmente, dalla spiegazione scientifica, ed in questo caso si parlerà di "misconcezioni", e il compito dell'insegnante è fare in modo che gli allievi possano sostituire le idee errate con altre che sono scientificamente corrette (Tombolato, 2016). Quando questo avviene e gli studenti hanno compreso in profondità il concetto e sono in grado di applicarlo in maniera autonoma anche a nuove situazioni, si parla di apprendimento significativo avvenuto, che è il fine ultimo di tutto il processo di insegnamento.

Questo lavoro riporterà il risultato di una sperimentazione avvenuta su sei classi di studenti della scuola secondaria di secondo grado di un centro di formazione professionale di Torino, e sarà strutturata con una prima parte di inquadramento della ricerca in didattica della fisica e di presentazione della scuola e degli studenti coinvolti ed una seconda in cui verrà presentato il lavoro svolto in aula e la discussione dei dati raccolti. Seguendo questa scansione, il secondo capitolo è dedicato ad una panoramica sulle indicazioni della ricerca in didattica della fisica, verrà posta particolare attenzione alla Pedagogical Content Knowledge (2.1), che è stata una guida per questa sperimentazione grazie alla particolare attenzione che dedica all'identificazione di strategie didattiche efficaci e alla conoscenza delle misconcezioni degli studenti. In seguito, verranno esposte le principali teorie dell'apprendimento (2.2) che hanno portato alla definizione delle modalità didattiche che saranno oggetto di sperimentazione: la lezione frontale (2.3.1), la lezione di tipo laboratoriale (2.3.2) e la lezione in modalità challenge-based learning (2.3.3). Successivamente verranno affrontate le principali misconcezioni degli studenti (2.4) riguardo la cinematica (2.4.1) e la termologia (2.4.2), argomenti oggetto delle lezioni svolte con gli studenti.

Il terzo capitolo è dedicato all'inquadramento preciso delle condizioni iniziali della sperimentazione, sarà brevemente raccontata la nascita dei centri di formazione professionale nel contesto dello sviluppo scolastico italiano (3.1), verrà approfondita la

situazione della città di Torino e le relative condizioni che portarono alla nascita dell'Engim (3.2), per poi entrare nel CFP ed analizzare la composizione delle classi coinvolte dalla sperimentazione (3.3). Completa questo quadro iniziale la suddivisione delle modalità didattiche e degli argomenti nelle classi (3.4) e la presentazione dei risultati del questionario preliminare atto a stabilire il livello di conoscenze pregresse degli studenti coinvolti (3.5).

Nel capitolo successivo verrà riportato un dettagliato resoconto dello svolgimento delle lezioni in aula (4.1), in laboratorio (4.2) ed in modalità challenge (4.3) sia per quanto riguarda la cinematica che la termologia. I dati raccolti nel questionario somministrato al termine delle lezioni e a fine anno verranno analizzati nel quinto capitolo, inizialmente da un punto di vista della comprensione concettuale e di quanto essa migliora a seguito di una lezione di tipo frontale (5.1), laboratoriale (5.2) o in challenge (5.3), per poi confrontare la valutazione degli studenti relativa all'engagement (5.4), ed infine fare delle considerazioni complessive (5.5).

Concluderà questo lavoro un ultimo capitolo (6), in cui verranno esplicitati alcuni limiti di questa ricerca e verranno date alcune idee per futuri lavori.

L'obiettivo di questa ricerca non è quello di definire con assoluta certezza quale metodologia didattica sia la migliore da utilizzare, ma è quello di fornire una buona base di partenza per studi sull'efficacia didattica di queste metodologie nei centri di formazione professionale, auspicando di poter essere parte di quel processo di miglioramento della didattica in un tipo di scuola che su questo tema si trova, per molti motivi diversi, spesso in difficoltà.

2 - La didattica della fisica

2.1 La ricerca e le metodologie didattiche

La ricerca in didattica delle scienze (ed in particolare della fisica) si occupa fondamentalmente di rispondere all'esigenza del miglioramento della qualità della didattica, e l'obiettivo è quello di motivare gli allievi allo studio di una materia che, a livello statistico, è considerata tra le più difficili da studiare. Molte ricerche si sono concentrate sulla figura dell'insegnante (Hirn & Viennot, 2000; Pinto, 2005) e sulla sua formazione (Abell, 2000; Borghi, De Ambrosis & Mascheretti, 2003; Sperandeo-Mineo, 2004; Psillos, Spyrtou & Kariotoglou, 2005; Tytler, 2005; Besson, Borghi, De Ambrosis & Mascheretti, 2010), temi considerati centrali dalla ricerca perché l'insegnante è il vero autore della quotidiana pratica didattica in aula. La ricerca deve ricevere informazioni e al contempo fornire suggerimenti agli insegnanti per poter essere efficace e aderente alla realtà, con lo scopo di favorire la profonda comprensione della materia attraverso questo costante dialogo e attraverso la sperimentazione e lo studio della validità di metodi didattici innovativi o consolidati.

Fondamentale in questo senso è stato un lavoro di Shulman (1986) in cui si definisce quello che ad oggi è il modello predominante e più utilizzato per definire quali sono le principali competenze degli insegnanti e che farà da guida di fondo di questo lavoro di tesi: si tratta della *Pedagogical Content Knowledge*², cioè *“that special amalgam of content and pedagogy that is uniquely the province of teachers, their own special form of professional understanding”* (ovvero “quell'amalgama speciale di contenuto e pedagogia che è prerogativa esclusiva degli insegnanti, la loro forma speciale di comprensione professionale”).

² D'ora in poi abbreviata con PCK.

2.1.1 La Pedagogical Content Knowledge

È interessante approfondire brevemente il tema della PCK perché si tratta del modello più seguito nella ricerca contemporanea. Questa impostazione è infatti in grado di unire due temi generali che sono fondamentali per la didattica: da un lato la conoscenza della materia e dei contenuti dell'insegnamento, dall'altro la conoscenza pedagogica di studenti, metodi, difficoltà ed in generale di quanto è necessario per poter fare lezione in maniera efficace.

Il modello di Shulman negli anni è stato ripreso, ampliato ed approfondito (Grossman 1991; Magnusson, Krajcik & Borko 1999; De Jong, 2003; Etkina, 2010), delineando come centrali per la modellizzazione della PCK i seguenti concetti: la conoscenza della disciplina per l'insegnamento, la conoscenza delle difficoltà e delle idee pregresse degli studenti e la conoscenza di strategie pedagogico-didattiche efficaci a cui si accompagna la conoscenza delle tecniche di valutazione degli studenti.

La conoscenza della disciplina per l'insegnamento comprende la conoscenza della materia da insegnare ma anche la disposizione mentale all'insegnamento: è importante che il docente di fisica conosca i programmi ministeriali oggetto di insegnamento ma non solo, è altresì importante conoscere i limiti dei suddetti programmi per evidenziarli agli studenti. In questo modo non avranno l'impressione di seguire una materia che potrebbero reputare poco convincente, ma saranno chiare le connessioni e le intersezioni tra argomenti che sul libro di testo tendono ad essere separati e che invece è necessario mettere in risalto (un esempio è la connessione tra ottica geometrica e ondulatoria, nonché tra ottica ondulatoria ed elettromagnetismo). Può essere utile a volte soffermarsi sullo sviluppo storico della disciplina, sia perché spesso nei libri è eccessivamente semplificato, sia perché può rappresentare un arricchimento culturale, anche in un'ottica interdisciplinare, evidenziare la storia e le tappe dell'evoluzione del pensiero scientifico soprattutto in periodi storici particolarmente fecondi, come la nascita della fisica moderna. Non è però sufficiente la conoscenza del curriculum di fisica, è infatti estremamente importante quella che Etkina definisce come "*orientation towards teaching*" cioè la capacità di vedere la fisica dal punto di vista dell'insegnamento, vale a dire quella visione d'insieme che parte da principi generali per poi focalizzare l'attenzione sugli argomenti specifici in modo trasversale e non secondo una scansione temporale fatta troppo spesso di compartimenti stagni.

La consapevolezza delle conoscenze pregresse e delle difficoltà tipiche che potrebbero avere gli studenti con alcuni concetti chiave o argomenti specifici è un altro aspetto chiave della PCK. Gli studenti infatti possiedono idee, schemi mentali e spiegazioni

proprie su fenomeni fisici ben prima di iniziare lo studio della fisica³ e a partire dagli anni Settanta la ricerca in didattica ha iniziato ad occuparsi anche di ricercare ed elencare le loro pre-concezioni, notando che si trovano idee molto simili anche in contesti culturali e geografici differenti. Queste similitudini tra idee ingenue in contesti diversi hanno dapprima fatto pensare ad una sorta di fisica spontanea autogenerata dagli studenti (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Vosniadou, 1994), successivamente la ricerca si è orientata verso una concezione che prevede un misto di idee che gli studenti si creano in base alle loro esperienze pratiche quotidiane, che all'aumentare dell'età tendono ad ampliarsi e diventare sempre più elaborate. Questi schemi esplicativi hanno quindi tempo per radicarsi molto in profondità e spesso hanno conferme sperimentali costanti nella quotidianità degli studenti ma quando vengono trattati a scuola vengono progressivamente abbandonati per essere sostituiti o arricchiti da altri schemi mentali più corretti ed articolati che riescono a conciliare i loro schemi con quelli appresi con lo studio della fisica. Questa miscela può essere un tutt'uno in modo armonioso e completo, ed in questo caso si ottiene nello studente una reinterpretazione personale dell'argomento studiato, oppure una coesistenza disarmonica ed incoerente tra due concezioni diverse, in alcuni casi in netta contrapposizione, che lo studente attiva in funzione del contesto e che generano misconcezioni ed ibridizzazioni in alcuni casi anche molto resistenti all'istruzione (come nel video "A private universe", Schneps & Sadler, 1988; Vosniadou & Brewer, 1992).

Conoscere ed identificare questi schemi mentali costruiti in precedenza (in questo caso si parlerà di pre-concezioni) o errati (in questo, di misconcezioni) è fondamentale nel momento della costruzione di nuove conoscenze per evitare che interferiscano e si formino ibridizzazioni⁴, che dal punto di vista didattico sono estremamente pericolose perché difficilmente rilevabili a scuola o perché generano nello studente una sorta di "fisica multipla", vale a dire una separazione delle conoscenze fisiche che porta lo

³ Esistono articoli, come Spelke (1991), Baillargeon, Needham e Devos (1992) e Vosniadou (1994) che trattano delle cosiddette "framework theories", che potremmo definire "teorie ingenue", e riportano degli studi compiuti su bambini molto piccoli, alcuni in età preverbale.

⁴ Un esempio molto noto e molto utile per comprendere bene cosa si intenda con il termine "ibridizzazione" è relativo all'articolo di Vosniadou e Brewer del 1992 in cui viene chiesto a bambini tra i 6 e gli 11 anni il motivo per cui la Terra sferica sembra piatta. Alcune risposte, tentativi di conciliare queste due informazioni discordanti, sono state: che la Terra è sferica ma in alcuni punti è appiattita; che la Terra è sferica "fuori" ma l'umanità si trova all'interno (come se si trattasse di un contenitore sferico con della terra all'interno), che la Terra è tonda ma piatta, come un disco; che esistono due Terre distinte, una astronomica sferica ed una abitata piatta.

studente ad utilizzare la “fisica scolastica” a scuola e la “fisica quotidiana” (Osborne, 1984) nella vita di tutti i giorni. Questo processo è possibile per l’insegnante quando esso riesce a facilitare negli studenti la creazione di collegamenti e connessioni tra nuovi contenuti e concetti già noti, in questo modo si crea una conoscenza più significativa e duratura. Inoltre, conoscere il modo di pensare degli studenti può essere utile anche per adattare l’insegnamento, personalizzandolo in base alle diverse esperienze degli studenti che possono aver portato alla creazione di preconcezioni differenti, rendendolo più interessante e coinvolgente. Questo processo porta a delle conseguenze interessanti da un punto di vista didattico: in questo modo si favorisce un apprendimento più attivo da parte dello studente, che è portato a non ricevere passivamente delle nozioni ma a riflettere sulle proprie idee, a confrontarle con quelle degli altri e a conciliarle con quelle dell’insegnante costruendo la conoscenza in modo collaborativo. Inoltre, costruendo la lezione personalizzata sulla classe e non usando sempre lo stesso approccio “standard”, gli studenti sentono di essere compresi e valorizzati e questo sentimento ha una ricaduta molto forte non solo sull’engagement dello studente ma anche sulla motivazione e sull’impegno nell’apprendimento, sapere che l’insegnante prende in considerazione e tiene conto delle loro idee li fa sentire parte attiva del processo di apprendimento.

Il tema della conoscenza di strategie pedagogico-didattiche efficaci è strettamente collegato con quello della conoscenza delle idee pregresse degli studenti, poiché riguarda il momento in cui l’insegnante è in aula e interagisce direttamente con gli studenti. Quando si parla di strategie didattiche, si intende l’insieme di metodi e approcci che l’insegnante utilizza nel momento in cui è davanti agli studenti ed affronta un argomento di lezione. Queste strategie sono fortemente influenzate dall’esperienza dell’insegnante, vengono infatti acquisite attraverso tentativi ed errori, specialmente nei primi anni di insegnamento. In questo periodo l’insegnante costruisce un repertorio di esempi, analogie, esperimenti e materiali didattici utili per chiarire concetti che possono risultare complessi per gli studenti. La scelta stessa dell’analogia o dell’esempio che viene utilizzato per chiarire un concetto, può essere fondamentale per la comprensione degli studenti: più spesso di quanto non si immagini un esempio che è chiarissimo per chi lo espone può risultare confuso o ambiguo per chi lo ascolta per la prima volta. Questo accade perché l’insegnante utilizza concetti che ritiene siano chiari per gli studenti ma non sempre lo sono (per esempio le analogie idrodinamiche per i circuiti elettrici), oppure potrebbe presupporre una differenziazione di concetti che per gli studenti non è chiara (per esempio parlare di peso e massa per gli studenti potrebbe essere la stessa cosa), o al contrario quello che per l’insegnante è chiaro che sia una differente manifestazione dello stesso concetto per gli studenti potrebbero essere due concetti completamente differenti (per esempio la pressione idrostatica e la spinta di

Archimede), oppure ancora gli studenti potrebbero non avere chiari i limiti di validità di una certa analogia e attribuire ad un fenomeno delle proprietà o delle caratteristiche che esso non ha (per esempio paragonare la conduzione termica ad un flusso di calore o l'atomo ad una palla da biliardo). Ovviamente quando si parla di strategie didattiche non si tratta solo di definire le analogie da usare o non usare, il tema è molto più ampio e comprende anche la capacità di mantenere attivo il proprio senso critico di fronte al libro di testo e, come diventerà chiaro in seguito, la scelta stessa del modo di affrontare un argomento di lezione.

2.2 Le teorie dell'apprendimento

Gli studi psicologici e pedagogici si sono spesso occupati dei processi di apprendimento e hanno prodotto diverse teorie per poter comprendere meglio questo processo. Si è velocemente passati da una concezione di un semplice processo di trasmissione e ricezione della conoscenza alle tre grandi "teorie dell'apprendimento" che possiamo datare dall'inizio del '900 in poi. La prima che si sviluppa è quella comportamentista⁵ che ha alla base l'apprendimento visto come il risultato del comportamento del soggetto in risposta a stimoli esterni, con una visione molto simile a quella che si è solita usare per l'addestramento degli animali (in questa visione troviamo infatti gli studi di Pavlov sui cani, di Thorndike sui gatti e di Skinner sui topi). Ciò che viene appreso è infatti causato da uno stimolo esterno ed è il risultato dell'associazione tra questo stimolo ed il comportamento in risposta ad esso, considerando sostanzialmente passivo il soggetto che apprende. In questo paradigma non è molto approfondita la struttura della lezione ma sono molto importanti i contenuti della didattica e soprattutto le metodologie di valutazione, in quanto il voto fornisce lo stimolo esterno che è necessario per innescare il processo di apprendimento, anche utilizzando feedback a più livelli o con più frequenza. Successivamente, nasce una nuova visione⁶ che si discosta da quella comportamentista perché considera attivo il soggetto che apprende. Questo approccio è chiamato cognitivista perché in questa prospettiva l'apprendimento è visto in relazione alle diverse componenti cognitive coinvolte, in particolare si verifica una forte correlazione tra lo studio dell'apprendimento e quello della memoria poiché viene data molta importanza alla capacità di ricordare, codificare ed immagazzinare le informazioni (in questa concezione, la mente viene paragonata ad un computer). Viene inoltre data molta importanza a ciò che l'allievo già conosce (Ausubel ritiene che "il singolo fattore

⁵ La letteratura è abbastanza unanime nella datazione della nascita del comportamentismo con la pubblicazione dell'articolo "La psicologia così come la vede un comportamentista" di John Broadus Watson, a Chicago, nel 1913.

⁶ In questo caso è più complesso stabilire con precisione una data di inizio perché si è trattato di un processo graduale avvenuto tra gli anni '50 e '60 con i contributi delle nuove discipline in crescita in quegli anni: la teoria dell'informazione, le neuroscienze e la cibernetica.

più importante che influenza l'apprendimento sono le conoscenze che lo studente già possiede", 1968), affinché l'apprendimento sia profondo e duraturo, infatti, il soggetto che apprende deve essere in grado di collegare le nuove informazioni alle sue conoscenze pregresse, che possono essere immagini, concetti, idee o altro. Con il cognitivismo inizia a diventare importante la progettazione dei contenuti formativi perché tale progettazione tiene conto del processo di trasferimento dell'informazione per poterlo massimizzare e rendere il più efficace, infatti per Ausubel, per facilitare l'apprendimento significativo l'insegnante dovrebbe ricorrere a "organizzatori cognitivi" cioè esempi, schemi, materiali, idee che abbiano la funzione di base teorica di riferimento su cui il discente aggancia il nuovo contenuto, ampliando, integrando e differenziando lo schema concettuale originario. L'insegnante cognitivista, nel trasmettere le conoscenze agli allievi non si occupa solo della trasmissione del contenuto, ma si interroga su come tale contenuto possa essere codificato, elaborato e memorizzato, per questo motivo preparerà lezioni di difficoltà graduale, in modo da permettere all'allievo di apprendere conoscenze che via via andranno a far parte della base per creare nuove connessioni nelle lezioni successive.

Nel corso degli anni Ottanta, dal cognitivismo prende piede un nuovo modello teorico di apprendimento, considerato attualmente il modello di riferimento della maggior parte degli studi in didattica, che è il modello costruttivista. Per alcuni aspetti simile al cognitivismo, anche per il costruttivismo la conoscenza è un processo attivo del soggetto che impara sulla base delle conoscenze precedenti, ma a differenza del primo, il costruttivismo non si focalizza sui processi mentali interni individuali legati all'apprendimento, ma su come la conoscenza possa essere costruita dal soggetto anche in funzione delle interazioni sociali. Per il costruttivismo, infatti, l'apprendimento è un'attività sociale che si sviluppa nel contesto concreto attraverso discussioni, attività di gruppo e relazioni. In questo contesto, l'insegnante non è più il semplice fornitore di informazioni e guida nell'elaborazione delle informazioni, anche con materiali didattici che stimolano i processi cognitivi degli alunni, ma diventa un facilitatore dell'apprendimento, colui che crea un ambiente di apprendimento stimolante e collaborativo, che mette a disposizione le risorse culturali necessarie per la costruzione del sapere (non più solo le informazioni), e favorisce l'interazione tra gli alunni e tra alunni ed insegnante, per la costruzione di un sapere condiviso. Le proposte didattiche costruttiviste comprendono attività di problem solving e di apprendimento basato su progetti perché l'obiettivo è che gli studenti, utilizzando un approccio pratico alla risoluzione dei problemi, migliorino la loro comprensione dei concetti base della disciplina piuttosto che essere in grado di memorizzare formule e leggi, inoltre con questo approccio l'insegnante può lavorare insieme all'allievo curando la relazione con

esso e fornendo uno scaffolding crescente in funzione delle capacità e del grado di autonomia di quest'ultimo.

2.3 Le indicazioni della ricerca riguardo le metodologie didattiche

Sulla base delle metodologie didattiche adottate in classe, è possibile individuare una differenza tra approcci passivi e attivi. Tale distinzione, con profonde ripercussioni sui processi di apprendimento degli studenti, è originata dalle differenti teorie sull'apprendimento che influenzano, in modo esplicito o implicito, le scelte dell'insegnante. I metodi passivi, tradizionalmente predominanti nel sistema educativo forse perché risalenti a tradizioni più radicate, si basano principalmente sulla trasmissione unidirezionale della conoscenza dal docente allo studente. La lezione frontale rappresenta l'esempio classico di questa modalità: l'insegnante espone i contenuti mentre gli studenti ascoltano e prendono appunti. Questo approccio include anche altre pratiche come la lettura individuale del libro di testo o la visione di video didattici senza interazione. Sebbene questi metodi possano risultare efficienti nella trasmissione di grandi quantità di informazioni in tempi relativamente brevi, la ricerca educativa ha evidenziato significativi limiti in termini di mantenimento delle conoscenze e di sviluppo di competenze pratiche.

Al contrario, i metodi attivi sono originati dal paradigma cognitivista e costruttivista e si fondano sul principio dell'apprendimento attraverso l'esperienza diretta e il coinvolgimento dello studente. Questi approcci includono una vasta gamma di pratiche didattiche: l'apprendimento basato su progetti (Project-Based Learning), dove gli studenti lavorano su problemi complessi e reali, che può comprendere anche elementi di gamification per trasformare la risoluzione del problema in una sfida tra gruppi di studenti (in questo prende il nome di Challenge-Based Learning); l'apprendimento per scoperta guidata (Inquiry-Based Learning), in cui gli studenti conducono investigazioni scientifiche; il lavoro di laboratorio guidato o non guidato, dove gli studenti manipolano direttamente strumenti e materiali e l'apprendimento cooperativo, che prevede interazioni strutturate tra pari. La caratteristica distintiva di questi metodi è il ruolo attivo dello studente nella costruzione della propria conoscenza.

La ricerca educativa degli ultimi decenni ha costantemente dimostrato la maggiore efficacia dei metodi attivi rispetto a quelli passivi, in particolare nell'insegnamento delle scienze. Gli studi mostrano che gli studenti coinvolti in attività di apprendimento attivo sviluppano una comprensione più profonda dei concetti fisici, conservano più a lungo le conoscenze acquisite e sviluppano migliori capacità di problem-solving. Inoltre, questi approcci favoriscono lo sviluppo di competenze trasversali come il pensiero critico, la capacità di collaborazione e l'autonomia nell'apprendimento.

Tuttavia, sarebbe semplicistico concludere che i metodi passivi siano completamente inefficaci o da abbandonare. La realtà dell'insegnamento suggerisce piuttosto la necessità di un approccio integrato. I metodi passivi, quando ben strutturati e utilizzati in momenti appropriati, possono essere molto efficaci per introdurre nuovi concetti, fornire quadri teorici complessi o sistematizzare conoscenze acquisite attraverso l'esperienza diretta. La chiave è trovare il giusto equilibrio e utilizzare ciascun metodo per i suoi punti di forza specifici.

In particolare, verranno qui trattate tre differenti modalità didattiche, scelte sulla base di alcune caratteristiche che le rendono spesso utilizzate in aula dagli insegnanti di fisica con l'obiettivo di analizzarle prima da un punto di vista teorico e, nel prossimo capitolo, contestualizzato nel lavoro svolto in classe. Si tratta della lezione frontale, della lezione in laboratorio di fisica (con diversi gradi di scaffolding) e del challenge-based learning vista come approccio particolare del problem-based learning.

2.3.1 La lezione frontale

Possiamo considerare la lezione frontale come il metodo didattico “tradizionale”, con influenze legate sia al paradigma trasmissivo sia al paradigma comportamentista, è sicuramente il più utilizzato dai docenti e prevede l’esposizione dei concetti da parte dell’insegnante e l’ascolto degli studenti che contestualmente prendono appunti. La caratteristica principale è la comunicazione sostanzialmente monodirezionale dal docente allo studente perché la lezione è focalizzata sulla trasmissione di contenuti e sulla spiegazione dei concetti con una struttura espositiva sequenziale che spesso segue la scansione degli argomenti nell’ordine riportato dal libro di testo. Questo tipo di lezione è soggetto ad alcune evidenti criticità generate dal ruolo passivo che assumono gli studenti, come il loro possibile scarso coinvolgimento durante la lezione (spesso la raccomandazione dell’insegnante di interrompere la lezione qualora ci fosse qualche passaggio poco chiaro cade nel vuoto così come la richiesta, a fine lezione, di eventuali domande), la poca interazione tra loro e l’insegnante e la difficoltà di mantenere l’attenzione per tutta la durata della lezione. Nonostante questi difetti, questo tipo di lezione ha i suoi punti di forza: permette di trasmettere molte informazioni in modo organizzato e compatto, è efficace quando si devono introdurre concetti nuovi e complessi e facilita la gestione della classe, anche numerosa. La ricerca didattica non ritiene che questo metodo sia interamente da abbandonare, ma fornisce utili suggerimenti su come integrare questo tipo di lezione con approcci più attivi e partecipativi in modo da mantenere la chiarezza espositiva e non rischiare di perdere l’attenzione degli studenti. Per esempio, un suggerimento per rendere attivi gli studenti è quello di interrompere regolarmente la spiegazione per fare domande-stimolo su quanto appena spiegato o per anticipare il passaggio tra due concetti, proporre brevi discussioni tra pari, utilizzare esempi concreti tratti dalla vita reale degli studenti o chiedere loro di pensare ad esempi pertinenti. La tecnologia può aiutare a rendere la lezione più interattiva e coinvolgente utilizzando supporti multimediali: video, presentazioni interattive, quiz online che danno feedback immediato, clicker, software di simulazioni e molte altre risorse che sono in continua evoluzione. Un altro aspetto migliorabile riguarda la struttura della lezione cioè l’utilizzo di un approccio ibrido che preveda la lezione organizzata in momenti diversi: una prima fase in cui vengono attivate le conoscenze pregresse degli studenti sull’argomento con domande di ripasso o riflessioni su quanto spiegato nelle lezioni precedenti, una seconda fase in cui si alternano momenti di spiegazione più frontali con momenti legati a brevi attività pratiche (eventualmente anche multimediali) ed una terza fase finale di consolidamento che

preveda delle riflessioni personali degli studenti sugli argomenti appena affrontati per verificare la comprensione di quanto detto in aula.

2.3.2 La lezione in laboratorio di fisica

La fisica nasce e si sviluppa in laboratorio, tanto che ogni teoria per poter essere considerata valida deve passare l'esame della verifica sperimentale, che rappresenta l'unico modo per verificare se quella teoria è corretta o meno, per questo motivo, anche nella scuola, gli esperimenti di laboratorio dovrebbero avere un ruolo significativo. La ricerca ha individuato molte tipologie di attività sperimentali che è possibile realizzare nella scuola, ognuna con funzioni ed obiettivi differenti ma tutte utilizzabili nel percorso di fisica di una classe, esistono: attività qualitative legate all'aumento della motivazione, dell'interesse e dell'engagement degli allievi oppure attività quantitative il cui obiettivo può essere quello di ricavare una legge o verificarla; attività per esplorare una particolare classe di fenomeni simili; attività che possono essere utilizzate per generare conflitti cognitivi; attività pratiche per addestrare all'uso di particolari strumentazioni (o anche solo per abituare gli studenti allo svolgimento di attività pratiche) ed esperimenti storici replicabili perché sono particolarmente significativi per il valore culturale o per lo sviluppo storico della scienza. È inoltre possibile utilizzare lezioni di stampo laboratoriale come introduzione ed esplorazione di un nuovo argomento che si sta iniziando ad affrontare, come verifica sperimentale di un'ipotesi discussa durante le lezioni, come momenti di consolidamento di un particolare concetto o di una relazione tra grandezze o come verifica finale per la comprensione dell'argomento appena terminato. Negli ultimi anni si è sviluppato moltissimo un filone di ricerca legato all'integrazione degli esperimenti didattici con la tecnologia, sempre più avanzata e precisa, che gli studenti utilizzano quotidianamente: il computer e lo smartphone. Mediante l'utilizzo di questi strumenti, con opportuni programmi o applicazioni, si può accedere a tutti i dati che vengono rilevati dal gran numero di sensori di cui dispongono o, nel caso del pc, di cui è possibile dotarli con apposite interfacce di acquisizione, ed utilizzarli per eseguire esperimenti su velocità ed accelerazioni, luminosità, campi elettrici e magnetici, distanze, angoli, suoni.

Per quanto riguarda la modalità di gestione didattica, è possibile distinguere differenti tipi di attività sperimentale che possono essere usati in funzione della tipologia di esperimento da svolgere, dell'argomento, dell'attrezzatura necessaria o dell'età degli studenti. Il primo è l'esperimento fatto dal docente alla cattedra: ha il vantaggio che è il più veloce da realizzare e può essere realizzato anche in classe nel contesto di una lezione frontale. Questa tipologia di esperimenti è al confine tra l'attività laboratoriale e la lezione frontale perché di fatto gli studenti assistono allo svolgimento dell'esperimento con scarso coinvolgimento, ma questo coinvolgimento è possibile aumentarlo chiedendo loro di essere partecipi in modo da realizzare l'attività a turno, proponendo una lezione

molto dialogica con ampio spazio per domande, osservazioni, ripetizioni o modifiche di parti di esperimento. Questi accorgimenti fanno sì che gli studenti si sentano coinvolti ed aumenti il loro grado di interesse e, di conseguenza, migliori il loro livello di apprendimento.

La seconda tipologia è quella del laboratorio tradizionale, l'approccio più comune nelle istituzioni scolastiche all'insegnamento in laboratorio. Solitamente è realizzato a piccoli gruppi di studenti, nell'aula adibita a laboratorio di fisica, in cui l'insegnante consegna ad ogni gruppo una scheda di laboratorio in cui è spiegata la procedura da seguire (in molti casi si tratta di esperimenti di verifica di una legge), gli studenti all'interno del gruppo si suddividono i compiti e alla fine creano una relazione con i dati raccolti. Pur essendo un metodo che mette gli studenti in primo piano, rendendoli operativi e protagonisti del loro esperimento, questo approccio non è esente da aspetti problematici, come evidenziato da una consistente letteratura degli ultimi 40 anni. Se consideriamo il laboratorio dal punto di vista dell'insegnante, Lagowski (1990) scrive che le esperienze di laboratorio, che dovrebbero essere al centro di ogni disciplina scientifica, sono state ridotte a esercizi meccanici progettati per consumare risorse minime, che siano esse tempo, spazio, attrezzature o personale. Dal punto di vista degli studenti, Igelsrud (1998) ritiene che questo sistema li incoraggi a disconnettersi cognitivamente dalla procedura sperimentale, portandoli a seguire ciecamente le istruzioni fornite dall'insegnante. In questo modo, gli studenti non comprendono né le motivazioni delle loro azioni né le ragioni della metodologia adottata.

La mancata comprensione della sequenza dei passi sperimentali da compiere ha come conseguenza che gli studenti non riescono ad analizzare criticamente i risultati che ottengono, soprattutto in caso si discostino da quelli attesi (molto spesso il risultato dell'attività di laboratorio è che "l'esperimento è venuto" o "non è venuto"). Per quanto riguarda queste discrepanze nei risultati attesi, spesso anche gli insegnanti compiono l'errore di considerarli solamente degli "errori" da correggere causati da difetti nel seguire le istruzioni e spesso la valutazione che viene data agli studenti è relativa proprio a questa capacità di seguire il protocollo per ottenere i "numeri giusti" alla fine dell'esperimento. Tutti questi punti critici fanno sì che se l'attività laboratoriale non è strutturata correttamente e non contiene il giusto grado di coinvolgimento degli studenti, di fatto si trasforma in un'attività meccanica in cui gli allievi possono seguire le istruzioni ed ottenere i risultati corretti, ma senza capire i concetti relativi all'attività assegnata loro, in questo modo si snatura il laboratorio di quella importantissima e necessaria componente di ricerca che fa sentire i ragazzi degli scienziati in erba ed aumenta l'engagement ed il loro interesse per la materia.

Le tendenze costruttiviste hanno molto criticato questa tipologia di laboratorio che prevede esperimenti molto guidati e direttivi, con schede molto dettagliate e poco spazio per l'iniziativa personale degli studenti. A partire dagli anni '80 si è diffuso un modello teorico di laboratorio di pura scoperta che lascia ampio margine di libertà ed iniziativa agli studenti, lasciando loro il compito di scegliere l'attrezzatura e a volte anche di progettare l'esperimento. Questo tipo di didattica in laboratorio, che risulta essenzialmente non guidato, prende il nome di "Inquiry Based Learning"⁷. Negli anni la ricerca ha avuto modo di analizzare ed approfondire l'approccio inquiry notando che è declinabile per gradi diversi, che vanno da un livello di inquiry totalmente libero, in cui gli studenti vengono lasciati completamente liberi "di definire le proprie domande di ricerca, di progettare i propri esperimenti e di generare la propria analisi e spiegazione dei dati raccolti" in modo da offrire loro "una mini-esperienza di ricerca" (Abraham & Pavelich, 1999), ad un inquiry "guidato" o "strutturato" in cui la procedura da seguire e l'analisi dei dati raccolti è di competenza degli studenti o dell'insegnante. La differenza fra questi modelli è il grado di scaffolding che viene fornito agli studenti, inteso come grado di aiuto o guida che l'insegnante può dare loro, in modo da passare da protagonista dell'esperimento, in quello "alla cattedra", a regista, con la scheda di laboratorio iper-dettagliata, a guida, con l'inquiry guidato, ed infine a stimolo, con l'inquiry autentico. In anni più recenti è stato messo in dubbio il modello di IBL come molti altri metodi didattici non guidati. Kirschner, Sweller e Clark criticano questo modello in maniera molto esplicita nel 2006, in un articolo nell'*Educational Psychologist* intitolato "Why unguided learning does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching". Le indicazioni attuali della ricerca sono orientate su un tipo di inquiry strutturato, con un approccio che quindi non mette in discussione né i principi del costruttivismo né quelli dell'IBL ma che sottolinea il fatto che gli studenti debbano essere guidati gradualmente in funzione dell'età e della loro capacità, partendo con attività strutturate o semistrutturate e progressivamente si debbano rimuovere le impalcature (lo scaffolding) passando da modelli guidati a modelli sempre meno guidati. Da un lavoro di Jiang e McComas del 2015 traspare che nei risultati didattici degli studenti, il punteggio più alto è stato ottenuto nell'inquiry di tipo strutturato, ovvero in cui gli studenti conducono le attività e traggono conclusioni autonomamente, per quanto invece riguarda l'interesse ed il gradimento degli studenti si sono ottenuti punteggi più alti con un inquiry più libero.

⁷ D'ora in poi, per non appesantire la trattazione verrà chiamato "IBL" o, più semplicemente, "inquiry".

L'ultima tipologia di gestione didattica dell'attività laboratoriale è quella che possiamo considerare come "esterna" alla scuola, e si divide in due sottogruppi soprattutto dovuti all'età degli alunni: per gli alunni più giovani (a partire dalla scuola primaria) si possono preparare degli esperimenti semplici da fare a casa, che richiedono l'utilizzo di materiale comune di facile reperimento. Questi esperimenti possono essere assegnati come compito a casa e sono molto utili per appassionare i più piccoli alle materie scientifiche, inoltre possono stimolare la curiosità e favorire l'apprendimento attivo, spesso però per poterli eseguire c'è bisogno della presenza di una persona adulta che potrebbe limitare l'autonomia dei bambini durante le fasi sperimentali o potrebbe lamentare la mancanza di tempo, generando disagio o malumore nei bambini coinvolti ed ottenendo quindi una diminuzione di interesse e di gradimento nei confronti della materia. Per gli alunni più grandi è possibile costruire delle attività sperimentali da svolgersi all'esterno della scuola ma non tra le mura domestiche: si tratta di esperimenti in situazioni reali che possono essere per esempio di misura sull'ambiente naturale o in strutture produttive. Anche in questo caso il vantaggio è relativo all'aspetto dell'engagement degli studenti, all'acquisizione di autonomia, all'utilizzo di strumentazione e al rispetto dei tempi scolastici legati al programma da seguire. Questo tipo di attività comporta anche dei punti critici, il maggiore dei quali è il grado di autonomia troppo elevato e che gli studenti faticano a gestire, necessario per organizzare, pianificare la raccolta dati, modificare parti di esperimento in base ad imprevisti che possono capitare ed evitare le distrazioni per portare a termine l'attività.

2.3.3 Il problem-based learning e il challenge-based learning

Un modello di insegnamento completamente diverso dai primi due analizzati è quello basato sulla risoluzione di problemi e, per questo motivo, prende il nome di “Problem Based Learning” (o PBL). Questo nuovo approccio nasce alla fine degli anni ‘60 nel contesto del rinnovamento dell’educazione in campo medico presso la McMaster University Medical School in Canada, per un’intuizione del dott. Howard Barrows e dei suoi colleghi (Barrows & Tamblyn, 1980). Essi notarono, infatti, che alcuni studenti del corso di medicina, eccellenti negli esami teorici, mostravano grandi difficoltà nell’applicare le loro conoscenze ai casi clinici reali e questa osservazione li portò a sviluppare un approccio nuovo: invece di iniziare con le lezioni teoriche, l’insegnante forniva agli studenti casi clinici reali e chiedeva loro di tentare di risolvere il problema. In questo modo, lavorando a piccoli gruppi, gli studenti dovevano costruire il proprio apprendimento in maniera collaborativa, con il docente nel ruolo di facilitatore. Il successo di questo approccio fu tale che nel giro di pochi anni si diffuse rapidamente in altre facoltà di medicina e dagli anni ‘80 venne adottato anche in altri campi disciplinari tra cui l’ingegneria, l’architettura e l’insegnamento delle scienze. In particolare, per quanto riguarda l’insegnamento della fisica, il PBL ha trovato terreno fertile grazie alla sua naturale connessione con il metodo scientifico e alla didattica di laboratorio. I primi passi per questa transizione sono avvenuti grazie al lavoro di due figure fondamentali come Lillian McDermott della Washington University (1996) e David Hestenes dell’Arizona State University (Hestenes & Swackhammer, 1992), che hanno riscontrato, negli studenti di fisica, un problema simile a quelli di medicina di Barrows: erano abili a risolvere problemi standard e a memorizzare formule, ma mostravano molte difficoltà nell’applicare concetti fisici al mondo reale. Negli anni successivi il metodo è stato sviluppato molto grazie a molti progetti che sono stati in grado di integrarlo con le attività laboratoriali e l’approccio inquiry, con l’uso di tecnologie per l’acquisizione di dati, con la creazione di spazi e di metodi di valutazione specifici⁸. Dal 2000 in poi questo metodo ha raggiunto la fase di maturazione e sono stati creati moltissimi problemi contestualizzati legati a situazioni fisiche reali e alla vita quotidiana degli studenti, tanto che nel 2015 in Italia il ministro dell’istruzione Stefania Giannini propose di modificare la

⁸ Cito, tra gli altri, il progetto "Workshop Physics" di Priscilla Laws al Dickinson College per l’integrazione con il laboratorio e l’approccio SCALE-UP (Student-Centered Active Learning Environment with Upside-down Pedagogies) di Robert Beichner alla North Carolina State University che ha rivoluzionato l’organizzazione degli spazi fisici nelle aule.

seconda prova della maturità dei licei scientifici utilizzando proprio questo tipo di problemi. Questa proposta non ha avuto molto seguito a causa di alcune problematiche soprattutto legate alla poca preparazione che avevano gli studenti nella risoluzione di problemi contestualizzati, ma ha avuto l'ottimo risultato di aver portato in primo piano le metodologie didattiche innovative soprattutto legate al tema degli esercizi generalmente adottati fino ad allora, troppo "chiusi" e caratterizzati da un'unica soluzione calcolabile con l'utilizzo di una o più formule esclusivamente relative al capitolo appena studiato.

L'approccio PBL è solitamente strutturato in tre fasi (Masek & Yamin, 2011): nella prima vengono formati i gruppi di lavoro suddividendo gli studenti e viene loro presentato il problema. Il problema deve essere autentico, il più possibile realistico e basato su situazioni che gli studenti potrebbero aver già incontrato nella vita reale; deve essere aperto, cioè non deve prevedere una sola risposta corretta ma deve stimolare la creatività degli studenti e le loro differenze interpretative e quindi può portare a più soluzioni corrette diverse tra loro; deve essere complesso, cioè non deve essere la mera applicazione di una formula ma deve chiedere agli studenti l'integrazione di diverse conoscenze, anche di più materie di studio e deve essere sfidante, cioè abbastanza complesso da stimolare la curiosità e l'interesse degli studenti ma senza esserlo troppo da diventare irrisolvibile con le loro conoscenze. In questa fase l'insegnante può fare da facilitatore avviando un'analisi preliminare con la classe in cui si esplicita la richiesta del problema, si identifica cosa si conosce e cosa non si conosce e si prevede cosa è necessario approfondire per comprendere in maniera adeguatamente chiara gli aspetti del problema che potrebbero essere importanti per la sua risoluzione. La seconda fase è quella in cui effettivamente gli studenti si mettono all'opera per risolvere il problema. È fondamentale che si rendano conto che non possiedono, allo stato iniziale, sufficienti conoscenze per risolverlo autonomamente per cui devono adoperarsi per colmare le lacune necessarie con ogni mezzo ritengano opportuno: prima di tutto con uno scambio di idee all'interno del gruppo di lavoro, poi con un confronto tra gruppi, successivamente con il coinvolgimento dell'insegnante ed infine effettuando delle ricerche su internet. In questa fase la funzione dell'insegnante è fondamentale perché da un lato deve poter fornire ai gruppi gli input necessari per instradare il ragionamento ed aiutare gli studenti a mantenere il focus sull'obiettivo finale, dall'altro non deve essere troppo risolutivo con gli aiuti per evitare di condizionare eccessivamente i gruppi di lavoro. Mentre raccolgono informazioni, gli studenti inizieranno a produrre ipotesi, alcune più ragionevoli su cui continuare a lavorare ed alcune meno ragionevoli, che verranno scartate; come è facile intuire, anche in questo momento è importante l'apporto dell'insegnante che ha la funzione di facilitatore del lavoro, monitora i progressi dei gruppi ed interviene con correzioni e con domande stimolo, fino all'ottenimento di una soluzione soddisfacente al

problema. Quando tale soluzione è definita ha inizio la terza fase, in cui ogni gruppo prepara un elaborato in cui espone la propria proposta di soluzione, eventualmente analizzandone i pro e i contro. Questa fase non riguarda solo il prodotto finale, ma ha a che fare anche con il processo di riflessione e valutazione complessiva del lavoro svolto, l'autovalutazione degli studenti e la valutazione da parte dell'insegnante, non solo relativa all'elaborato ma all'intero progetto. Non si tratta infatti di verificare se hanno ottenuto la risposta corretta al problema, ma di valutare l'intero percorso che ha portato gli studenti a definire una delle possibili soluzioni, considerando altresì l'efficacia dei processi collaborativi, la qualità del problem solving dimostrato, la capacità di gestione delle risorse e l'acquisizione di competenze trasversali.

Nel 2009 nasce un'altra corrente, per alcuni aspetti molto simile ma con alcune differenze significative, chiamata "Challenge-Based Learning", inizialmente sviluppata da Apple attraverso il progetto "Apple Classroom of Tomorrow - Today". Questa metodologia si differenzia dal PBL perché trasforma il problema in una sfida (da qui il nome "challenge") tra i gruppi, aggiungendo quella sfumatura competitiva che ha l'effetto di aumentare il coinvolgimento degli studenti sia dal punto di vista dell'engagement, sia dal punto di vista di una crescita di autonomia e di protagonismo. Quando la scoperta della soluzione di un problema diventa una gara, ogni gruppo è portato ad un maggior impegno nella ricerca della soluzione migliore, più innovativa e più realistica per poter vincere la sfida che lo vede contrapposto agli altri gruppi. Questo approccio è molto simile a quello del PBL ma, oltre quella già citata della sfida intrinseca tra gruppi, è caratterizzato da una seconda grande differenza che è l'aspetto interdisciplinare del progetto. Nello stesso progetto sono coinvolti tutti i docenti di quel corso, che creano una programmazione didattica opportuna e sinergica e coordinano le lezioni delle rispettive materie in modo che ogni materia possa aggiungere stimoli (non nozioni) che hanno a che fare con il problema da risolvere. Sarà compito dei ragazzi quello di richiedere ai singoli docenti di fare delle lezioni ad hoc con specifici approfondimenti per ottenere informazioni utili alla risoluzione del problema. In questo modo gli insegnanti sono portati a lavorare in maniera molto più corale e a cambiare il modo di fare lezione, che dovrebbe essere più flessibile ed innovativa, e soprattutto parlano ad un pubblico di allievi che sono realmente interessati a capire bene, perché le informazioni contenute nelle lezioni di qualunque materia possono essere utili o importanti per la vittoria della sfida. Questo approccio non è esente da criticità, che sicuramente comprendono una riprogettazione significativa del curriculum, in modo da riuscire a coordinare le diverse materie e i diversi insegnanti ma anche da mantenere il programma di studi di ogni materia aderente ai programmi ministeriali. È inoltre necessaria una formazione iniziale specifica per gli insegnanti e soprattutto una sufficiente elasticità degli stessi, che devono essere disposti

a modificare il modo di affrontare le lezioni, discostandosi dai consueti schemi didattici e dall'approccio tradizionalmente incentrato sulla gestione individuale della classe. Una sperimentazione molto interessante di questo tipo di didattica la si può trovare presso la scuola professionale "Tknika" di Bilbao, che nell'anno formativo 2013/2014 ha lanciato un'esperienza pilota chiamata "ETHAZI model" che ha coinvolto più di 6000 studenti e quasi 2000 insegnanti, con l'obiettivo di trasformare l'intera istruzione professionale dei Paesi Baschi, sia pubblica che privata, per renderla interamente erogata in modalità di "aprendizaje colaborativo basado en retos" ("apprendimento collaborativo basato sulle competizioni"). Questa sperimentazione suscita molto interesse a livello mondiale, tanto da essere inserita tra le "pratiche innovative e promettenti della formazione tecnica e professionale" ("Innovative and Promising Practices in TVET") dall'UNESCO per mezzo della sezione dedicata all'istruzione tecnica e professionale, chiamata UNEVOC ed in un report della Commissione Europea è stata definita un "learning model designed to develop processes for learning and rolling out support systems for innovative learning models in VET, activate and spark people's ability to be agile about problem-solving, and respond to local and future skill needs" (cioè un "modello di apprendimento progettato per sviluppare processi di apprendimento ed implementare sistemi di supporto per modelli innovativi di apprendimento nella formazione professionale, attivare e stimolare la capacità delle persone di essere agili nel problem-solving e rispondere ai bisogni di competenze attuali e futuri"). Durante questi dieci anni di sperimentazione il modello ETHAZI è stato accolto positivamente dagli studenti coinvolti; le maggiori resistenze si sono presentate da parte di alcuni docenti restii ad abbandonare le pratiche individuali consolidate e maturate attraverso anni di esperienza per orientarsi verso modalità collaborative di progettazione ed insegnamento. La condivisione della progettazione delle lezioni, infatti, pur rappresentando un'opportunità di arricchimento reciproco, non è mai facile né banale, implica il dover mettere in discussione il proprio approccio didattico, la propria gestione dell'aula e il dover uscire dall'ottica del "ho sempre fatto così e ha sempre funzionato, perché cambiare?" su cui a volte si rischia di adagiarsi. Tuttavia, nonostante alcune resistenze iniziali, anche i docenti che hanno fatto più fatica a compiere questa transizione da una didattica tradizionale al CBL, dopo aver sperimentato i primi successi e soprattutto il crescente coinvolgimento ed interesse degli studenti, hanno riconosciuto la validità del nuovo approccio, trasformando le iniziali perplessità in un sincero interesse verso questa metodologia.

2.4 Le difficoltà degli studenti

La ricerca in didattica della fisica non fornisce solo utili indicazioni sul modo di fare lezione ma, come abbiamo già visto nel par. 2.1, presta molta attenzione alle difficoltà e agli errori frequenti degli studenti. Questo filone di ricerca è nato, relativamente alla meccanica, intorno agli anni '80 ed è stato fonte di molti studi (per esempio Viennot, 1979; Caramazza et al., 1980; Caramazza et al., 1981; Osborne, 1984; Gunstone & Watts, 1985; Halloun & Hestenes, 1985), ma soprattutto ha permesso la creazione di uno strumento essenziale: il Force Concept Inventory (FCI). Questo test, ideato da Halloun ed Hestenes nel 1985 e sottoposto a molte revisioni nel corso degli anni, è stato il capostipite di tutti i test concettuali utilizzati in fisica ed è tuttora un modello su cui vengono costruiti altri test per ogni argomento del curriculum (alcuni sono, per esempio il Force and Motion Conceptual Evaluation FMCE, il Conceptual Survey of Electricity and Magnetism CSEM, il Thermal Concept Evaluation TCE, il Quantum Physics Conceptual Survey QPCS e moltissimi altri). A dispetto del nome, l'FCI non indaga solo il concetto di forza, ma contiene trenta quesiti a risposta chiusa collegati a sei "dimensioni concettuali" che per gli autori ne caratterizzano il concetto: la cinematica, le tre leggi di Newton, il principio di sovrapposizione ed i diversi tipi di forze (tra cui quella gravitazionale). L'elemento innovativo del FCI non risiede nella sua natura di test, poiché già ne esistevano numerosi per ogni argomento, ma nel suo approccio concettuale, vale a dire che si propone come uno strumento per identificare le concezioni degli studenti e valutare la qualità del loro apprendimento. I dati sperimentali forniti dalle ricerche hanno infatti mostrato con chiarezza un fenomeno significativo: molti studenti, pur essendo in grado di risolvere con disinvoltura esercizi quantitativi, incontrano serie difficoltà nel rispondere a quesiti di natura qualitativa o concettuale, anche quando questi vertono sugli stessi argomenti e le risposte errate tendono a concentrarsi su un numero limitato di alternative molto simili tra loro. Tra le opzioni di risposta dell'FCI, infatti, oltre a quella corretta, sono presenti sia distrattori (risposte errate ma plausibili) che fanno riferimento a concezioni scientificamente errate, sia distrattori che fanno riferimento ad idee ingenuie tipiche degli studenti.

Questo elaborato non intende analizzare tutte le difficoltà presenti nel curriculum di fisica, ma si focalizzerà su due macro-aree specifiche: la cinematica e la termologia. Per questi

due ambiti verranno esaminate le difficoltà di comprensione a livello generale, approfondendo nel dettaglio solo quelle parti del programma che saranno oggetto dell'analisi sviluppata nel capitolo successivo.

2.4.1 La cinematica

Nella ricerca didattica sulla fisica, le misconcezioni in cinematica, sebbene meno numerose rispetto alla dinamica, presentano aspetti significativi di complessità concettuale. Per completezza espositiva è bene citare le principali difficoltà legate alle leggi della dinamica perché gli studenti hanno difficoltà a distinguerla dalla cinematica (Saltiel & Malgrange, 1986). Spesso gli studenti utilizzano concetti diversi confondendoli tra loro: forza e velocità appaiono come concetti intercambiabili e spesso confusi, per esempio ritenendo che se c'è movimento ci debba necessariamente essere una forza che lo mantiene e che quindi la forza sia sempre nella direzione del movimento, oppure ritenendo di poter costruire una risultante tra forza e velocità. Misconcezioni strettamente collegate a questa sono la "teoria dell'impetus" e il "principio del predominio", che riguardano la prima e la seconda legge di Newton e le seguenti errate concezioni: nel primo caso che gli oggetti possano mantenere una forza residua (l'impeto) che continua ad agire per un certo tempo anche quando non è più applicata; nel secondo caso che nell'urto tra due corpi, quello più grande eserciti una forza maggiore sul più piccolo rispetto alla forza che esercita il più piccolo sul più grande, o che se un oggetto viene spinto e messo in movimento, la forza esercitata sull'oggetto sia maggiore di quella esercitata dall'oggetto su chi lo spinge. Altre difficoltà sono legate alla "gestione" dell'attrito (come pensare che un oggetto rallenti o tenda a fermarsi se non c'è una forza che agisce su di esso) o quelle legate alla mancata comprensione del principio di inerzia che porta gli studenti a credere che un corpo tenda a "ricordare" il moto precedente anche quando la forza che lo causa non è più presente.

Per quanto riguarda la cinematica, invece, gli studenti manifestano difficoltà interpretative soprattutto nella comprensione delle grandezze coinvolte e nella loro relazione reciproca, in particolare c'è confusione sulla distinzione tra posizione e velocità e ancora più frequentemente tra velocità ed accelerazione. Su questo argomento Trowbridge e McDermott hanno scritto due interessanti articoli nel 1980 e nel 1981 intitolati rispettivamente "Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension" e "Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension" che rappresentano un'indagine sistematica sulle misconcezioni di velocità e accelerazione. Mentre il primo lavoro si concentra sulla comprensione della velocità, analizzando le difficoltà degli studenti nel distinguere velocità media e istantanea e nell'interpretarle graficamente, il secondo si spinge verso l'analisi del concetto di accelerazione, mettendo in luce come questo concetto, più astratto, possa essere fonte di ulteriori difficoltà. In generale, gli autori hanno osservato

un dato significativo: gli studenti che dopo l'istruzione avevano compreso correttamente il concetto di accelerazione mostravano una solida comprensione anche della velocità, mentre il percorso inverso non risultava altrettanto vero, cioè la padronanza dei quesiti sulla velocità non prediceva necessariamente il successo nell'interpretazione dell'accelerazione. Questa asimmetria ha condotto i ricercatori a concludere che la comprensione concettuale dell'accelerazione presenta un livello di complessità sensibilmente superiore rispetto a quello della velocità. Lo studio ha inoltre evidenziato come, in un numero significativo di studenti, persista una diffusa confusione tra i due concetti, tanto che anche dopo il percorso di istruzione, non riuscivano a dimostrare una comprensione qualitativa sufficientemente solida da consentire loro di applicare correttamente velocità e accelerazione in contesti reali. Reif e Allen, in un'ampia ricerca del 1992 intitolata "Cognition for interpreting scientific concepts: a study of acceleration", hanno approfondito la confusione tra velocità e accelerazione. Secondo lo studio, molti studenti commettono errori nel comprendere la relazione tra queste due grandezze, pensando ad esempio che un oggetto che si muove a velocità costante abbia un'accelerazione. Alla base di questa confusione c'è una comprensione errata del concetto di accelerazione, che è un cambiamento di velocità nel tempo sia in termini di modulo che di direzione, ma molti studenti la associano esclusivamente a un aumento di velocità per cui ritengono non sia coinvolta in fenomeni di decelerazione o di cambiamento da una traiettoria rettilinea. Questa difficoltà è ancora più evidente quando gli studenti si trovano di fronte a situazioni in cui l'accelerazione non è costante, ad esempio se considerano un'auto che accelera e decelera oppure se devono considerare moti circolari (Giancoli, 2005) o ancora, moti su una pista di curvatura variabile. Per gli esperti si tratta di un caso particolare della direzione dei vettori, ma spesso gli studenti fanno fatica a comprendere correttamente il concetto di velocità e accelerazioni quando si tratta di quantità negative⁹, interpretandole sempre come una diminuzione della velocità e raramente come un moto nel verso opposto (Caramazza et al., 1980), oppure non riuscendo a capire che un'accelerazione negativa può verificarsi mentre un oggetto si sta muovendo nella direzione positiva, ed in questo caso si avrà un rallentamento (ad esempio un'auto che frena) ma anche mentre si sta muovendo nella direzione negativa

⁹ Su questo punto è necessario aprire la seguente parentesi: a rigor di logica, essendo velocità ed accelerazione delle grandezze vettoriali, non avrebbe senso parlare di quantità negative, ma il linguaggio comune spesso ne fa uso perché presuppone un sistema di riferimento che andrebbe sempre esplicitato e soprattutto, in tale sistema di riferimento, è lecito parlare di quantità negative se viene considerata la scomposizione dei vettori velocità e accelerazione nelle componenti parallele agli assi.

(ed in questo caso si avrà un incremento della sua velocità in modulo) (McCloskey, 1983).

Nello stesso articolo, McCloskey menziona la relatività del moto e mette in luce come gli studenti possono non rendersi conto che in realtà la direzione della velocità e dell'accelerazione è relativa al sistema di riferimento scelto, ed altri studi (Bowden, Duffy & McDermott, 1992, Saltiel & Malgrange, 1980) sottolineano queste difficoltà con alcune interviste cliniche¹⁰ fatte a studenti delle scuole superiori e universitari. I risultati hanno dimostrato l'ipotesi secondo cui l'apprendimento sia contestuale, in particolare è emerso che fattori come la familiarità con il tipo di problema può incidere in modo significativo sulla performance degli studenti, determinando che risulta molto difficile distinguere gli studenti da un punto di vista concettuale se affrontano esercizi e problemi facili da risolvere dal punto di vista quantitativo. Lo stesso tipo di difficoltà è molto ben visibile quando è necessario ragionare in diversi sistemi di riferimento, molti di loro infatti rimangono convinti che esista un sistema "naturale" privilegiato nel quale un oggetto in moto possieda una velocità "propria". Quando sono portati a ragionare considerando un sistema di riferimento alternativo, qualificano le velocità e le traiettorie come "apparenti" e le spiegano introducendo nel loro ragionamento forze apparenti o fittizie, anche se tutti i sistemi di riferimento considerati sono galileiani. Questa concezione porta gli studenti ad interpretare il movimento di un corpo esclusivamente dal proprio punto di osservazione, considerandolo assoluto, faticando a concepire che la descrizione del moto dipende necessariamente dal sistema di riferimento scelto (Thornton & Sokoloff, 1998).

Alcune difficoltà vengono alla luce anche quando, in un solo sistema di riferimento, bisogna considerare un moto più complesso cioè quello composto da due vettori o sottoposto ad una accelerazione non nella direzione del moto. Questo è dovuto, oltre a quanto già detto sulle problematiche nella gestione delle quantità vettoriali, alla difficoltà nella visualizzazione di un moto bidimensionale e, in misura maggiore, tridimensionale e alle eventuali difficoltà matematiche nel calcolo di somme vettoriali (Nguyen & Meltzer, 2003), difficoltà che aumentano quando velocità ed accelerazioni non sono costanti nel tempo per modulo o direzione. Hestenes et al. (1992) hanno inoltre evidenziato che spesso gli studenti compiono errori nella scomposizione in componenti dei vettori, nella loro rappresentazione grafica e nel calcolo del risultante da una somma o una differenza

¹⁰ Un'intervista clinica è un colloquio semi-strutturato in cui il ricercatore intervista gli studenti con domande aperte per ricostruire il modello mentale dell'intervistato e identificare il ragionamento che conduce ad una data risposta.

di vettori. Queste difficoltà si riscontrano in maniera particolarmente evidente quando si affronta il moto del proiettile, che non è interpretato come un moto scomponibile in due direzioni: una orizzontale costante ed una verticale uniformemente accelerata verso il basso a causa dell'accelerazione di gravità, ma molto spesso viene affrontato con una sequenza di moti che prevede: una parte iniziale rettilinea ed uniforme nella direzione del lancio dovuta esclusivamente alla potenza del lancio stesso, poiché il proiettile ha acquisito una forza (impetus) maggiore del suo peso; una parte centrale in cui l'impetus si indebolisce e si verifica una curvatura della traiettoria causata dall'effetto combinato dell'impetus e del peso verso il basso, ed una parte finale in cui il proiettile cade verticalmente verso il basso a causa del solo peso, perché non ha più la forza che lo spingeva in avanti, seguendo le teorie del moto in voga fino al "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo" di Galileo Galilei del 1632. Esiste una seconda misconcezione storicamente chiarita dagli esperimenti di Galileo che riguarda l'influenza del peso sulla caduta dei corpi. Dalla loro esperienza quotidiana, gli studenti tendono erroneamente a ritenere che gli oggetti più pesanti cadano più velocemente di quelli leggeri, o che il loro peso modifichi la traiettoria di caduta. Questa concezione errata deriva principalmente dalla mancata comprensione del ruolo dell'aria, che nel mondo reale influenza significativamente il moto dei corpi in caduta. Questa mancata comprensione impedisce agli studenti di sviluppare un ragionamento scientifico rigoroso, perché risulta difficile formulare ragionamenti che ne trascurino l'effetto.

Molti problemi si riscontrano nelle rappresentazioni grafiche in cinematica, sia per quanto riguarda il disegno dei vettori applicati al corpo in movimento o la traiettoria del corpo che esegue un moto complesso, sia, in particolare, nella costruzione ed interpretazione dei grafici spazio-tempo, velocità-tempo ed accelerazione-tempo, che rappresentano un aspetto cruciale nello studio della cinematica. Legati a questo argomento ci sono studi specifici (Beichner, 1994b; McDermott, Rosenquist & van Zee; 1987) che esaminano le difficoltà degli studenti nell'interpretazione dei grafici e propongono strategie didattiche per migliorarne la comprensione; in questi studi emergono diverse difficoltà, tra cui una diffusa confusione tra la rappresentazione grafica e la realtà che porta gli studenti a confondere la forma del grafico con la reale traiettoria fisica dell'oggetto considerato (questo fenomeno succede molto spesso con i grafici spazio-tempo), oppure a confondere tra loro i diversi tipi di grafico, ritenendo che grafici di grandezze fisiche diverse debbano essere simili o identici. A volte gli studenti concepiscono il grafico come una duplicazione dell'evento in movimento piuttosto che una rappresentazione formalizzata di esso, per cui quando il moto si svolge su piste di forma variabile, tendono a disegnare grafici che somigliano alla forma della pista, come fossero rappresentazioni fotografiche di essa. Questo porta a non essere in grado di derivare grafici velocità-

tempo a partire dai grafici posizione-tempo (analogamente a quanto succede nella derivazione dei grafici accelerazione-tempo partendo da quelli velocità-tempo) oppure a non riuscire ad interpretare qualitativamente un grafico sulla base di indicazioni testuali, per esempio negli item in cui viene chiesto agli studenti di indicare quale grafico accelerazione-tempo comporta una certa variazione di velocità. Quest'ultima difficoltà può essere anche in parte dovuta alla difficoltà matematica di ricavare una grandezza partendo da un grafico in cui essa non è esplicita (come, ad esempio, ricavare la posizione o l'accelerazione istantanea da un grafico velocità tempo). Altri problemi ci sono, come già riscontrati in assenza di rappresentazioni, quando viene chiesto agli studenti di costruire o interpretare grafici in cui è necessario considerare velocità o accelerazioni negative (Goldberg & Anderson 1989), concetti anche in questo contesto spesso mal compresi, tanto che molti di loro associano la velocità negativa ad un errore di calcolo o, in altri casi, ritengono impossibile che possano esistere accelerazioni negative che comportano un aumento del modulo della velocità. Un'altra confusione piuttosto diffusa è quella che si crea nella differenziazione tra grafici con pendenze negative e grafici che assumono valori negativi, spesso confusi forse anche a livello linguistico, e causa di ulteriori problematiche nell'interpretazione dei fenomeni.

Le difficoltà relative all'interpretazione dei grafici rappresentano un tema cruciale di ricerca didattica, che non si limita alla cinematica. Gli studenti manifestano una tendenza significativa a privilegiare l'approccio detto "plug and chug"¹¹ rispetto alla comprensione concettuale e questo si traduce in una strategia immediata di ricerca della formula matematica che conduce rapidamente a una soluzione numerica, senza costruirsi un'immagine mentale del fenomeno fisico considerato. Tale approccio determina una comprensione frammentaria e superficiale, in cui la rappresentazione grafica, che per gli esperti costituisce uno strumento esplicativo importante, diviene paradossalmente un ulteriore elemento di complessità. In questo modo il grafico viene percepito come un ostacolo aggiuntivo all'apprendimento anziché un supporto alla comprensione del fenomeno.

L'ultimo punto che verrà affrontato in questa sezione riguarda il principio d'inerzia, un argomento che di fatto è pertinente alla prima legge della dinamica ma viene affrontato perché in molti casi da esso dipende la corretta rappresentazione della traiettoria di un

¹¹ Letteralmente la traduzione è "collega e spingi", questo tipo di approccio è quello che si basa sulla ricerca nel libro di testo della formula che comprenda tutte le variabili in gioco, sulla sostituzione dei valori numerici all'interno della formula e sullo "spingere" il calcolo del risultato numerico senza curarsi della correttezza concettuale del calcolo appena eseguito.

corpo in moto. Il principio d'inerzia storicamente è stato compreso molto tardi¹², perché siamo immersi in una realtà oggettiva in cui non è valido: chi infatti potrebbe affermare che un oggetto che viene messo in moto continuerà a muoversi in modo rettilineo e uniforme senza fermarsi mai? Per gli studenti, questa evidenza empirica non si concilia con quello che studiano nel corso di Fisica, per cui è necessario permettere loro di averne un'adeguata comprensione perché si tratta di un pilastro concettuale su cui si basa la meccanica classica. Le misconcezioni legate ad esso sono particolarmente evidenti in tutti i quesiti in cui c'è un oggetto in moto nel momento in cui la spinta su di esso cessa: spesso la domanda mentale che si fanno gli studenti per spiegare cosa accade al moto dell'oggetto è relativa al motivo per cui dovrebbe rimanere in moto, visto che non ha più una spinta che lo sostiene (in questo ragionamento possiamo notare delle similitudini con l'impetus), invece di chiedersi per quale motivo l'oggetto dovrebbe rallentare visto che non ci sono cause esterne che ne causano il rallentamento. Questo ragionamento porta gli studenti a non considerare, per oggetti in caduta, velocità iniziali diverse da zero (ne è esempio il quesito 14 dell'FCI, relativo ad una palla da bowling che cade dal deposito bagagli di un aereo) e a dimostrare un apprendimento contestuale sulle leggi che regolano la composizione dei moti, ritenendo completamente diversi moti che sono identici come quello già citato della palla da bowling e quello di una palla di cannone sparata da un'altura (entrambi moti di caduta libera con una velocità iniziale non nulla). La seconda grande difficoltà relativa al principio d'inerzia invece è quella che lo considera una sorta di "memoria del moto" che mantiene il suo effetto anche quando cessano le forze che lo causano.

A tal proposito è bene fare qualche esempio esplicativo. Gli studenti spesso mostrano misconcezioni nei seguenti casi: quando una pallina esce da una guida circolare, credono che continui a seguire, nel primo tratto, una traiettoria curvilinea, come se la curvatura persistesse anche in assenza della guida oppure quando un sasso legato a una corda viene fatto ruotare e la corda si spezza, immaginano che il sasso prosegua con una traiettoria inizialmente curva invece che rettilinea (McCloskey, 1983; Caramazza et al., 1981; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

¹² Prima di Newton, che ne dà la formulazione definitiva, e Galileo che inizia a studiarla attraverso gli esperimenti sul piano inclinato, la visione dominante era quella aristotelica secondo cui lo stato naturale dei corpi fosse la quiete e che un oggetto in movimento avesse bisogno di una forza continua per mantenersi in movimento.

2.4.2 La termologia

La termologia è un argomento complesso per i ragazzi della scuola secondaria per più cause: innanzitutto spesso parte da basi che non sono sufficientemente chiare, come la comprensione di cosa siano calore e temperatura, ma anche perché per la piena padronanza dell'argomento è necessario avere delle basi di conoscenza della struttura microscopica della materia, di probabilità, di meccanica statistica e di concetti difficili da capire e gestire come l'entropia, il lavoro e l'energia interna. Inoltre la natura astratta della termologia rende difficile assimilare i concetti e le difficoltà sono amplificate dall'uso di un linguaggio complesso sia da un punto di vista terminologico che matematico-simbolico che non sempre viene compreso (Jara-Guerro, 1993a). In questo lavoro verrà trattata quella parte di termologia che riguarda, da indicazioni nazionali, ciò che viene affrontato nel corso del primo biennio di studi, vale a dire la definizione di temperatura e quantità di calore, gli scambi di calore, l'equilibrio termico ed i passaggi di stato.

Una delle cause di complessità della termologia è che si tratta di un argomento profondamente diverso a livello epistemologico dagli altri argomenti di fisica: non spiega, come nel caso della meccanica, "come" avvengono le cose, con quali processi e meccanismi, ma mostra come le cose "devono essere", definisce uno sfondo con vincoli e relazioni che non possono essere diversi da come sono. Per fare questo utilizza un linguaggio nuovo, difficile e talvolta poco spiegato agli allievi, che ha a che fare con il sistema, lo stato, le trasformazioni, la reversibilità, l'energia interna. tutti termini nuovi che possono generare difficoltà interpretative o interpretazioni errate (a titolo di esempio, si pensi alla metafora del disordine per l'entropia).

Prima di entrare nel dettaglio su alcune misconcezioni frequenti, vale la pena affrontare una veloce riflessione sull'importanza che ha avuto la termologia e lo studio dei fenomeni termici per lo sviluppo della società attuale, motivo per cui viene trattata in modo molto approfondito nella scuola secondaria di secondo grado. Durante la Rivoluzione Industriale, le macchine a vapore di James Watt rappresentarono il punto di svolta concettuale che spinse la fisica a teorizzare i principi dell'energia e del suo trasferimento. Secondo lo storico della scienza Thomas Hughes (1983), la necessità industriale di ottimizzare l'efficienza energetica divenne il principale volano per lo sviluppo teorico della termologia, poiché le industrie richiedevano non solo macchine più potenti, ma soprattutto più efficienti, stimolando una profonda ricerca scientifica sui meccanismi di trasformazione dell'energia. Reynolds e Cohen (2001) sottolineano come l'insegnamento scolastico della termologia ripercorra sostanzialmente questo sviluppo storico: dai primi modelli macroscopici delle macchine a vapore alle moderne concezioni

di trasferimento energetico. La didattica attuale eredita questo percorso, traducendo le esigenze industriali storiche in un curriculum scientifico che connette teoria e applicazione pratica.

La prima difficoltà interpretativa che verrà affrontata riguarda un argomento che spesso viene sottovalutato dagli insegnanti e dai libri di testo, ma che è il principale modo in cui le persone fanno esperienza di calore: la percezione sensoriale. Il senso del tatto, infatti, non è un sensore di temperatura e pur essendo l'unica fonte da cui riceviamo informazioni sensoriali su di essa, è necessario far capire agli studenti il funzionamento biologico del tatto e in che modo, in alcuni casi, le percezioni ci ingannano e vanno in conflitto con determinati principi fisici che si studiano a scuola. Per esempio, gli studenti possono faticare a comprendere che oggetti diversi, fatti di materiale diverso, che si trovano per un periodo di tempo sufficientemente lungo in un ambiente chiuso, si trovino alla stessa temperatura, che è la stessa ambientale, come prevede il concetto di equilibrio termico (Thomaz, Ferreira & Lima, 1995), o che, nello stesso ambiente, i liquidi siano alla stessa temperatura dei solidi. Questo avviene perché la percezione della sensazione di caldo o di freddo non è necessariamente legata alla temperatura dell'oggetto toccato, ma la quantità che viene rilevata dal nostro sensore del tatto è la variazione della temperatura della pelle che si trova a contatto con il corpo. Questa variazione sicuramente dipende dalla temperatura dell'oggetto a contatto con la pelle (oggetti con una temperatura molto diversa da quella della pelle danno una sensazione molto intensa di caldo o freddo), ma dipende molto di più dalla sua conducibilità termica, ovvero dalla capacità che ha di sottrarci calore. A titolo esemplificativo, il legno possiede una conducibilità termica inferiore al metallo, per questo motivo se in classe viene toccato il banco di legno e la gamba di una sedia metallica il primo verrà percepito più caldo della seconda.

Un aspetto centrale che condiziona la comprensione dei fenomeni termici è la definizione e la differenziazione di calore e temperatura. Spesso, infatti, i due concetti vengono utilizzati come se fossero sinonimi oppure vengono definiti erroneamente come "quantità o intensità di calore" se si intende la temperatura o "quantità di temperatura posseduta" se si intende il calore. Questa confusione potrebbe essere il sintomo dell'errore epistemologico di considerare il calore come un fluido, una sorta di "modo di essere" che risiede nei corpi e che può passare da un corpo ad un altro, una concezione molto simile a quella che storicamente ha preso il nome di "teoria del calorico". Molti studenti sono portati a credere che il calore e la temperatura siano delle proprietà delle sostanze, che possono essere fredde o calde per natura o possono trattenere meglio il freddo o il

caldo¹³ (Erickson 1980; Erickson & Tibeghien, 1985; Séré, 1985; Linder & Erickson, 1989; Jara-Guerro, 1993b; Thomaz et al. 1995; Lewis & Linn 2003). Spesso gli studenti che utilizzano questa teoria penseranno alla temperatura come grandezza estensiva, che porta all'idea errata che la temperatura possa cambiare in base alla quantità di materiale presente (per esempio se raddoppio la massa di un campione di acqua, la sua temperatura possa raddoppiare o variare in qualche modo) o alla mancata comprensione del modo in cui viene raggiunta la temperatura di equilibrio nei fluidi (per esempio potrebbero pensare che se mescolo masse uguali d'acqua a 10° C e 20° C, si ottiene una temperatura finale di 30° C e non di 15° C). Purtroppo, l'insegnamento della termologia è influenzato negativamente dalla mancanza di una definizione chiara e condivisa del calore tra i fisici (Brookes & Etkina, 2015), in particolare sono due le definizioni che vengono utilizzate con maggior frequenza: la prima, molto presente sui manuali liceali, definisce l'energia come "energia in movimento" o "energia in transito" (Zemansky, 1970) tra sistemi a temperature diverse. Questa definizione sottolinea che il calore non è una proprietà intrinseca del corpo ma un processo che avviene quando c'è una differenza di temperatura e può essere utile per distinguere il calore dall'energia interna di un corpo, ma crea qualche confusione con il concetto di lavoro, che è anch'esso legato ad un trasferimento di energia. La seconda definizione che è possibile incontrare, più presente nei testi americani e nei testi di chimica, associa il calore ad un'energia "disordinata", "dissipata" o "casuale", associata al movimento molecolare. Questa seconda definizione ha il vantaggio che crea un collegamento piuttosto solido con il secondo principio della termodinamica, ma rischia di creare l'idea errata che si tratti di una proprietà del sistema. Inoltre, si tratta di una definizione utilitaristica sviluppatasi con le prime macchine termiche, quando i fisici, vedendo l'impossibilità di trasformare tutto il calore in lavoro, iniziarono a considerare il lavoro come un'energia meno "nobile" o utile. Alcuni autori, come possibile soluzione di questa ambiguità, propongono di eliminare la parola "calore" e utilizzare solo il termine "riscaldamento" per sottolineare il fatto che si tratta di un processo e non di uno stato o di una sostanza, suggerimento che però si trova raramente in alcuni testi inglesi e mai in quelli italiani, oppure di sostituire i termini "calore" e "lavoro" con "trasferimento termico" e "trasferimento meccanico" di energia (Besson, 2015). A tal proposito, Romer (2001), direttore dell'"American Journal of Physics" scrive: "Se volete pensare a qualche nome

¹³ Molti degli studi utilizzano interviste cliniche con domande legate alla percezione di freddo o caldo nel contatto con oggetti di diverso materiale, spesso legno, metallo, lana e cotone.

che vada bene per “l’energia trasferita per effetto di una differenza di temperatura”, ne sarei molto felice, chiamatela Harry, chiamatela Quincy, qualunque cosa eccetto calore”. Per una corretta comprensione dei fenomeni termodinamici è dunque fondamentale che gli studenti abbiano chiaro il concetto di temperatura e lo differenzino da quello di calore. È già stato documentato come sia ampiamente diffusa la concezione erronea della temperatura come grandezza estensiva, un’altra concezione errata molto diffusa è quella che porta alla definizione di temperatura come “quantità di calore contenuta in un corpo”, un fraintendimento che persiste fino al livello universitario. In altri casi, la temperatura viene descritta come “intensità di calore” o addirittura utilizzata come sinonimo di calore, entrambe errate. In uno studio (Di Savino, 2019), è stato evidenziato come queste concezioni portino alla naturale conclusione che due oggetti alla stessa temperatura contengano la stessa quantità di calore senza capire perché si debba parlare di quantità di calore assorbito o ceduto e non di semplice quantità di calore, ed inoltre non comprendendo a pieno la funzione della capacità termica e, in alcuni casi, della massa. Nello stesso studio è stato somministrato un questionario ad alcuni studenti della scuola secondaria che chiedeva loro di definire calore e temperatura, con domande formulate in modo da esplorare sia le definizioni, sia le relazioni tra questi concetti. Le risposte al questionario hanno mostrato che quasi l’80% degli studenti ha risposto in maniera errata alla domanda riguardo a cosa fosse la temperatura, con risposte tipiche di “è la quantità di calore” o “è la misura del calore”, mentre alla stessa domanda relativa al calore, le risposte errate superano il 50%, con tipiche risposte come “è la quantità di temperatura posseduta” o “è la sua temperatura”, mentre quelle parzialmente corrette sono state poco più del 20%. In entrambi i casi sono state giudicate corrette solo le risposte di circa il 20% del campione (17% per la temperatura e 22% per il calore).

Un piccolo approfondimento, che è bene affrontare, riguarda il modo in cui la terminologia collega i processi microscopici, come le interazioni tra particelle, ai fenomeni macroscopici, misurabili attraverso grandezze come temperatura, pressione e volume. Questo comporta il fatto che è importante, a livello didattico, sottolineare ed esplicitare in modo chiaro la connessione tra questi due livelli, come ben formalizzato nelle indicazioni nazionali per i licei relative al programma di fisica del secondo biennio: “Si completerà lo studio dei fenomeni termici con le leggi dei gas, familiarizzando con la semplificazione concettuale del gas perfetto e con la relativa teoria cinetica; lo studente potrà così vedere come il paradigma newtoniano sia in grado di connettere l’ambito microscopico a quello macroscopico.” (indicazioni nazionali per il liceo, INDIRE, 2010). A questo però non corrisponde un’adeguata trattazione nei libri di testo, la maggior parte dei quali segue un approccio in prevalenza macroscopico, soprattutto basandosi sull’importanza delle misurazioni e delle osservazioni dirette e relegando la trattazione

microscopica in qualche pagina di approfondimento al termine del capitolo. Questo approccio tende a condurre gli studenti a sviluppare quei modelli concettuali frammentari ed erronei che portano alle misconcezioni su temperatura e calore analizzati poc'anzi, lasciando loro l'impressione che l'approccio microscopico non sia scientificamente significativo ma si tratti solo di un approfondimento culturale trascurabile. Inoltre, la mancanza di una connessione macro-microscopico, porta ad importanti difficoltà interpretative di alcuni passaggi chiave fondamentali per la comprensione della terminologia: ad esempio un concetto astratto come l'entropia, senza una visione chiara dell'approccio microscopico, risulta assolutamente incomprensibile, rischiando di diventare un concetto vuoto, senza alcun significato fisico. Talvolta nei libri di testo si trovano anche immagini fuorvianti che hanno l'effetto negativo di peggiorare la comprensione delle particelle microscopiche, come omettere nelle rappresentazioni una corretta visualizzazione dell'energia cinetica o assegnare colori diversi ad atomi o molecole in funzione della loro temperatura (molecole fredde in blu e molecole calde in rosso), che può portare alla grave misconcezione che atomi o molecole possano essere freddi o caldi per loro natura anziché più o meno rapidi (Wittmann, 2006; Taber, 2013). Molti studi, inoltre, evidenziano che esistono anche ambiguità linguistiche che possono compromettere la corretta comprensione della terminologia, ed è essenziale che gli insegnanti ne siano consapevoli per evitare l'utilizzo di un linguaggio poco chiaro e per mettere in luce le possibili interpretazioni terminologiche errate (Loverude, Kautz & Heron, 2002; Meltzer, 2004; Brookes & Etkina, 2015), in modo da ridurre al minimo la confusione che può nascere utilizzando un linguaggio ambiguo. Una prima fonte di confusione è legata all'eredità linguistica lasciata dalla teoria del calorico, definitivamente abbandonata circa due secoli fa¹⁴, che ha lasciato elementi terminologici che possono confondere gli studenti. Il termine "capacità termica", analogo alla grandezza "capacità" come misura di liquido che può essere contenuta in un recipiente, richiama alla mente una sorta di "potere contenitivo" degli oggetti in grado di contenere calore come i recipienti contengono i liquidi; allo stesso modo quando si parla di "trasferimento di calore" sembra si possa intendere che il calore sia un'entità materiale che può essere spostata da un corpo ad un altro. Un ulteriore elemento di criticità risiede nell'uso di parole come "calore" e "temperatura" anche nel linguaggio non scientifico: espressioni come "prendere un colpo di calore", "entra freddo" oppure "prendi freddo", rischiano di

¹⁴ Naturalmente la teoria del calorico non è stata abbandonata in una data precisa, ma si è soliti considerarne l'abbandono progressivo tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo grazie ad esperimenti cruciali, tra cui quelli di Benjamin Thompson del 1798, James Joule del 1840 e Rudolf Clausius e Lord Kelvin intorno al 1850.

trasmettere l'idea che anche il freddo, come il caldo, sia un'entità fisica che si sposta e può penetrare negli oggetti. Particolarmente fuorviante è la già citata metafora del disordine legata alla misura dell'entropia, che può indurre gli studenti ad interpretare erroneamente il concetto (Sozibilir, 2001). Questo avviene perché la parola "disordine" è associata ad una distribuzione spaziale disomogenea di elementi, per cui si potrebbe pensare che, per esempio, alcuni cubetti di ghiaccio sparsi sul tavolo abbiano una elevata entropia perché sono "in disordine", conclusione naturalmente errata perché l'entropia non riguarda principalmente il "disordine spaziale" ma è usualmente riferita a squilibri di omogeneità nella distribuzione dell'energia nel sistema e non alla disposizione fisica del sistema stesso.

3 - La sperimentazione presso Engim Artigianelli

3.1 La formazione professionale in Italia

Il sistema scolastico italiano attuale è il risultato di un lungo processo storico che affonda le sue radici a metà dell'Ottocento, quindi antecedente alla formazione dell'Italia come stato unitario, ed il suo sviluppo ricalca le vicende storiche del nostro Paese seguendo la situazione socio-economica nei vari periodi storici.

Prima dell'unificazione, l'istruzione era frammentata e variava notevolmente in base alla collocazione geografica e alle esigenze del territorio. Tra gli stati preunitari, il Regno di Sardegna si distinse per l'introduzione nel 1850 della Legge Casati (ufficialmente nota come legge 13 novembre 1859, n. 3725), che istituiva un sistema educativo pubblico e gratuito e sostituiva la scuola di Stato al sistema educativo precedente, curato dalla Chiesa Cattolica. Questa legge non solo prevedeva l'istruzione elementare obbligatoria per due anni, ma creò anche le basi per le scuole tecniche, destinate a fornire un'educazione teorica e pratica per preparare gli studenti al mondo del lavoro. Queste ultime però non erano gratuite ed erano quindi inaccessibili per i figli delle famiglie meno abbienti, spesso impegnati nel lavoro agricolo.

Il periodo fascista vide due importanti interventi nel sistema educativo: la riforma Gentile del 1923, che innalzò l'obbligo scolastico fino ai 14 anni d'età, e la legge Belluzzo (Regio decreto n.577 del 5 febbraio 1928), che introdusse le "scuole di avviamento professionale", che permettevano ai ragazzi che avevano conseguito la licenza elementare di continuare gli studi per un triennio, al termine del quale era possibile andare a lavorare o iscriversi ad ulteriori gradi di istruzione.

La fine della Seconda Guerra Mondiale pose l'Italia di fronte alla sfida della ricostruzione del tessuto sociale e lavorativo, la carenza di infrastrutture e la necessità di rilanciare l'economia imposero una riqualificazione importante della forza lavoro ed in questo contesto la formazione professionale assunse il ruolo della preparazione tecnica e culturale dei giovani lavoratori. La costruzione di scuole e di centri di formazione divenne una misura essenziale per sostenere lo sviluppo economico, fornendo manodopera

qualificata per un mercato del lavoro in cambiamento, caratterizzato dalla nascita di grandi industrie e dallo sviluppo economico degli anni '50 e '60. In questo periodo emerge la fondamentale differenziazione tra l'Addestramento Professionale e la Formazione Professionale, che si riflette sull'attuale distinzione tra Centri di Formazione Professionali e Scuole Professionali. In origine l'addestramento professionale era un "processo formativo finalizzato all'acquisizione di competenze operativo-manuali per realizzare compiti esecutivi relativi a specifici mestieri", mentre la formazione professionale si configurava come "un processo di acquisizione di competenze di natura conoscitiva, operativa e relazionale per l'inserimento e la mobilità nel lavoro e l'inserimento nella vita sociale e la maturazione personale" (Ghergo, 2009), motivo del differente ministero di riferimento¹⁵. Inoltre, le profonde differenze sociali, economiche e produttive tra il Sud e il Nord del Paese hanno portato all'esigenza di rendere l'avviamento, orientato all'apprendimento di mestieri specifici, più vicino alle realtà territoriali, tanto che furono le regioni, che erano più vicine alle esigenze del territorio, ad occuparsene. Questo venne sancito in modo definitivo con la legge 845 del 1978 e ancora oggi le Regioni gestiscono in modo autonomo i percorsi dei Centri di Formazione Professionale, occupandosi di programmazione, finanziando le lezioni e verificando che ogni CFP¹⁶ rispetti gli standard di competenze degli alunni utilizzando il sistema di Accredimento Regionale.

Tra i CFP e le Scuole Professionali permangono alcune differenze significative, pur con degli aspetti molto simili come la validità per l'assolvimento dell'obbligo scolastico, i settori di formazione e l'attenzione alla formazione pratica ma anche teorica. È invece diversa la durata degli studi ed il titolo rilasciato al termine: 3 anni per l'attestato di qualifica professionale più un anno per il diploma tecnico per i CFP, 5 anni per il diploma per le Scuole Professionali; così come si possono vedere delle differenze per quanto riguarda gli obiettivi formativi e la tipologia didattica. A questo proposito, i CFP si concentrano sull'inserimento nel mercato del lavoro (ne è sintomo il fatto che il diploma tecnico professionale non permette l'accesso agli studi universitari) privilegiando l'apprendimento pratico attraverso laboratori in cui vengono simulate le dinamiche aziendali (gli allievi dei CFP trascorrono circa un terzo dell'anno scolastico a fare esercitazioni pratiche in laboratorio) e quello teorico molto focalizzato sulle materie professionalizzanti di indirizzo. Tenendo presente l'evoluzione storica appena

¹⁵ I Centri di Formazione Professionali sono sotto la competenza del Ministero del Lavoro mentre le Scuole professionali sotto quella del Ministero dell'Istruzione e del Merito.

¹⁶ Centri di Formazione Professionale.

accennata, risulterà chiara la motivazione per cui i CFP non siano tenuti a seguire strettamente i programmi ministeriali, infatti anche le materie di base vengono affrontate in un'ottica professionalizzante, strettamente correlata al settore specifico in cui gli studenti si stanno formando (Ghergo, 2013).

Purtroppo, nel nostro sistema educativo e nella nostra cultura, persiste uno stereotipo che porta a una gerarchizzazione degli indirizzi scolastici. In questo schema, la formazione professionale occupa i posti di minor pregio perché è considerata inferiore rispetto ad altre tipologie di istruzione. Storicamente, la formazione professionale ha rappresentato un canale diretto per rispondere alle esigenze del mercato del lavoro; tuttavia, oggi è spesso percepita come un "parcheggio" per coloro che non sono motivati a proseguire gli studi. Questa visione distorta è alimentata dalla mancanza di un orientamento strutturato per gli studenti in uscita dalle scuole medie. Infatti, i consigli sulla scuola superiore in cui continuare gli studi vengono frequentemente basati sui risultati scolastici, trascurando le passioni e i desideri dei ragazzi, in questo modo vengono orientati nei CFP non solo i ragazzi che hanno l'obiettivo di andare a lavorare in breve tempo, ma anche quelli che non sono motivati allo studio e sono obbligati ad iscriversi in una scuola superiore per terminare l'obbligo scolastico con il compimento dei 16 anni d'età.

3.2 Engim Piemonte ETS

Nella città di Torino, la formazione professionale ha radici profonde, fortemente influenzate dai santi sociali che a partire dal XIX secolo hanno dedicato la vita al miglioramento delle condizioni lavorative e sociali delle classi svantaggiate. Tra essi possiamo sicuramente ricordare San Giovanni Bosco, San Giuseppe Benedetto Cottolengo, San Giuseppe Cafasso, Giulia Falletti di Barolo e San Leonardo Murialdo. Oggi, il sistema di formazione professionale a Torino è ben strutturato e comprende numerosi CFP che offrono corsi in vari settori, rispondendo alle esigenze del mercato del lavoro locale. Attualmente, i CFP piemontesi formano migliaia di studenti ogni anno (oltre 83.000 nel 2022¹⁷), contribuendo significativamente all'occupabilità dei giovani e alla crescita economica della regione.

Leonardo Murialdo nasce a Torino nel 1828 in una famiglia molto agiata, resta presto orfano di padre e viene mandato in collegio per gli studi. Diventa sacerdote nel 1851 e da subito mette in atto iniziative in favore della gioventù svantaggiata della periferia torinese (in collaborazione con Giovanni Bosco) tenendo aperti numerosi oratori e, successivamente, una casa-famiglia. Nel 1866 divenne rettore del Collegio Artigianelli di Torino, fondato circa vent'anni prima da don Giovanni Cocchi, un collegio che si proponeva di accogliere, assistere, educare e formare al lavoro ragazzi poveri ed orfani. Si trattava di una scuola innovativa per l'epoca, perché all'interno di essa si potevano trovare ampi locali adibiti a laboratorio per una decina di mestieri, tra cui calzolaio, fabbro, falegname, sarto e tipografo e nel corso degli anni il numero di studenti tra i 12 ed i 19 anni aumentò costantemente, fino a raggiungere circa 200 ragazzi. All'interno del Collegio, San Leonardo Murialdo fondò nel 1873 la Congregazione di San Giuseppe con lo scopo di garantire la prosecuzione della sua opera educativa e professionale anche dopo la sua scomparsa, infatti la prima regola della Congregazione sottolinea la dedizione alla "cristiana educazione dei giovani poveri, orfani o abbandonati", evidenziando come il suo approccio educativo avesse anche delle componenti morali e

¹⁷ Fonte: Report IRES (Istituto di Ricerche Economico Sociali) Piemonte, Osservatorio Istruzione e Formazione professionale - Piemonte 2023, in https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2023-07/rifp2023_in_breve.pdf consultato il 10/12/2024

spirituali. Qualche decennio dopo, nel 1979 nasce E.N.Gi.M¹⁸ (Ente Nazionale Giuseppini del Murialdo) come emanazione della Congregazione di San Giuseppe, per poter aprire un Centro di Formazione Professionale a Nichelino (TO). Successivamente vengono aperte altre sedi, fino ad aprire la prima a Torino, proprio presso il Collegio Artigianelli, nel 1996. Attualmente ENGIM è un ente del terzo settore presente con 30 sedi operative e circa 10.000 allievi in Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna e Lazio, e all'estero in Europa, Asia, Africa e America Latina.

Nella sede di Torino - Artigianelli in questi ultimi anni sono attivi quattro percorsi di formazione professionale, dedicati a studenti di età compresa tra i 14 ed i 24 anni che hanno terminato il primo ciclo di istruzione (sono quindi in possesso di licenza di scuola secondaria di primo grado) relativi a due settori: ristorazione ed elettrico. Nello specifico l'offerta della scuola prevede un corso triennale duale per "Operatore della Ristorazione - Preparazione degli alimenti e allestimento piatti", un corso triennale duale per "Operatore della Ristorazione – Allestimento sala e somministrazione piatti e bevande", un corso triennale duale per "Operatore Elettrico - Installazione di impianti civili, per la sicurezza e la domotica" ed un corso biennale per "Operatore elettrico – Installazione e manutenzione di impianti elettrici civili". Completano i percorsi post qualifica dei due settori, due Diplomi Tecnici Professionali, entrambi duali, un "Tecnico dei servizi di sala, bar e cucina" e un "Tecnico elettrico".

La natura duale di questi percorsi fa sì che l'istruzione teorica sia integrata con l'esperienza pratica lavorativa. Questo approccio, originario della Germania e adottato in vari paesi europei, prevede che gli studenti alternino momenti di formazione in aula presso istituzioni educative e momenti di lavoro reale in aziende, chiamati "alternanza rafforzata", della durata non inferiore a 400 ore annue pari a circa il 40% delle ore dell'anno formativo. Il maggior vantaggio di questo grande numero di ore in azienda è che gli studenti sono accompagnati nel mondo del lavoro in maniera graduale e protetta¹⁹, accorciando i tempi di passaggio tra l'esperienza formativa e quella professionale. Un secondo grande vantaggio è che si crea un rapporto di collaborazione tra le scuole e le aziende, che porta al miglioramento della qualità della didattica, soprattutto in termini di competenze e di adeguamento dei curricula formativi in funzione delle richieste del mercato del lavoro.

¹⁸ In seguito, semplicemente "Engim".

¹⁹ Esiste infatti la figura del tutor scolastico e del tutor aziendale, due persone che si occupano del periodo di alternanza del ragazzo e che sono pronti a sostenerlo in caso di difficoltà.

3.3 Le classi coinvolte

Nel centro di formazione professionale ENGIM Torino - Artigianelli sono attualmente presenti circa 250 alunni divisi equamente tra i due settori, ristorativo ed elettrico, che provengono da percorsi scolastici diversi: molti di essi approdano al CFP immediatamente dopo aver terminato la terza media cercando un percorso alternativo rispetto alla scuola superiore tradizionale, attirati dall'esigua quantità di ore di studio richieste rispetto alle ore di pratica manuale e quindi vengono inseriti nei percorsi triennali. Una seconda categoria di ragazzi, che compongono i corsi biennali, è quella che desidera cambiare percorso scolastico, solitamente a seguito di uno o più fallimenti in scuole superiori più richiedenti, anch'essi in cerca di un approccio più pratico e orientato al lavoro. Una terza categoria da considerare è formata da ragazzi che, a causa del loro vissuto, hanno abbandonato gli studi senza aver conseguito nessun titolo. Questi ragazzi sono mediamente più grandi e più interessati all'inserimento lavorativo in breve tempo, sono meno abituati a seguire il regolamento scolastico e sono più soggetti ad abbandonare gli studi. Sono anche presenti minori non accompagnati, giovani di età inferiore ai 18 anni, cittadini di Stati non appartenenti all'Unione Europea o apolidi, che provengono da situazioni di conflitto, povertà o persecuzione nei paesi di origine ed intraprendono viaggi di fortuna verso l'Italia in cerca di sicurezza ed opportunità. Solitamente sono accolti in comunità alloggio educative, conoscono molto poco (o non conoscono affatto) la lingua italiana e per questo frequentano anche i CPIA²⁰. Infine, ci sono giovani che hanno già conseguito una qualifica professionale e desiderano proseguire la loro formazione per ottenere un diploma professionale frequentando i due quarti anni.

Il metodo educativo che i formatori adottano è caratterizzato da un approccio variegato e multidimensionale, che tenta di rispondere alle esigenze specifiche degli studenti per

²⁰ I CPIA, ovvero Centri Provinciali per l'Istruzione degli Adulti, sono istituzioni scolastiche statali italiane istituite con il decreto del Presidente della Repubblica n. 263 del 29 ottobre 2012. Questi centri sono progettati con lo scopo di istruire adulti e giovani che hanno compiuto almeno 16 anni, con l'obiettivo di far conseguire loro la licenza media. Una porzione consistente di ore di studio riguarda proprio l'insegnamento della lingua italiana.

fornire loro una preparazione adeguata, ma alla luce della grande varietà di allievi, il lavoro in aula, didattico e non, non è sempre facile. Un aspetto fondamentale è sulle competenze trasversali, ovvero le abilità comunicative e il problem solving ma anche la capacità di rispettare persone, regole ed orari e la capacità di far parte di un team; a questo si aggiungono gli aspetti formativi che spesso sono lacunosi. Molti studenti giungono alla formazione professionale dopo esperienze scolastiche che possono aver lasciato carenze nelle competenze di base, come la lettura, la comprensione dei testi, la scrittura o il calcolo (più di uno studente riporta che nelle scuole precedenti era più il tempo che passava fuori che dentro l'aula), ma le carenze più evidenti si notano soprattutto a livello relazionale-emotivo. Alcuni ragazzi hanno esperienze di vita estremamente complesse, con difficoltà familiari importanti o con vissuti personali traumatici, ed i formatori sono spesso chiamati a svolgere un ruolo non solo educativo, ma anche di supporto personale ed emotivo, che a volte comprende anche i familiari. Creare un ambiente inclusivo ed accogliente è cruciale, ma è altrettanto importante che alle regole della scuola (e del vivere civile) non si transiga, perché alle difficoltà sopra descritte spesso si accompagnano problemi di tipo comportamentale, in qualche caso aggravati dall'utilizzo di sostanze stupefacenti o dall'appartenenza a gruppi o gang. I ragazzi iscritti alla sede Artigianelli mediamente provengono zone periferiche di Torino, appartengono ad un ceto sociale medio-basso e non ci sono grandi differenze numeriche tra italiani e stranieri²¹.

Per tutte queste ragioni, i formatori d'aula sono spesso impegnati ad affrontare sfide significative che rendono la lezione "reale" molto diversa da quella idealmente progettata. Fanno il possibile per progettare e realizzare attività pratiche e coinvolgenti, con l'obiettivo di catturare l'interesse degli studenti e si trovano a dover gestire contemporaneamente le diverse problematiche che possono verificarsi in classe, quali la mancanza di materiale didattico, la scarsa memoria dei contenuti delle lezioni precedenti, i conflitti tra studenti e la mancanza di partecipazione alle attività didattiche. In questa sperimentazione sono state coinvolti circa 100 allievi suddivisi in queste 6 classi:

- 3 classi del percorso triennale duale di operatore elettrico (tutte e tre le annualità)
- 2 classi del percorso biennale di operatore elettrico (entrambe le annualità)

²¹ Fonte: Segreteria di Engim Piemonte ETS - Artigianelli. Ricerca effettuata il 13/12/2024 relativa agli studenti iscritti a percorsi di formazione professionale nell'anno formativo 2024/2025.

- la classe del IV anno di tecnico elettrico²²

In tutte queste classi la composizione è esclusivamente maschile e l'età è compresa tra 14,5 e 21,5 anni. L'età degli studenti, in questo tipo di ricerche, è di fondamentale importanza in termini di sviluppo cognitivo, autonomia personale, motivazione educativa ed esperienze sociali. La letteratura scientifica pone molta enfasi sulle differenze evolutive nell'apprendimento tra studenti di 14 e 21 anni, sottolineando come nei quattordicenni prevalga un apprendimento legato all'esperienza diretta, con limitata capacità di astrazione e difficoltà di mantenere l'attenzione su concetti teorici mentre nei ventunenni è più sviluppata la capacità di pensiero astratto, di ragionamento ipotetico-deduttivo e di connessione tra concetti anche apparentemente astratti (Schulz, Molenda-Figueira & Sisk, 2009; Luna, Padmanabham & O'Hearn, 2010; Zimmerman & Martinez-Pons, 2015), ma ci sono anche altri fattori di cui è necessario tenere conto. Nei percorsi di formazione professionale, come già analizzato, esiste una marcata eterogeneità di ragazzi, alcuni dei quali provenienti da contesti socio-economici complessi o con traiettorie scolastiche non lineari, che sviluppano precocemente competenze di adattamento e resilienza che tendono a livellare le tradizionali tappe evolutive. I vissuti di questi ragazzi, che spesso includono responsabilità familiari precoci, esperienze lavorative parallele al percorso formativo, o background di discontinuità scolastica, generano una forma di apprendimento più pragmatica e meno legata alle fasi evolutive canoniche. La necessità di confrontarsi con contesti reali e sfide concrete produce un'accelerazione dei processi di maturazione che rende meno distinguibili le differenze cognitive, sostituendole con traiettorie di sviluppo più individualizzate e legate al contesto specifico (Colley, Hodkinson & Malcom, 2003; Lave & Wenger, 1991). Per diminuire ulteriormente le possibili difformità di apprendimento legate a questioni evolutive, è stato scelto di effettuare la sperimentazione in momenti diversi dell'anno scolastico in questo modo: la classe mediamente più giovane, la I triennale, è stata coinvolta a fine anno, al fine di portare l'età media della classe a 15,8 anni, invece la classe di ragazzi più grandi, il IV anno, è stata la prima ad essere coinvolta, in ottobre, così da avere un'età media di 18,5 anni.

²² Per rendere più fluido il testo, le classi verranno abbreviate seguendo questa notazione: le tre triennali duali saranno chiamate "I triennale", "II triennale" e "III triennale", le due biennali saranno "I biennale" e "II biennale" e il IV anno di tecnico elettrico sarà chiamato semplicemente "IV anno".

3.4 La sperimentazione

Questo lavoro si propone di valutare l'apprendimento degli studenti in relazione alla metodologia didattica utilizzata. Sono stati scelti due argomenti di fisica solitamente non affrontati in classe, per evitare interferenze con lezioni pregresse: la cinematica e la termologia. Per la cinematica sono stati trattati le grandezze scalari e vettoriali, il moto rettilineo uniforme, il moto uniformemente accelerato, le rispettive leggi del moto, i moti composti, la caduta dei gravi ed i grafici posizione/tempo, velocità/tempo ed accelerazione/tempo. Per la termologia sono state affrontate le definizioni di calore e temperatura, la temperatura di equilibrio, gli scambi di calore, la dilatazione termica e i passaggi di stato.

Ogni classe ha affrontato entrambi gli argomenti, ma con una lezione impostata in maniera diversa, così suddivise²³ (Tab.1):

	Cinematica	Termologia
I Triennale (22 studenti)	Challenge-Based	Lezione frontale
II Triennale (16 studenti)	Lezione frontale	Challenge-Based
III Triennale (15 studenti)	Lezione laboratoriale	Lezione frontale
I Biennale (19 studenti)	Lezione laboratoriale	Challenge-Based
II Biennale (14 studenti)	Challenge-Based	Lezione laboratoriale
IV Anno (15 studenti)	Lezione Frontale	Lezione laboratoriale

Tabella 1 - Suddivisione dei metodi didattici e numero di iscritti per ogni classe che ha partecipato alla sperimentazione.

²³ Per evitare bias legati all'età o alla composizione della classe nell'assegnazione della tipologia didattica, le classi sono state ordinate alfabeticamente in base al primo alunno in elenco, e seguendo quest'ordine sono state assegnate le diverse metodologie.

Ad ogni alunno sono stati somministrati due test che comprendevano alcune risposte chiuse e alcune risposte aperte. Le risposte chiuse sono state tratte dai test concettuali citati al cap. 2.4, vale a dire l'FCI²⁴ e l'FMCE²⁵ per quanto riguarda la cinematica e il TCE²⁶ per la termologia, le risposte aperte sono state aggiunte per approfondire e per conoscere le motivazioni di una risposta precedente, per confrontare due risposte precedenti o per chiarire un concetto. Il test di cinematica (Appendice A) comprende 8 domande a risposta chiusa e 3 a risposta aperta, il test di termologia (Appendice B) invece 8 domande a risposta chiusa e 5 a risposta aperta. Questi test sono stati sottoposti agli studenti in tre momenti: prima delle lezioni, per poter conoscere il loro livello di partenza, dopo le lezioni, per verificare se ci fosse stato un apprendimento, e molto tempo dopo le lezioni (da circa un mese a circa quattro mesi dopo), per verificare quanto l'apprendimento fosse stato significativo. Al termine del questionario post-lezione, gli studenti hanno valutato con un punteggio da 1 a 5 quanto avessero trovato l'argomento e la modalità didattica interessanti, stimolanti e piacevoli. Questa valutazione ha fornito indicazioni non solo sul loro livello di coinvolgimento, ma anche su altri aspetti dell'esperienza didattica poiché una delle valutazioni da dare era relativa a quanto avessero trovato facile comprendere gli argomenti trattati. Questa domanda è particolarmente interessante perché si tratta di un indicatore di quanto gli studenti abbiano la percezione di aver capito, percezione che, come vedremo, in alcuni casi non corrisponde alla realtà.

Questo lavoro ha richiesto una notevole quantità di tempo: pur trattandosi di argomenti molto ben definiti e circoscritti, sono state necessarie quasi 130 ore di docenza e 18 per l'erogazione dei questionari, e la sperimentazione ha avuto luogo nell'anno formativo 2023/2024, da metà ottobre a fine giugno. La suddivisione delle ore di lezione in dettaglio è stata condizionata da alcune variabili legate ad eventi scolastici o a necessità didattiche che verranno dettagliate meglio in seguito, sebbene fosse stato inizialmente previsto per ogni classe e argomento una durata degli interventi di 10 ore, in modo da rendere confrontabili le modalità didattiche diverse. Gli studenti hanno impiegato circa 30 minuti per completare ciascun questionario, per un totale di un'ora per classe in ognuna delle tre somministrazioni previste.

²⁴ Force Concept Inventory.

²⁵ Force and Motion Conceptual Evaluation.

²⁶ Thermal Concept Evaluation.

3.5 - Risultati dei test preliminari

La prima attività relativa alla sperimentazione è stata quindi la somministrazione del primo dei questionari. Analizzando le risposte ricevute è possibile delineare un quadro abbastanza chiaro delle conoscenze pregresse degli studenti. I dati raccolti mostrano risultati significativamente inferiori rispetto a quelli attesi e questo divario nelle competenze e nelle conoscenze di base potrebbe essere attribuito a molteplici fattori, tra cui il background culturale e scolastico dei ragazzi iscritti nei centri di formazione professionale e la conseguente difficoltà di comprensione di alcune domande o risposte. L'analisi qualitativa delle risposte aperte ha sottolineato, in alcuni casi, la mancanza di capacità di formulare risposte soddisfacenti e nonostante l'esplicita comunicazione dell'assenza di una valutazione formale, è stato evidente il ricorso a fonti esterne, quali i motori di ricerca e strumenti di intelligenza artificiale. Questa tendenza è stata evidenziata dall'utilizzo di un linguaggio tecnico spesso non allineato con il loro effettivo livello di competenza o, in più di un caso, dalla risposta incoerente con la domanda o con la risposta precedente se era necessario motivarla. Si è inoltre riscontrata una tendenza generalizzata tipica tra gli allievi della formazione professionale, a privilegiare approcci mnemonici piuttosto che strategie di pensiero critico. Questa caratteristica ha inciso significativamente sui risultati ottenuti nei test concettuali, appositamente strutturati su argomenti non inclusi nel curriculum didattico per consentire un confronto tra allievi di diverse annualità. Tale scelta metodologica, seppur necessaria per la comparazione, ha comportato una difficoltà aggiuntiva per gli studenti che non avevano mai affrontato gli argomenti in oggetto e che quindi non avevano memorizzato nozioni relative ad essi. A complicare ulteriormente il quadro contribuiscono i fattori socio-culturali, evidenziati nel paragrafo 3.3, che influiscono sui singoli processi di apprendimento e rendono ancora più complessa la compilazione di test di questo tipo. Un ulteriore elemento da considerare è il livello di concentrazione e attenzione necessario per elaborare risposte dopo aver ragionato sui quesiti proposti, capacità a cui gli studenti riescono a fare ricorso solo limitati intervalli temporali. Questa limitazione si manifesta spesso attraverso problematiche comportamentali: alcuni studenti hanno completato il test frettolosamente per poter tornare a utilizzare lo smartphone, mentre altri hanno fornito risposte casuali o poco ponderate. Tale scarsa attenzione può essere

attribuita a vari fattori, tra cui la mancanza di motivazione, la difficoltà nella comprensione immediata delle domande, o la tendenza a rispondere casualmente in assenza di una conoscenza sicura della risposta corretta.

3.5.1 Cinematica

Il questionario di cinematica ha ottenuto risultati mediamente più bassi di quello di termologia, con una media di 1,37 risposte corrette su 8 tra gli 83 alunni partecipanti. La distribuzione dei punteggi, come evidenziato dal grafico (Grafico 1), mostra che 20 alunni non hanno fornito alcuna risposta corretta, mentre 31 hanno risposto correttamente ad una sola domanda e 21 a due. Tra i rimanenti 12 studenti, la maggioranza, 8 studenti, ha risposto correttamente a 3 domande, un solo studente ha ottenuto 4 risposte corrette e due sono riusciti a rispondere correttamente a 5 domande.

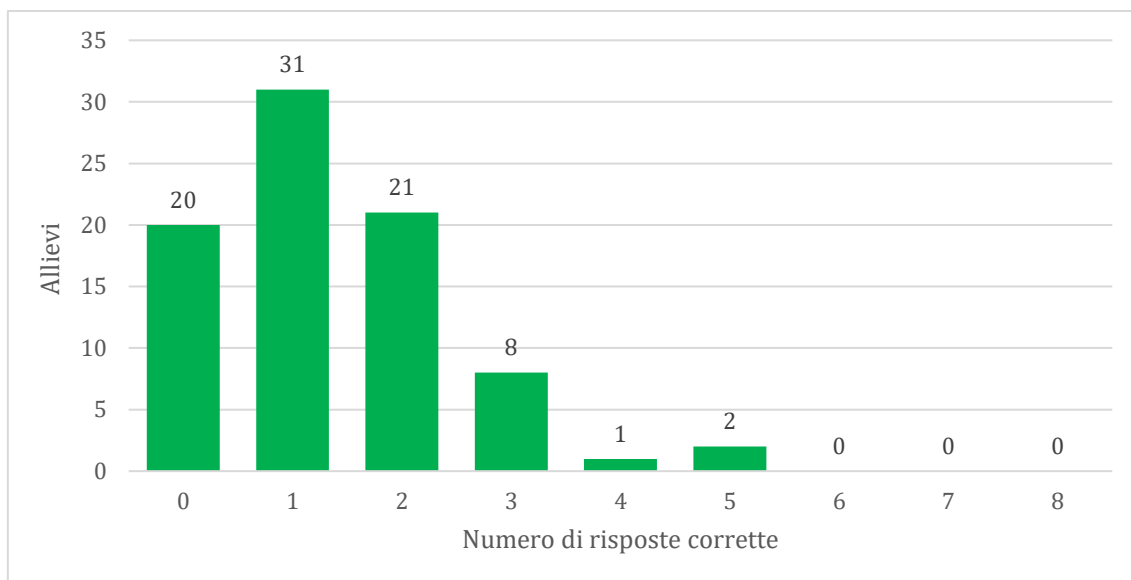


Grafico 1 – Istogramma della distribuzione di risposte corrette ai questionari di cinematica.

L'analisi delle singole domande rivela che gli studenti hanno trovato difficoltà in tutto il test, ottenendo il risultato migliore nella domanda 4 con 25 risposte corrette (30,1%), mentre il peggiore è stato ottenuto nella domanda 5 che ha registrato solo 5 risposte corrette (6,0%), due domande che riguardavano lo stesso argomento.

La struttura del test comprendeva diversi argomenti: i primi due quesiti riguardavano la caduta di gravi con identiche dimensioni ma peso diverso, seguiti da una domanda sull'aumento di velocità di una pietra in caduta, due domande sulla traiettoria di oggetti in caduta con velocità orizzontale ortogonale alla caduta e tre domande finali sul moto di un oggetto lanciato verso l'alto. Erano inoltre presenti 3 domande a risposta aperta che richiedevano di spiegare la risposta della domanda numero 3, sulla caduta del sasso; di motivare eventuali differenze nelle risposte della domanda 4 e 5, sulla composizione dei moti e di descrivere il moto dell'oggetto lanciato in verticale, dopo la domanda 8.

Il primo quesito presentato agli studenti chiedeva di confrontare il tempo di caduta di due palle metalliche di dimensioni uguali ma con una di peso doppio rispetto all'altra e di

stabilire se toccassero il suolo simultaneamente. Solo 20 studenti (24,1%) ha risposto correttamente che il tempo di caduta sarebbe stato uguale per entrambe le palle, mentre la maggioranza, costituita da 47 studenti (56,6%), ha risposto che la più pesante avrebbe toccato il suolo prima di quella più leggera. Di questi, 17 studenti (20,5%) hanno ipotizzato che avrebbe impiegato “circa metà tempo” e 30 studenti (36,1%) “molto meno ma non necessariamente la metà”. I rimanenti 16 studenti (19,3%) hanno risposto che la palla più leggera avrebbe toccato il suolo per prima (Grafico 2).

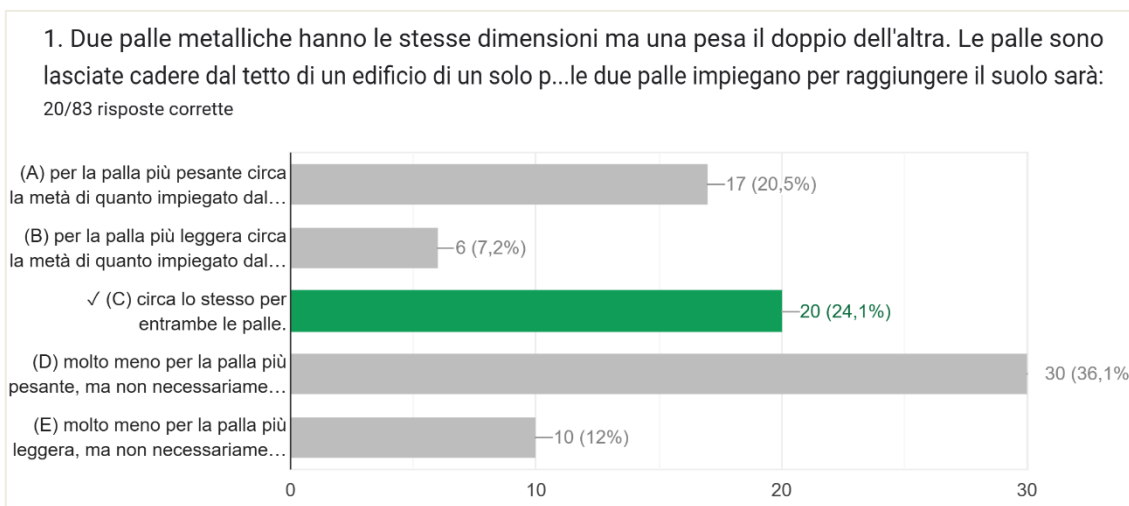


Grafico 2 – Risposte alla prima domanda del questionario di cinematica.

La seconda domanda, che richiedeva di valutare la distanza orizzontale raggiunta dalle stesse palle dopo aver rotolato fino al bordo di un tavolo, ha evidenziato risultati simili. Anche in questo caso ci sono state poche risposte corrette, solo 17 studenti (20,5%), con una netta maggioranza composta da 47 allievi (56,6%) che ritiene erroneamente che la palla più pesante debba cadere più vicina alla base del tavolo (risposte B e D), ed altri 19 studenti (22,9%) che hanno ritenuto che sarebbe stata la palla più leggera a cadere più vicina (risposte C e E) (Grafico 3).

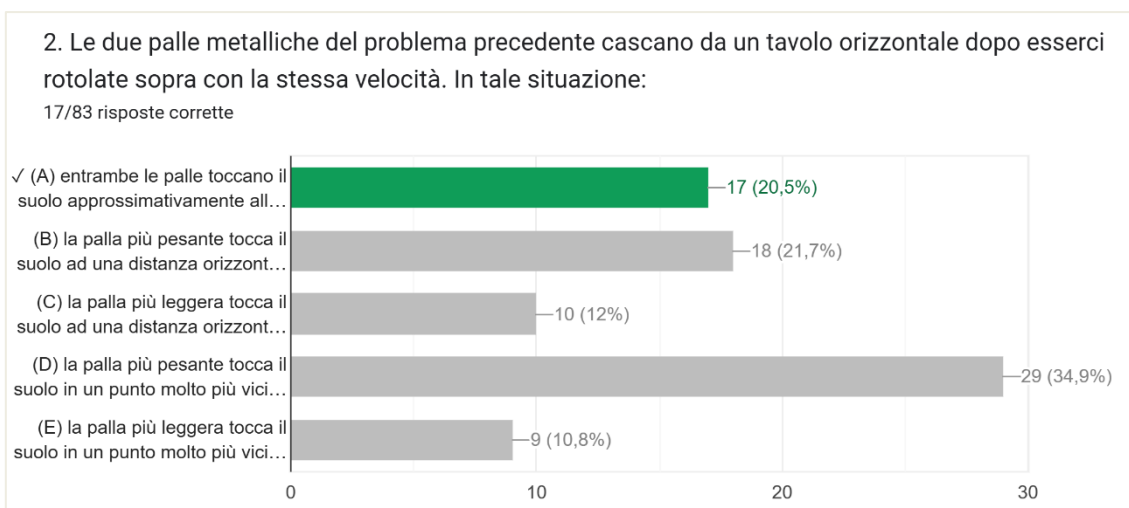


Grafico 3 – Risposte alla seconda domanda del questionario di cinematica.

Considerando entrambe le domande si evidenzia che circa l'80% degli studenti ha mostrato una concezione errata dell'influenza del peso sulla caduta degli oggetti. La maggior parte di essi, infatti, ritiene che gli oggetti più pesanti cadano più velocemente, come dimostrato in alcune risposte aperte legate alla caduta libera, come “La palla più pesante cade per prima perché il suo peso è maggiore di quella più leggera”, “la forza di gravità attira di più le cose più pesanti” oppure “le due palle pur cadendo dalla stessa altezza avranno due tempi di impatto diversi a causa del loro peso: la palla più pesante impatterà prima perché essendo pesante il doppio dell'altra avrà maggior velocità”. Probabilmente per lo stesso motivo nel secondo quesito immaginano che durante la caduta possano percorrere meno distanza orizzontale. È interessante notare che esiste anche una minoranza significativa di studenti (circa il 19% nella prima domanda e il 23% della seconda) che sostiene l'opposto, ritenendo che gli oggetti più leggeri cadano più velocemente o percorrano meno distanza orizzontale. Quando interrogati su questa risposta, questi studenti hanno spiegato che “è più facile spostare gli oggetti leggeri” e quindi cadendo acquisiscono velocità più rapidamente, mentre per quanto riguarda la distanza orizzontale, hanno attribuito la minor distanza alla resistenza dell'aria che impedirebbe loro di avanzare.

Il terzo quesito richiedeva di identificare l'affermazione corretta riguardo la caduta di una pietra dal primo piano di un edificio e la maggioranza degli studenti, 41 (49,4%), ha erroneamente selezionato l'affermazione secondo cui la velocità della pietra aumenta perché l'attrazione gravitazionale a cui è sottoposta cresce considerevolmente man mano che la pietra si avvicina alla superficie terrestre. Solo 19 studenti (22,9%) hanno invece correttamente indicato che la velocità aumenta a causa di una forza di gravità verso il basso quasi costante (Grafico 4).

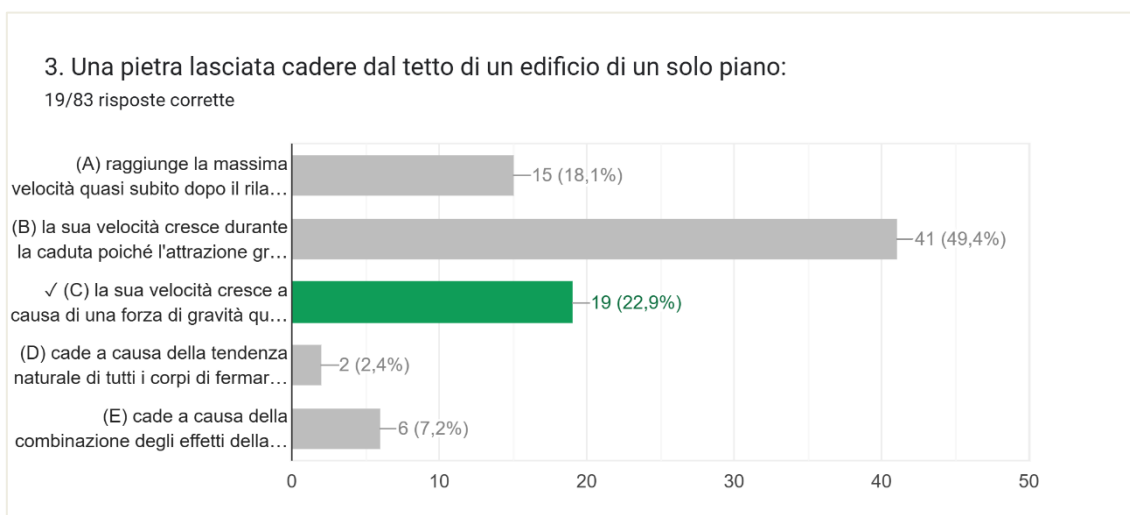


Grafico 4 – Risposte alla terza domanda del questionario di cinematica.

Le risposte degli studenti hanno evidenziato una diffusa confusione tra i concetti di accelerazione gravitazionale e velocità, con la tendenza a considerarli come un unico fenomeno e questa misconcezione emerge chiaramente dalle risposte aperte fornite nella domanda successiva, dove gli studenti dovevano motivare la loro scelta. Molti hanno espresso convinzioni errate, affermando per esempio “ho scelto la risposta B perché la gravità cresce se la distanza dell’oggetto si avvicina al suolo” o “l’attrazione gravitazionale aumenta mano a mano che la pietra si avvicina alla Terra”. Altri hanno scritto che “all’inizio della caduta, l’attrazione gravitazionale è debole, ma aumenta rapidamente fino a raggiungere il suo massimo valore quando la pietra tocca il suolo”, o che “l’attrazione gravitazionale aumenta e di conseguenza anche la velocità aumenta”. Una terza risposta significativa, scelta da 15 studenti (18,1%), sosteneva che la pietra raggiungesse rapidamente la massima velocità possibile per poi cadere a velocità costante. Questa risposta potrebbe essere causata da due fattori: la sovrastima dell’effetto della resistenza dell’aria con la conseguente difficoltà nel contestualizzare il problema, considerato che una pietra in caduta dal primo piano di un edificio difficilmente ne risentirebbe in modo significativo oppure l’idea che una forza costante implichi una velocità costante. Queste idee errate sono evidenti dalle spiegazioni fornite dagli studenti, come: “la velocità diventerà costante perché interverrà anche l’aria” o “secondo me la velocità rimane costante perché la forza gravitazionale è la stessa”. Anche in questo quesito compare l’idea che in qualche modo il peso influenzi la velocità di caduta: “Scende a velocità costante perché il peso è sempre lo stesso e non può aumentare quindi mantiene sempre la stessa velocità”. Ci sono state anche risposte confuse, che denotano poca dimestichezza con i concetti matematici: “Quando la pietra viene lanciata la velocità rimane costante non varia di molto cioè aumenta ma rimane costante”.

Le rimanenti risposte, seppur minoritarie, rivelano altre concezioni errate: 6 studenti (7,2%) hanno indicato che la pietra cade a causa dell’azione combinata della gravità e della forza dell’aria, entrambe che causano una spinta verso il basso, mentre 2 studenti (il 2,4%) hanno espresso l’idea che tutti gli oggetti abbiano una naturale tendenza a raggiungere la superficie della Terra, come evidenziato da affermazioni quali “come sappiamo tutti corpi vengono attratti verso il centro della terra e si fermano sulla superficie” o semplicemente “perché la pietra è attratta al suolo”.

Le domande 4 e 5 presentano un interessante contrasto nei risultati, pur trattando entrambe di un oggetto in caduta con velocità orizzontale non nulla. La domanda 4, che richiedeva di indicare la traiettoria di una palla di cannone sparata in orizzontale da un’altura, ha registrato il maggior numero di risposte corrette del test (25, pari al 30,1%), mentre la domanda 5, sulla traiettoria di una palla da bowling in caduta da un aeroplano, ha ottenuto il minor numero di risposte esatte (5, pari al 6,0%), dimostrando difficoltà con

l'analisi del moto in diversi sistemi di riferimento e contestualità nelle risposte degli studenti (Figura 1).

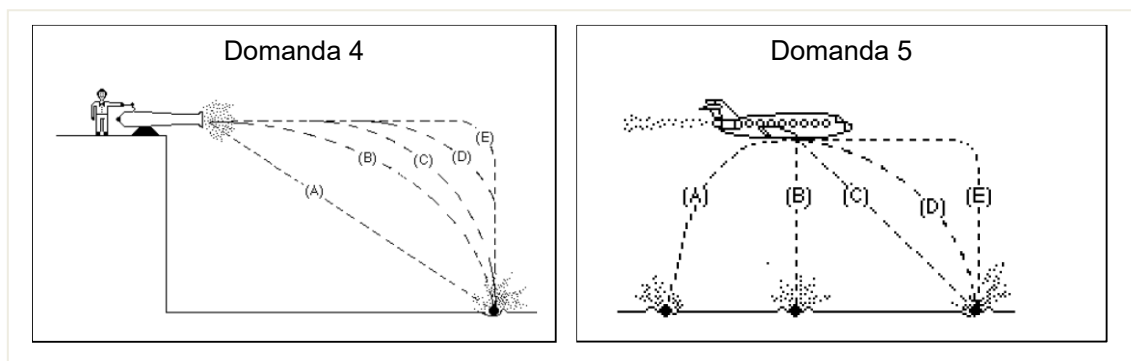


Figura 1 - Immagini della quarta e quinta domanda del questionario di cinematica.

Approfondendo l'analisi, emerge che solo uno dei cinque studenti che hanno risposto correttamente alla domanda 5 ha fornito anche la risposta esatta alla domanda 4, evidenziando una comprensione non uniforme del fenomeno. Nell'analisi della domanda 4, emerge che una percentuale significativa di studenti (50,6%, pari a 42, tra cui 2 dei 5 che avevano risposto correttamente alla precedente) ha selezionato una traiettoria simile a quella parabolica (risposta C), che se ne discostava leggermente per un tratto orizzontale iniziale.

Questo errore, se in parte risulta comprensibile considerando che gli studenti hanno compilato il test su smartphone, visualizzando quindi immagini di dimensioni ridotte, mette in luce una misconcezione che, come è evidente dai dati, è molto diffusa: quella secondo cui le forze agenti sullo stesso corpo competano tra loro ed abbia effetto solo la più "forte". Ad esempio, uno studente giustifica la risposta C scrivendo che "Nella 4 la palla viene sparata e segue per un istante una traiettoria quasi dritta finché poi inizia leggermente ad andare sempre più verso il basso", ed un altro scrive che "la palla di cannone cade seguendo la traiettoria B o C se la forza data dall'innescò è maggiore o minore". Queste risposte riflettono la concezione che esista una forza che continua ad agire sulla palla dopo l'uscita dalla bocca del cannone capace di disattivare la forza di gravità, e che sia responsabile del tratto rettilineo iniziale di traiettoria. Solo quando questa forza diminuisce di intensità inizierebbe ad agire anche la forza di gravità, responsabile del moto verso il basso. La terza opzione (risposta D), scelta da 5 studenti (6,0%), enfatizzava ulteriormente il tratto orizzontale iniziale ma aggiungeva un tratto finale verticale che, secondo questa interpretazione, è causato dal completo esaurimento della forza che spinge la palla in avanti. In questo scenario, la forza di gravità resterebbe l'unica ad agire e quindi il tratto finale della palla sarebbe esclusivamente verticale. Le altre risposte errate hanno raccolto percentuali minori: la traiettoria rettilinea obliqua verso il basso (risposta A, 5 studenti, 6,0%) e quella basata

sul concetto di impetus (risposta E, 6 studenti, 7,2%) per cui la palla prosegue in orizzontale e quando termina la forza della detonazione cade in verticale (Grafico 5).

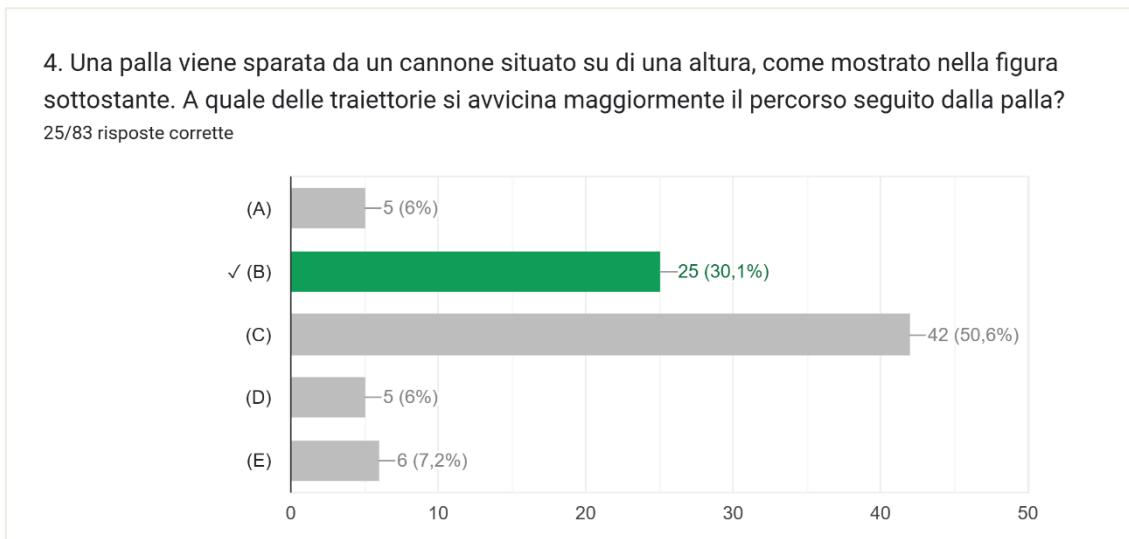


Grafico 5 – Risposte alla quarta domanda del questionario di cinematica.

Per quanto riguarda il quinto quesito, la distribuzione delle risposte è stata notevolmente diversa: la maggioranza degli studenti (51,8%, pari a 43) ha indicato una parabola nella direzione opposta al moto dell'aereo, mentre una seconda percentuale consistente (34,9%, pari a 29 risposte) ha optato per una traiettoria rettilinea verso il basso. Le altre opzioni, inclusa quella corretta (5 risposte, 6,0%), hanno raccolto percentuali trascurabili: la traiettoria rettilinea obliqua nella direzione dell'aereo (5 risposte, 6,0%) e quella inizialmente orizzontale seguita dalla caduta verticale (1 risposta, 1,2%) (Grafico 6).

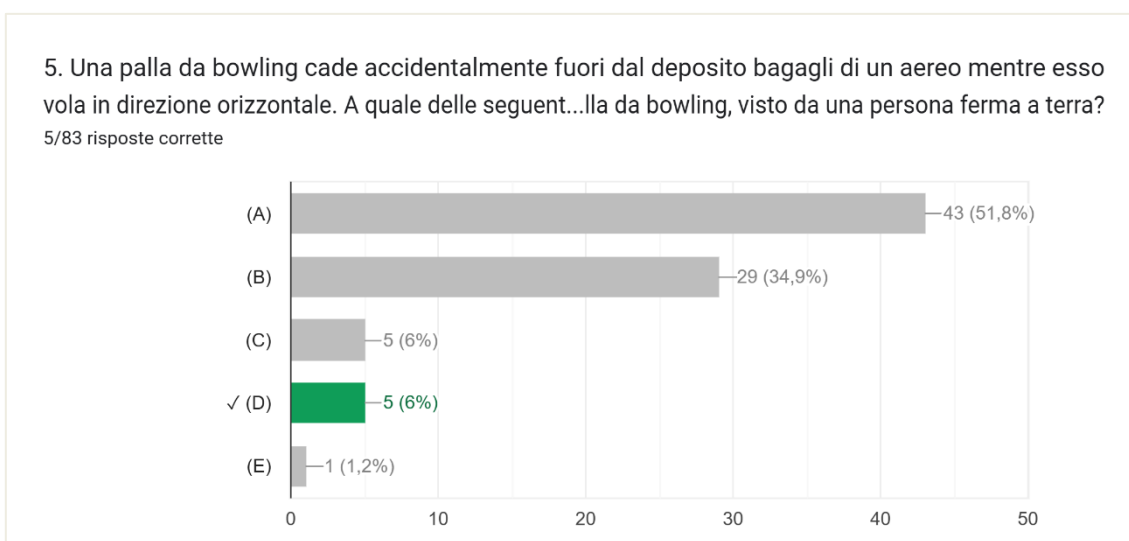


Grafico 6 – Risposte alla quinta domanda del questionario di cinematica.

La prevalenza delle risposte A e B riflette la tendenza diffusa degli studenti a immaginare la situazione dal punto di vista dell'agente dal quale l'oggetto cade, nonostante le

istruzioni specificano chiaramente il contrario, con diversi livelli di astrazione. La risposta A rivela un approccio più realistico, in cui gli studenti considerano l'effetto dell'attrito dell'aria: in assenza di una spinta in avanti, l'oggetto rimane indietro rispetto all'aereo. La risposta B riflette invece un ragionamento più teorico: in assenza di attrito, l'oggetto cadrebbe in verticale.

Le motivazioni fornite nelle domande aperte rivelano diverse concezioni erranee. Alcuni studenti non hanno considerato il moto iniziale della palla da bowling all'interno dell'aereo, manifestando difficoltà nel gestire due sistemi di riferimento diversi, come: "la palla da bowling cade da un aereo in movimento ma la palla è ferma e per forza di gravità cade per terra in linea retta", "il cannone spinge la palla quindi diventa la motrice invece la palla cade dall'aereo", oppure "La palla di cannone viene spinta da una forza e invece la palla da bowling scende in verticale" e "Nella domanda 4 la palla viene spinta in avanti dalla forza del cannone e in basso per la forza di gravità quindi fa una traiettoria curvata, invece nella domanda 5 la palla da bowling cade solo in basso perché c'è solo la forza di gravità". Altri hanno fatto riferimento alla misconcezione dell'impetus, immaginando una "potenza" che si esaurisce gradualmente, ad esempio "Nella palla di cannone ho scelto la E perché parte ad una velocità forte quindi va lontano e poi inizia a scendere", "nella domanda numero 4, secondo me la risposta giusta è la D, perché quando il cannone spara la palla, le dà la potenza necessaria per proseguire dritta, più va dritta più perde 'potenza' quindi tende a cadere" e "La palla di cannone all'inizio va dritta per la spinta, appena finisce la potenza della spinta inizia ad essere attratta dalla gravità e quindi tende a scendere creando una cupola". Infine, numerose risposte hanno attribuito alla resistenza dell'aria un ruolo predominante nel determinare la traiettoria, specialmente per giustificare la scelta della parabola in direzione opposta al moto dell'aereo, esprimendo che: "Quando la palla cade dall'aereo non cade nello stesso posto dove si lascia, va indietro perché l'aria lo sposta", "ho scelto la A perché appena lasci qualcosa dall'aereo c'è troppo vento quindi la palla va all'indietro poi cade", "la palla da bowling uscendo dall'aereo sentirà l'attrito dell'aria e cadrà come nel punto A", "la palla non cade nello stesso posto ma va indietro perché c'è l'aria" ed infine "il vento spinge la palla verso il dietro".

La parte conclusiva del questionario si concentrava sull'analisi del moto di una moneta lanciata verticalmente verso l'alto. Nello specifico, veniva richiesto di determinare l'accelerazione del corpo in tre fasi distinte della sua traiettoria: durante il movimento ascendente, nel punto di massima altezza e durante la discesa. Nessuno studente ha risposto in maniera corretta a tutte e tre le domande, indicando cioè l'accelerazione di gravità costante e rivolta verso il basso sebbene per ogni domanda ci siano state alcune risposte corrette: in un caso 8 (9,6%, nella domanda relativa alla fase ascendente) e

negli altri due 10 (12,0%). Non sembrano esserci neanche corrispondenze che coinvolgono solo due delle tre domande, poiché solo in 4 casi si hanno coppie di risposte corrette e di queste, due coinvolgono la prima e la terza domanda e una coinvolge le altre due combinazioni possibili. Analizzando i tre quesiti appare evidente la confusione molto forte tra velocità ed accelerazione, infatti in tutti e tre i casi la risposta più scelta era quella che descriveva la velocità e non l'accelerazione. Nel primo caso infatti 56 studenti (67,5%) hanno indicato una delle tre risposte con l'accelerazione verso l'alto e tra queste la risposta che indicava sulla moneta un'accelerazione verso l'alto ed in diminuzione è stata scelta da 40 studenti (pari al 48,2% del totale). La risposta che indicava l'accelerazione nulla è stata scelta da 4 studenti (4,8%) e delle due risposte che vedevano l'accelerazione verso il basso, 2 studenti (2,4%) hanno scelto la risposta che prevede l'accelerazione in diminuzione e 12 (14,5%) quella che prevede l'accelerazione in aumento (Grafico 7).

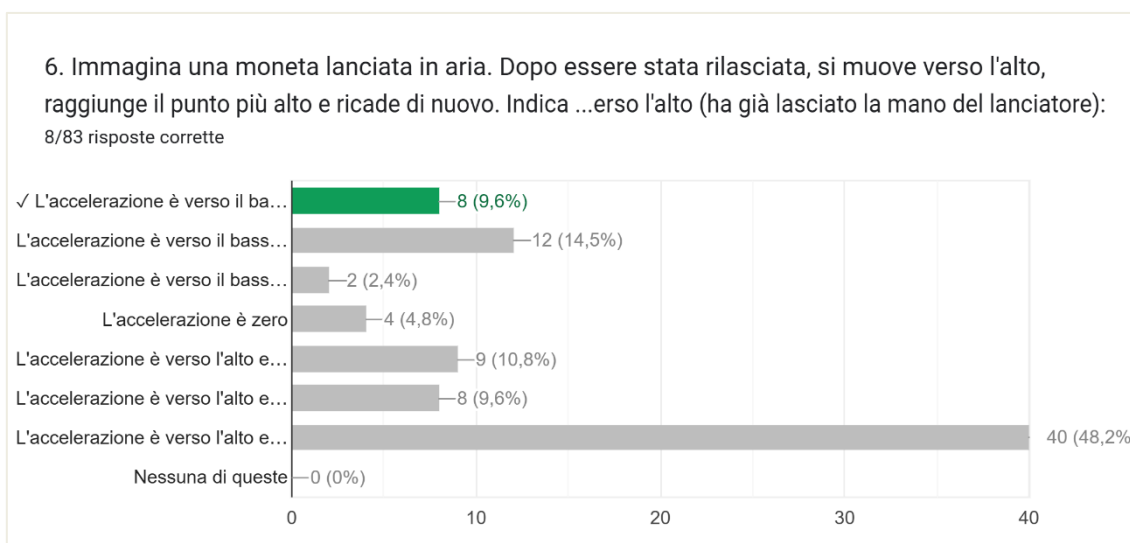


Grafico 7 – Risposte alla sesta domanda del questionario di cinematica.

In maniera analoga nella seconda domanda, relativa alla moneta al culmine della traiettoria, la risposta più scelta è quella che indica l'accelerazione pari a zero, scelta da 32 allievi (38,6%) e coerente con la confusione indicata in precedenza. In questo quesito c'è stata una seconda risposta molto scelta (23 studenti, 27,7%), che prevede l'accelerazione verso il basso che sta aumentando (Grafico 8).

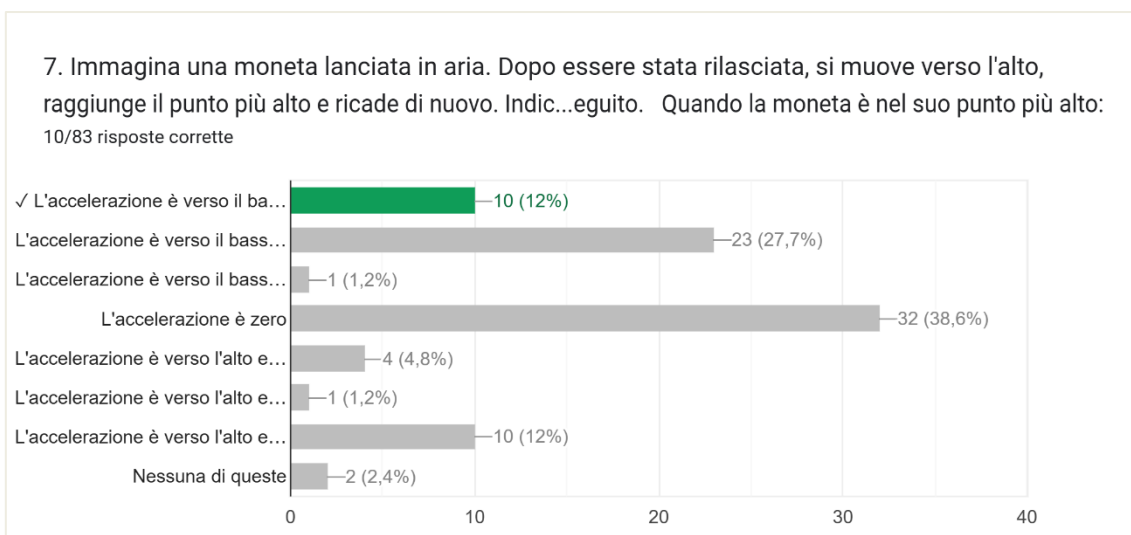


Grafico 8 - Risposte alla settima domanda del questionario di cinematica.

Anche in questo caso l'errore concettuale quasi sicuramente deriva dalla confusione tra accelerazione e velocità, poiché al culmine della traiettoria la velocità della moneta è zero ma nell'istante immediatamente successivo la velocità sarà verso il basso con modulo in aumento. Una giustificazione concettuale simile potrebbe avere causato le 10 risposte (12,0%) che prevedono l'accelerazione verso l'alto ma in diminuzione. Gli altri 8 studenti hanno equamente diviso le risposte tra le altre possibilità con percentuali marginali. Nella terza domanda la confusione si vede ancora più chiaramente perché le risposte che indicano l'accelerazione verso il basso con modulo in aumento sono state 59 (che corrispondono al 71,1% del totale) e dei 24 studenti che hanno dato un'altra risposta, 10 hanno risposto correttamente e gli altri 14 hanno dato altre risposte in modo equamente distribuito (Grafico 9).

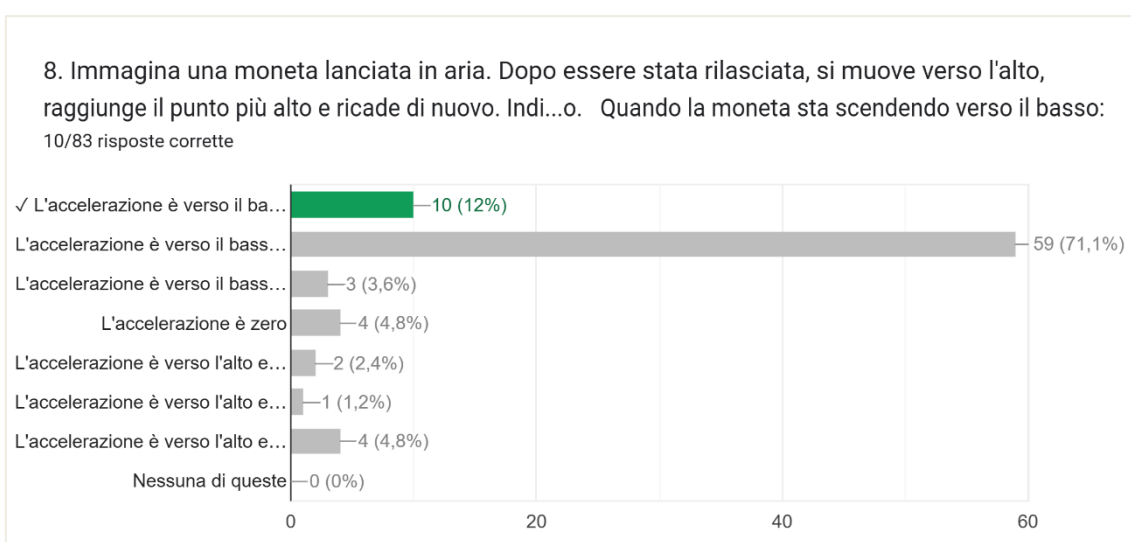


Grafico 9 - Risposte all'ottava domanda del questionario di cinematica.

La spiegazione del moto della moneta, richiesta dopo queste tre domande riprende in maniera convinta le misconcezioni indicate, gli studenti infatti scrivono che: “quando viene lanciata verso l'alto l'accelerazione è verso l'alto e quando arriva al suo punto massimo la moneta sta ferma per pochissimo tempo e la l'accelerazione vale zero poi la forza di gravità porta giù la moneta quindi la velocità è verso il basso perché la moneta torna indietro”, “quando viene lanciata verso l'alto l'accelerazione è verso l'alto, appena termina l'accelerazione la moneta comincia a scendere quindi la sua accelerazione aumenta di nuovo ma nel senso opposto a quello precedente”, “la moneta appena viene lanciata prende velocità e quindi l'accelerazione si concentra verso l'alto, appena arriva al punto più alto la sua accelerazione è come se non ci fosse e quando cade a terra l'accelerazione aumenta notevolmente verso il basso”. Un secondo aspetto che conferma la confusione concettuale relativa alla mancata distinzione tra velocità ed accelerazione è quello linguistico. Infatti, sebbene nella domanda fosse specificato di considerare l'accelerazione, gli studenti hanno risposto parlando di velocità; “quando lanci la moneta in alto, la velocità della moneta diminuisce a causa della gravità opposta, ma quando la moneta cade, la velocità aumenta a causa della forza di gravità”, “quando va verso l'alto la velocità diminuisce invece quando va verso il basso la velocità aumenta”. In altri casi vengono usati come se fossero sinonimi: “la moneta quando viene lanciata in aria ha una certa accelerazione e man mano che sale diminuisce, quando raggiunge il suo punto più alto arriva a 0 e scende aumentando la sua velocità”. Anche in questo caso sono presenti residui della teoria dell'impetus, che aggiungono confusione fra forza, accelerazione e velocità: “quando io lancio una moneta in aria è sottoposta ad una forza della mia mano che la porta verso l'alto, finita la forza che avevamo dato alla moneta, essa ritornerà giù con una velocità che aumenterà in base a quanto lontano ho lanciato la moneta”, “quando viene lanciata c'è una forza che spinge la moneta in aria, man mano diminuisce”. Altre risposte hanno sottolineato la correlazione tra il peso della moneta e la sua accelerazione, come “la moneta è talmente leggera da non avere accelerazione” e compare la misconcezione che prevede che l'accelerazione di gravità abbia effetto solamente sui corpi che stanno cadendo verso il basso e che sia ininfluente durante la fase di salita: “quando la moneta viene lanciata ha la forza di accelerazione verso l'alto data dalla spinta della mano mentre quando scende ha l'accelerazione verso il basso data dalla forza di gravità”.

3.5.2 Termologia

Il test sulla termologia era composto da 8 domande a risposta chiusa e 5 a risposta aperta, due delle quali servivano ad esprimere la spiegazione di una risposta precedente, mentre nelle altre 3 gli studenti avrebbero dovuto spiegare un concetto o un fenomeno. I risultati sono stati leggermente superiori a quelli di cinematica, con una media di 2,06 risposte corrette su 8 tra gli 80 allievi che lo hanno affrontato. La distribuzione dei punteggi in questo caso riporta 10 allievi (12,5%) che non hanno dato alcuna risposta corretta, 22 allievi (27,5%) che hanno risposto correttamente ad una domanda, 18 e 19 allievi (rispettivamente 22,5% e 23,8%) che hanno risposto a due o tre domande, 7 allievi (8,8%) che hanno dato quattro risposte corrette, 3 allievi (3,8%) ne hanno date cinque ed uno solo (1,3%) ha risposto correttamente a sette domande (Grafico 10).

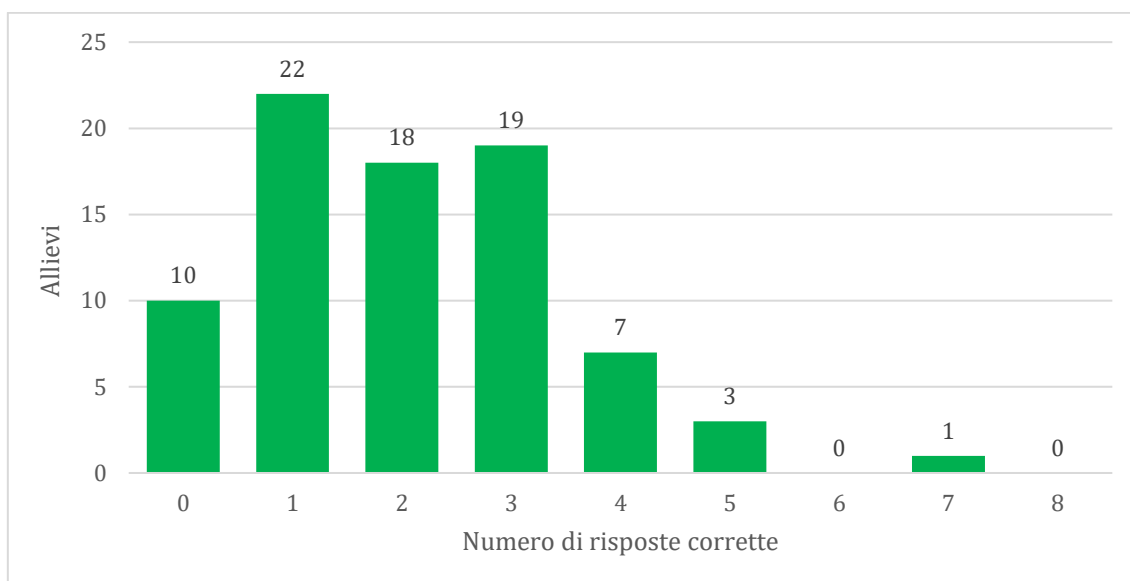


Grafico 10 - Istogramma della distribuzione di risposte corrette ai questionari di termologia.

Analizzando le statistiche di ogni domanda, il miglior risultato è stato ottenuto dagli studenti nella domanda 4, con 45 risposte corrette (56,3%) mentre il peggiore è stato registrato nella domanda 9 con sole 6 risposte corrette (7,5%); le altre domande hanno percentuali di risposte corrette che vanno dall'11,3% (domanda 7, 9 risposte corrette) al 37,5% (domanda 5, 30 risposte corrette).

Le prime tre domande del test riguardavano la comprensione di concetti scientifici fondamentali, pertanto era richiesto di fornire una definizione di "calore" e "temperatura", nonché di spiegare il meccanismo di funzionamento di un termometro a dilatazione. Per quanto riguarda la definizione di "calore" è interessante notare che 40 studenti su 80 hanno utilizzato nel testo scritto, la parola "energia", ed in 22 casi hanno accennato ad una trasmissione di qualcosa, che è energia, temperatura o altro non meglio specificato.

Analizzando le definizioni di calore fornite dagli studenti, emerge un tema ricorrente: 41 risposte identificano il calore come "un tipo di energia", "una fonte di energia" o una fonte termica" talvolta arricchendo questa definizione specificando che tale energia "si trova all'interno dei corpi", "viene trasferita" e "causa il riscaldamento". Un secondo tema molto citato indica il calore come una sensazione percepita, in 14 casi infatti gli studenti hanno scritto definizioni di calore come: "il calore è quando senti che sei caldo", "Per me è una sensazione che si può avere con temperature alte e puoi verificarla col sudore" o "è una cosa che non si può toccare ma sentire". Gli allievi che hanno scritto che "il calore è una temperatura" o frasi molto simili, seguendo una delle misconcezioni più comuni, sono stati 8, invece in 3 casi hanno accennato alle molecole, scrivendo che: "il calore è l'energia creata dal muoversi delle molecole", "Il calore è il movimento di particelle che creano calore" e "Sono delle particelle inodore che salgono verso l'alto". In tutti gli altri casi è visibile la confusione degli studenti che affermano che il calore sia: un elemento (in 3 casi), "un'aria calda", "una sostanza calda" o "una forza di energia".

Analizzando invece le risposte relative alla definizione di temperatura, è possibile notare che sono raggruppabili in meno categorie poiché si tratta di definizioni più simili tra loro ed anche in questi casi sono ben visibili le misconcezioni più comuni: 51 studenti esprimono in vari modi che la temperatura è la misura del calore di un oggetto (alcune risposte tipiche sono state "La temperatura è la misura del calore" o "La temperatura è una grandezza che misura quanto calore c'è") e 8 di essi legano la temperatura non solo alla misura del calore ma anche ad indicazioni meteorologiche, come "La temperatura è un agente atmosferico" o "la temperatura è il livello di calore che c'è nell'atmosfera". Una seconda categoria di risposte identifica la temperatura con il calore o con l'energia, con frasi come "La temperatura è un'energia che si sposta nei diversi oggetti o corpi" e una terza categoria sono le risposte secondo le quali esisterebbero due diverse quantità o sostanze, il "caldo" e il "freddo", che verrà ripresa nel commento relativo alla domanda 8, come: "La temperatura è il caldo e il freddo", o "la temperatura è una variazione del calore o del freddo". In 2 casi gli studenti ritengono che la temperatura sia qualcosa di biologicamente connesso con la vita in quanto scrivono, ad esempio, che "La temperatura è dentro ogni corpo vivente". Ci sono state infine 6 risposte che possono essere giudicate corrette, sebbene non facciano riferimento alla definizione cinetica di temperatura: esse indicano la temperatura come la "misura dello stato termico di un corpo" o la "capacità di scambiare calore".

La terza domanda chiedeva agli studenti di descrivere il funzionamento del termometro a dilatazione di mercurio a cui era allegata una foto per fare in modo che identificassero bene l'oggetto di cui dovevano scrivere. Preferiscono non rispondere 10 studenti, che scrivono espressamente "non lo so" o frasi analoghe, mentre 13 studenti descrivono

correttamente come con il calore il mercurio si dilata per misurare la temperatura. Altri 23 studenti scrivono che il mercurio “sale” o “si alza” con la temperatura senza menzionare il concetto di dilatazione e ulteriori 29 ne illustrano l'utilizzo e la funzione con descrizioni pratiche, senza approfondire il meccanismo fisico sottostante, utilizzando frasi come “lo metti sotto l'ascella e aspetti che grazie al calore percepisca la tua temperatura corporea” o “il termometro misura la temperatura corporea”. Alcuni studenti hanno elaborato spiegazioni errate, come chi ha attribuito il movimento del mercurio a un aumento di pressione, chi ha parlato della deformazione di una lamina (forse ricordando il funzionamento del magnetotermico, un componente elettrico) e chi di eccitazione del mercurio (un concetto che non sarebbe stato errato se lo studente avesse spiegato il fenomeno in modo articolato). Un caso particolarmente singolare è quello dello studente che non era consapevole che il mercurio nel termometro fosse liquido, descrivendo il movimento della “stanghetta di mercurio che si alza quando la temperatura esterna del corpo è calda”.

La quarta domanda, che chiedeva quale fosse la temperatura più probabile alla quale trovare dei cubetti di ghiaccio dentro un freezer, è quella che ha ottenuto il maggior numero di risposte corrette. 45 studenti (56,3%) hanno correttamente risposto “-10° C”, 22 (27,5%) hanno risposto “0° C” e 3 (3,8%) hanno risposto “5° C”. I rimanenti 10 allievi (12,5%) hanno risposto che dipendeva dalle dimensioni del ghiaccio (Grafico 11).

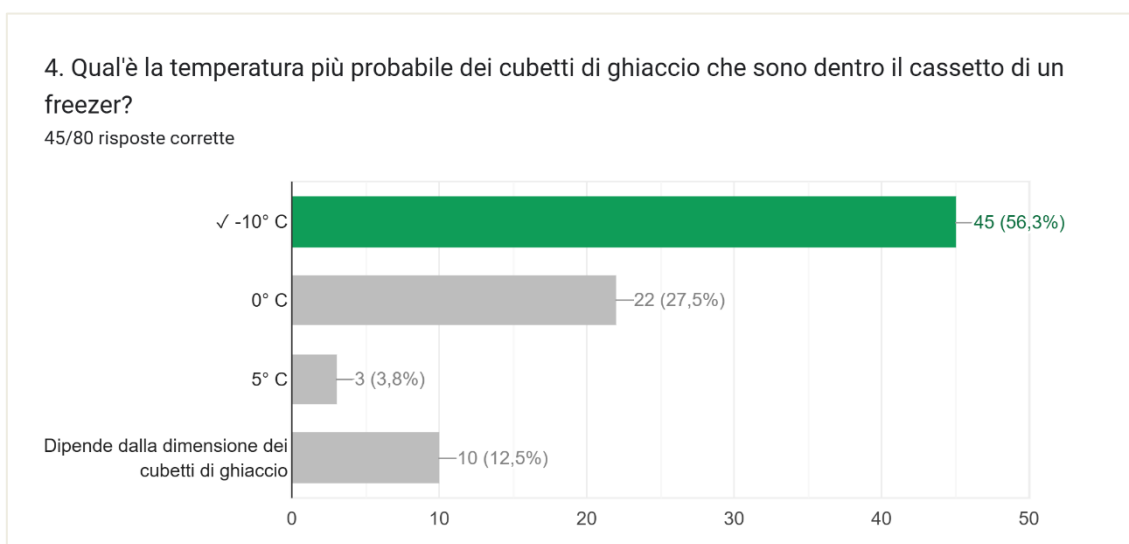


Grafico 11 – Risposte alla quarta domanda del questionario di termologia.

Queste risposte indicano che più della metà degli studenti ritiene correttamente che per poter solidificare dell'acqua sia necessaria una temperatura minore di 0° C, coerentemente con la prima risposta, ma indicano anche che quasi il 30% del campione ritiene che il ghiaccio debba necessariamente trovarsi a 0° C. Questa concezione è stata espressa verbalmente a fine test da più di un allievo che, confrontandosi con i compagni

sulle domande, non riteneva possibile che il ghiaccio potesse trovarsi ad una temperatura inferiore. Un caso emblematico è quello di un allievo che aveva terminato da poco il suo periodo di alternanza in un'azienda di frigoristi, pertanto pur essendo a conoscenza delle temperature impostate nei freezer ha giustificato la sua risposta dicendo che il testo richiedeva la temperatura del ghiaccio, non quella del freezer, lasciando intendere che all'interno di un freezer a -18°C possano trovarsi oggetti a temperature differenti. La misconcezione che lega la temperatura di un oggetto e la sua massa, o il suo volume, tornerà in altre risposte degli studenti e nella maggior parte dei casi è collegata alla concezione del calore (o del freddo) come una sostanza contenuta in un corpo, quindi ad un volume maggiore ne corrisponde una quantità maggiore.

Le tre domande successive riguardano i passaggi di stato ed il calore latente, sia la fusione (nella domanda 5) che l'evaporazione (domanda 6 e 7). Nella domanda 5 veniva chiesto a quale temperatura si avvicina di più l'acqua in un bicchiere a cui sono stati aggiunti molti cubetti di ghiaccio che si sono quasi completamente sciolti. Le precisazioni sulle quantità da considerare e sul tempo trascorso erano cruciali per chiarire che non ci sarebbe stata abbastanza acqua per sciogliere tutto il ghiaccio mantenendo una temperatura sopra gli 0°C e che il sistema sia in una fase in cui il ghiaccio stava fondendo ma non era ancora completamente sciolto. La risposta corretta, cioè 0°C , è stata data da 30 studenti (37,5%), ed è stata una delle risposte più scelte insieme a quella che indicava 5°C come temperatura finale, scelta da 35 studenti (43,8%). Questa risposta suggerisce una confusione comune degli studenti, secondo la quale per mantenere il processo di fusione del ghiaccio, la temperatura dell'acqua debba necessariamente essere superiore a 0°C . I rimanenti 15 studenti si sono equamente divisi nelle altre due risposte possibili, in 7 (8,8%) hanno risposto -10°C ed in 8 (10,0%) hanno risposto 10°C (Grafico 12).

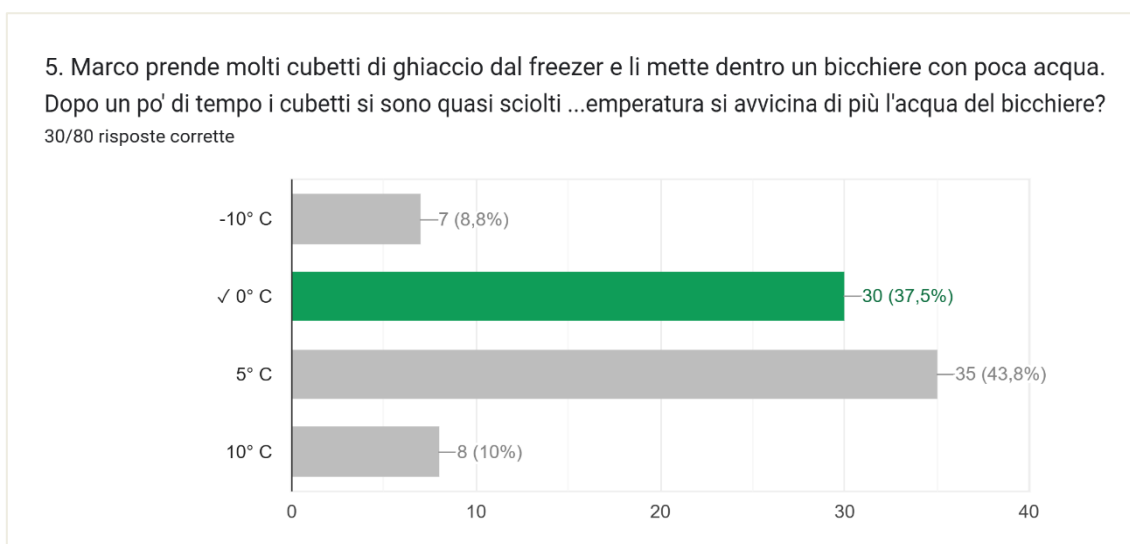


Grafico 12 - Risposte alla quinta domanda del questionario di termologia.

Gli studenti che hanno risposto 10° C potrebbero aver calcolato una sorta di temperatura di equilibrio fra l'acqua a temperatura ambiente ed il ghiaccio, mentre quelli che hanno risposto -10° C potrebbero non aver interpretato correttamente il fatto che il ghiaccio era quasi completamente sciolto, ritenendo che molti cubetti di ghiaccio potessero abbassare di molto la temperatura.

Le domande 6 e 7 rappresentavano una situazione analoga: ipotizzando di porre sul fornello di una cucina una pentola con dell'acqua che inizia a bollire, nella domanda 6 si chiedeva a che temperatura potrebbe trovarsi l'acqua in questa configurazione mentre nella domanda 7 si poneva lo stesso quesito specificando però che erano trascorsi 5 minuti e l'acqua stava ancora bollendo.

Nelle risposte alla domanda 6, la risposta corretta di 98° C ha prevalso sulle altre pur non essendo scelta dalla maggioranza degli studenti coinvolti (28 risposte, 35,0%). Le altre due risposte, ovvero 88° C e 110° C, sono state scelte entrambe da 20 studenti (25,0%), mentre i rimanenti 13 studenti (15,0%) hanno risposto che nessuna delle risposte precedenti era corretta (Grafico 13).

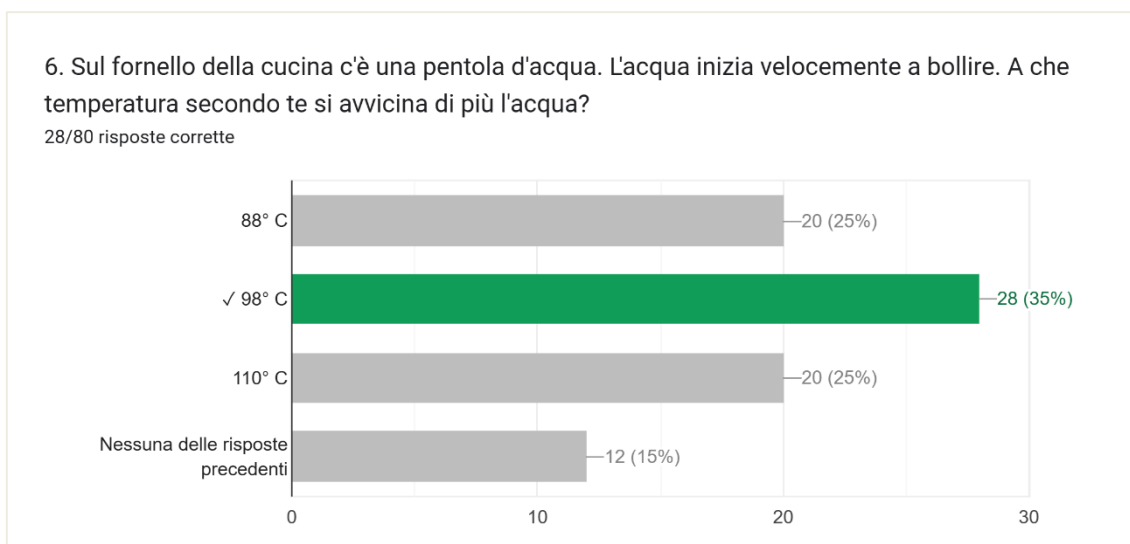


Grafico 13 – Risposte alla sesta domanda del questionario di termologia.

È interessante il caso di uno studente che, durante lo svolgimento del test ha chiesto come mai non fosse presente una risposta che indicava 100° C, secondo lui la risposta corretta, e che in mancanza di quel valore ha ritenuto necessario scegliere “nessuna delle risposte precedenti”.

La distribuzione delle risposte della domanda 7 è stata decisamente diversa dalla precedente, infatti in questo caso la risposta giusta, 98° C, è stata una delle risposte meno scelte (9 risposte 11,3%), con la maggioranza degli studenti che ha optato per una temperatura più alta, 39 di essi (48,8%) ha scelto 110° C, invece 26 (32,5%) ha ritenuto che 120° C fosse la risposta corretta. Queste alte percentuali (se consideriamo entrambe

le risposte conteggiamo 65 allievi per l'81,3%) sembrerebbero confermare la mancata comprensione del processo di ebollizione e del ruolo del calore latente, per cui gli studenti sarebbero portati a pensare che più tempo l'acqua sia sul fuoco più essa si scaldi, sebbene si trovi in ebollizione. Una minoranza di studenti ha invece risposto 88° C (6 studenti, 7,5%), forse a causa della non conoscenza della temperatura teorica di ebollizione dell'acqua (Grafico 14).

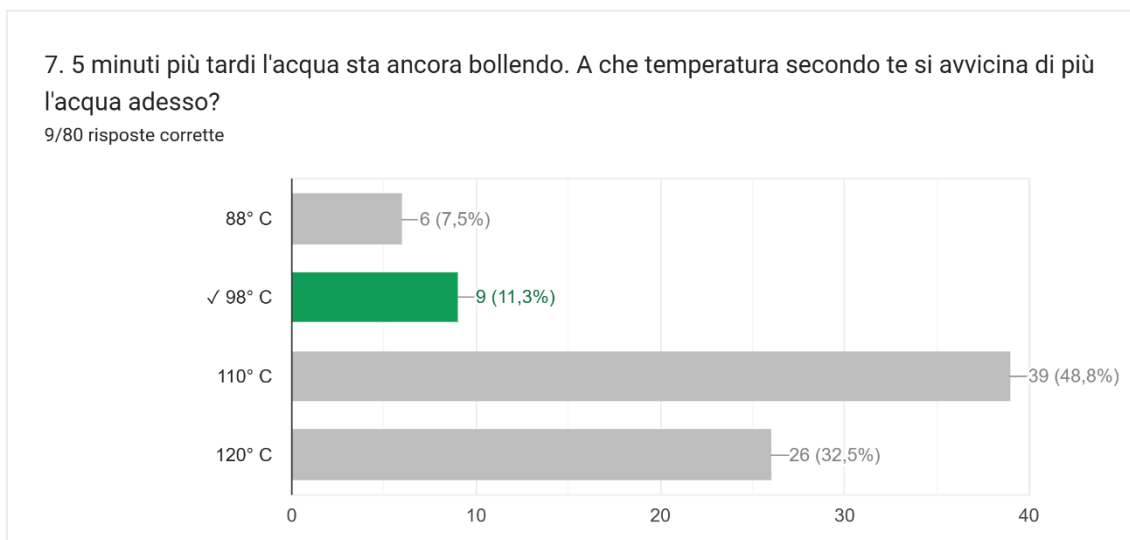


Grafico 14 – Risposte alla settima domanda del questionario di termologia.

Uno studente giustifica la sua risposta alla domanda precedente in questo modo: “nella 6 ho risposto 98 gradi perché l'acqua bolle a 100 gradi, ma se aveva appena iniziato a bollire non poteva già essere a 110 gradi ma nemmeno ad 88”, confermando che la temperatura di ebollizione dell'acqua è spesso interpretata come una costante indipendente dalle condizioni esterne che potrebbero variarne il valore, e che non avrebbe potuto essere a 110° C perché aveva iniziato a bollire da poco, sottintendendo che se fosse rimasta per più tempo sul fuoco avrebbe avuto una temperatura maggiore (lo stesso studente alla domanda 7 ha infatti risposto 110° C).

La domanda 8 chiedeva quale delle frasi proposte spiegasse meglio il processo di raffreddamento di alcune uova cucinate in acqua bollente e poi messe in una ciotola di acqua fredda. Le possibili risposte, con le relative percentuali di studenti che le hanno scelte erano: “A) La temperatura si è trasferita dalle uova all'acqua”, scelta da 16 studenti (20,0%); “B) Il freddo si è trasferito dall'acqua alle uova”, scelta da 23 studenti (28,8%); “C) Gli oggetti caldi tendono naturalmente a raffreddarsi”, scelta da 30 studenti (37,5%) e “D) Dell'energia si è trasferita dalle uova all'acqua”, la risposta corretta, scelta da 11 studenti (13,8%) (Grafico 15).

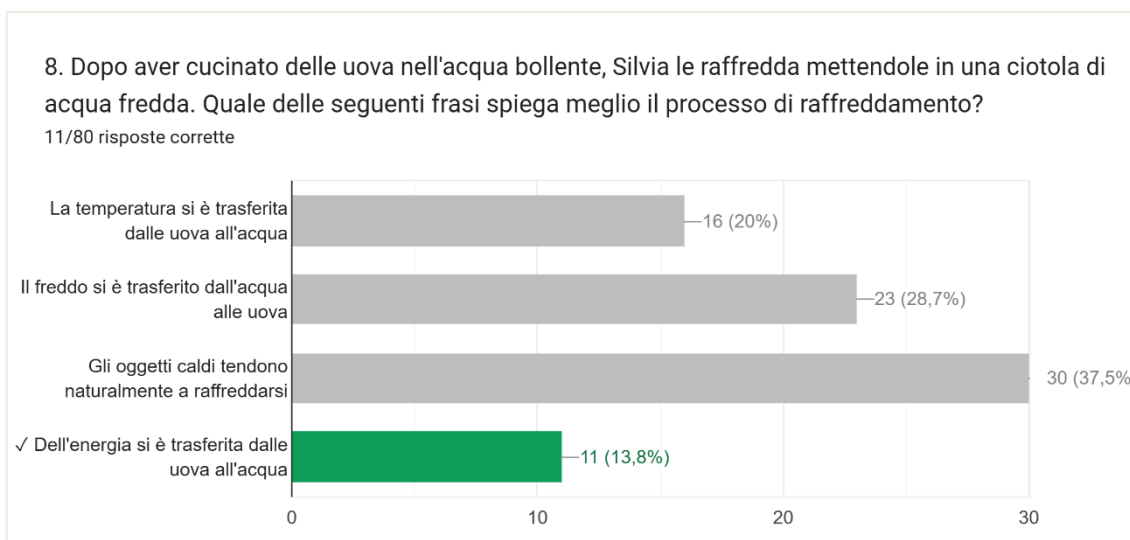


Grafico 15 – Risposte all'ottava domanda del questionario di termologia.

È interessante come, nonostante nella domanda iniziale 40 studenti avessero menzionato il concetto di energia nella definizione di calore, in questa domanda non abbiano scelto l'unica risposta che la nominava. Le possibili risposte errate di questa domanda facevano riferimento ad altrettante misconcezioni piuttosto diffuse: la risposta A evidenziava una mancata comprensione del concetto di temperatura, interpretata come una quantità posseduta da un corpo che si può trasferire ad un secondo corpo; la risposta B rifletteva la nota interpretazione errata menzionata in precedenza, secondo cui esisterebbero il "caldo" ed il "freddo" come sostanze in grado di passare da un oggetto ad un altro, per cui se un oggetto si riscalda è stato trasferito il calore e se si raffredda è stato trasferito il "frigore"; la risposta C riprendeva una concezione tipicamente aristotelica secondo cui gli oggetti tenderebbero a raggiungere una condizione di "naturale equilibrio", rifuggendo da condizioni di instabilità come, ad esempio, l'essere caldi.

La domanda 9 e 10 avevano come tema dominante la percezione sensoriale di materiali diversi alla stessa temperatura, con il quesito che riguardava nel primo caso la differenza tra plastica e metallo e il secondo la differenza tra legno e ghiaccio. La domanda 9 chiedeva di rispondere ad una persona, Andrea, che affermava che all'interno della classe preferiva sedersi sulle sedie di plastica piuttosto che su quelle di metallo perché queste ultime erano più fredde, e delle possibili risposte, due erano in accordo con lui e due in disaccordo. Sommando le risposte simili, gli studenti che ritengono che le sedie di metallo sono effettivamente più fredde di quelle di plastica sono 49 (61,3%), quelli che le considerano alla stessa temperatura 10 (12,5%) e c'è un alto numero di studenti che non saprebbe dare una risposta (21 studenti, 26,3%). L'alta percentuale di alunni che ritiene che effettivamente due oggetti possano mantenersi a temperature diverse

all'interno della stessa stanza è già un dato interessante, che conferma l'importanza di affrontare nei corsi di fisica i meccanismi biologici che permettono di acquisire informazioni sull'ambiente esterno tramite i sensi, in questo caso il tatto. Separando le due risposte che affermano la temperatura maggiore del metallo, vediamo che 27 studenti (33,8%) ritengono che il motivo sia che il metallo è in maniera naturale più freddo della plastica e gli altri 22 studenti (27,5%) credono che il metallo abbia meno calore da perdere della plastica (Grafico 16).

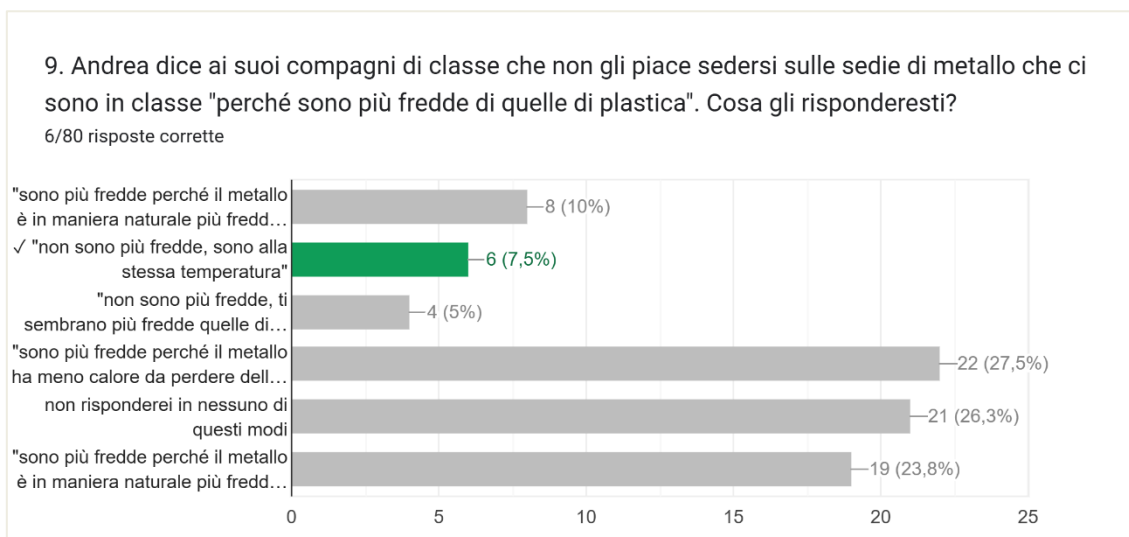


Grafico 16 – Risposte alla nona domanda del questionario di termologia.

La prima di queste due risposte riprende il concetto di "stato naturale" di un corpo, affermando che il metallo per sua natura sia più freddo e che la sensazione che si prova toccandolo è semplicemente una conferma di questo, la seconda invece suggerisce una errata percezione del meccanismo del raffreddamento del metallo unita alla consueta misconcezione del calore contenuto all'interno dei corpi, suggerendo che questo materiale si raffredderebbe più velocemente perché contenga meno calore da poter perdere e quindi sia effettivamente ad una temperatura inferiore alla plastica. Tra gli studenti che invece ritengono che metallo e plastica si trovino alla stessa temperatura possiamo distinguere le due risposte: 6 studenti (7,5%) hanno dato la risposta corretta "non sono più fredde, sono alla stessa temperatura" mentre 4 studenti (5,0%) hanno risposto che quelle di metallo sembrano più fredde perché sono più pesanti, facendo riferimento ad un'altra misconcezione che lega la temperatura di un corpo alla sua massa (anche se si tratta di 4 risposte provenienti dalla stessa classe e non è escluso che si siano influenzati a vicenda). Molti invece gli studenti che non sono in grado di dare una spiegazione e che nella domanda successiva, che chiedeva di motivare la risposta selezionata, hanno espresso in diversi modi che non saprebbero cosa rispondere. Curioso un caso in cui uno studente ha scritto che non avrebbe risposto in nessuno dei

quattro modi “perché non c'è la risposta corretta”, senza però scrivere quale fosse secondo lui. Le altre risposte scritte, oltre a qualcuna sostanzialmente corretta come “hanno la stessa temperatura perché tutte si trovano alla temperatura della classe quindi non dipende dal materiale delle sedie” oppure “sono entrambe alla stessa temperatura, non esiste quella più fredda, solo che a primo impatto il metallo sembra più freddo”, si possono suddividere in base ai pensieri che le accomunano: ci sono alcune risposte che riprendono la tendenza naturale dei materiali attribuendo differenze a materiali naturali ed artificiali: “Perché essendo il metallo una cosa naturale ha tendenza di essere più fredda rispetto alla plastica che è stata fabbricata”; altri riprendono l'idea di calore contenuto dentro i corpi, come: “Di solito il metallo contiene più calore rispetto ad altri materiali” (anche se secondo questo ragionamento dovrebbe essere più caldo) oppure “È freddo perché il metallo è un materiale che non riesce bene a incassare calore”. Altre misconcezioni legate al materiale di cui sono costruiti gli oggetti sono, per esempio, quella che ritiene che esistano materiali in grado di mantenere calore ed altri in grado di mantenere il freddo, come testimoniato da: “la plastica trattiene il calore mentre il metallo lo disperde” oppure “perché il metallo trattiene il freddo mentre la plastica il calore”. È interessante notare che la percezione comune degli studenti sia che all'interno della stanza non ci sia calore per cui gli oggetti al suo interno tendono a raffreddarsi in base al materiale di cui sono composti: “il metallo a differenza della plastica perde calore e si raffredda invece la plastica è un materiale che si adatta a dove sta”, oppure “Perché il metallo assorbe il calore e se non c'è calore si raffredda” o “Perché il metallo è più influenzato dal calore”. Molte sono state le risposte che fanno riferimento al metallo come materiale conduttore o con capacità di “assorbire”, “trasmettere” il calore ma piuttosto incoerenti nella spiegazione, come “io risponderei perché la plastica è un isolante invece il metallo un conduttore e quindi di conseguenza trattiene molto meglio il freddo” oppure “il metallo a differenza della plastica è un conduttore quindi riesce a raccogliere una maggior quantità di temperatura rispetto alla plastica. Questa temperatura però può essere sia estremamente fredda che eccessivamente calda”. Ci sono state, inoltre, risposte che fanno riferimento ad altre grandezze fisiche o caratteristiche, come il peso “Perché il metallo pesa di più di quelle di plastica”, la rigidità “Perché il metallo è più solido della plastica”, la densità “Perché il metallo ha una maggiore densità e quindi non trattiene calore così facendo le sedie di metallo tendono a raffreddarsi di più” e lo spessore “Perché se il metallo perde il calore è più difficile da riscaldare essendo che è più spesso, la plastica si riscalda più velocemente perché è più sottile”. Inoltre ci sono state alcune risposte grossolanamente errate, per esempio “Perché il ferro ghiaccia ma la plastica no” oppure “Il metallo è un materiale che isola il calore”.

È invece interessante come i risultati della domanda successiva differiscano da quelli appena presentati: la domanda numero 10 riguardava, in modo analogo alla numero 9, la differenza di temperatura percepita toccando un ghiacciolo, appena estratto dal freezer, sulla parte di ghiaccio o sul bastoncino di legno. Le risposte corrette, che affermano che il legno ed il ghiaccio si trovano alla stessa temperatura sono 15 (18,8%), molte di più delle 6 della domanda relativa alla differenza di temperatura tra plastica e metallo, considerando anche che solo 2 allievi che hanno risposto correttamente alla 10 avevano dato la risposta corretta alla 9. Questo dimostra nuovamente il ragionamento contestuale degli studenti e la questione ha suscitato tale interesse da richiedere agli studenti che avevano risposto ad una sola delle due domande correttamente di giustificare verbalmente le due risposte, evidenziando le differenze tra le due situazioni considerate. Sono emerse due differenze principali: la prima riguarda le dimensioni del contenitore (il freezer rispetto alla classe) e degli oggetti considerati, poiché gli studenti trovano più semplice ragionare con oggetti di dimensioni ridotte; la seconda è relativa alla temperatura che in un congelatore ha le caratteristiche di essere scelta arbitrariamente e di essere molto diversa dalla temperatura ambiente. Quando è stato fatto notare che è possibile decidere anche la temperatura di una stanza utilizzando un termostato, gli studenti si sono trovati di fronte ad un dubbio: alcuni hanno affermato che se nel testo della domanda fosse stato esplicitato che la temperatura della stanza era stata impostata manualmente ad un valore arbitrario, avrebbero risposto che tutti gli oggetti all'interno si sarebbero trovati a tale temperatura; per gli altri le situazioni restavano diverse perché "se prendi tante cose dal freezer sono tutte fredde uguali, se invece tocchi le gambe o il legno della sedia li senti diversi".

Tra le risposte errate del decimo quesito ne spiccano due con percentuali molto simili che sono state le più scelte: una che affermava che ghiaccio e legno fossero effettivamente a temperature diverse perché "il legno non diventa freddo come il ghiaccio", scelta da 26 studenti (32,5%) e un'altra che affermava che "li senti solo a temperature diverse perché il legno contiene più calore", scelta da 29 studenti (36,3%). Si tratta di ragionamenti molto differenti, la prima risposta infatti afferma che legno e ghiaccio si trovano a temperature effettivamente diverse perché per una proprietà intrinseca del legno esso non sarebbe diventato freddo come il ghiaccio, mentre la seconda risposta afferma che la temperatura del ghiaccio e del legno è la stessa, ma la percezione è diversa perché il legno contiene più calore, fondendo la misconcezione del calore contenuto con il concetto di temperatura percepita. La risposta che manca all'analisi è quella che afferma che ghiaccio e legno si trovano a temperature diverse perché il ghiaccio "contiene più freddo del legno", scelta da 10 studenti (12,5%) e che potrebbe fornire una informazione utile riguardo al fatto che il concetto di "freddo

contenuto” non abbia la stessa diffusione del concetto di “calore contenuto”, suggerendo quindi che si tratti di una misconcezione meno diffusa. Va notato, tuttavia, che questa risposta differisce dalla precedente in quanto nega che acqua e ghiaccio siano alla stessa temperatura mentre quella precedente lo affermava (Grafico 17).

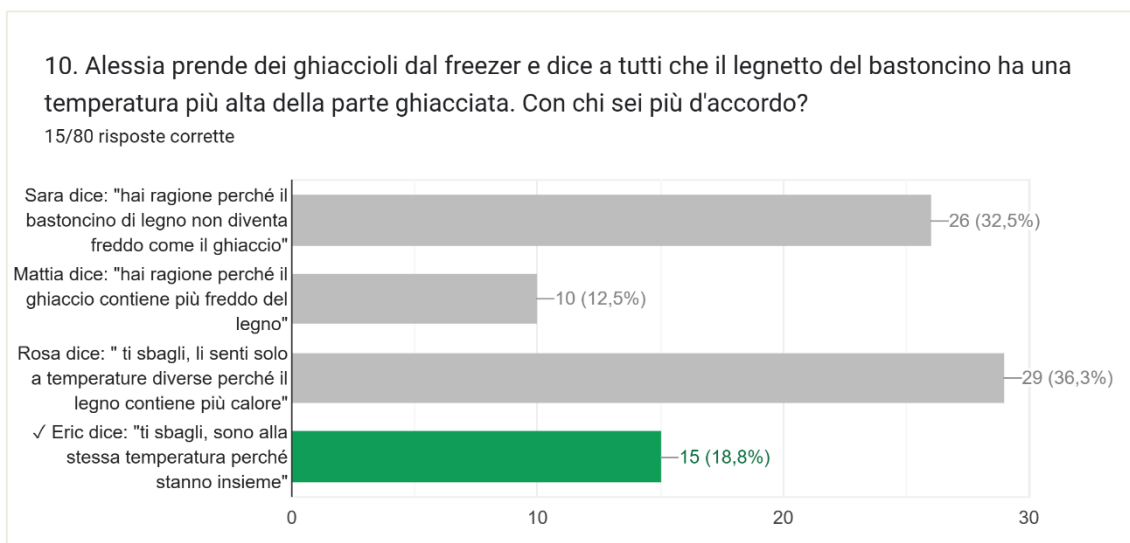


Grafico 17 – Risposte alla decima domanda del questionario di termologia.

L'ultima domanda del test proponeva un apparente paradosso agli studenti: come mai se si mettono sotto una coperta delle bambole, non si scaldano? La particolarità di questo quesito era che tra le cinque opzioni di risposta ci fossero quattro risposte errate ed una quinta che affermava “nessuna delle precedenti”, che sarebbe stata quindi quella corretta (scelta da 21 studenti, 26,3%). Per comprendere le motivazioni delle scelte degli studenti, è stata aggiunta una domanda aperta, volta a motivare la risposta data. Due risposte errate su quattro, scelte in totale da 47 studenti (58,8%), attribuivano il mancato riscaldamento alle bambole, mentre le altre due, scelte da 12 studenti (15,0%), lo attribuivano alle coperte. Questi dati preliminari suggeriscono una concezione diffusa tra gli studenti, secondo cui le coperte sarebbero composte di una sorta di materiale riscaldante che fornisce calore a chi ne è avvolto, portandoli così a considerare come fattore determinante nel mancato aumento di temperatura il materiale di cui sono fatte le bambole. Nel caso considerato, infatti, 33 studenti (41,3%) hanno risposto che le bambole erano composte di un materiale che non trattiene bene il calore e quindi non possano scaldarsi, come confermato dalle risposte scritte come: “le bambole sono fatte di un materiale che non accumula calore”, “Perché la bambola è fatta di un materiale che non si riscalda”, “perché la plastica è isolante e non si riscalda”. Qualcuno ha tentato anche di giustificare la scelta del materiale utilizzato dai costruttori di bambole: “le bambole potrebbero essere fatte di un materiale che non trattiene il calore per non fare che se una bambina la mette sul termosifone si possa rompere”, e qualcuno, pur

selezionando questa risposta scrive “perché le bambole erano state fabbricate con un materiale che assorbe bene il calore”, forse sottintendendo che il calore assorbito viene immagazzinato in qualche modo all’interno della bambola e non reso disponibile. La seconda ipotesi, scelta da 21 studenti (26,3%), era che le bambole si sarebbero scaldate, ma il materiale di cui sono composte avrebbe impiegato molto tempo per farlo, per questo motivo non sembra modifichino la loro temperatura. Anche in questo caso la coperta viene interpretata come un oggetto in grado di fornire calore e viene motivata con: “perché sono delle bambole di plastica ed è difficile che si riscaldino in poco tempo”, “Secondo me le bambole impiegano più tempo per riscaldarsi per il materiale della bambola o per colpa delle coperte che magari non scaldavano abbastanza” e “perché le bambole secondo me richiedono tanto tempo per riscaldarsi”.

Tra gli studenti che invece attribuiscono la causa del mancato riscaldamento alla coperta, c’è chi ritiene che la coperta non sia un buon isolante (8 risposte, 10,0%) e chi non ritiene sia un buon conduttore (4 risposte, 5,0%). Riguardo gli 8 che hanno risposto che la coperta non è un buon isolante le risposte scritte riprendono lo stesso concetto, tranne in un caso in cui un allievo scrive che le coperte “hanno una massa molto più solida”, mentre i 4 che hanno risposto che la coperta non è un buon conduttore non hanno fornito alcuna risposta esplicativa (Grafico 18).

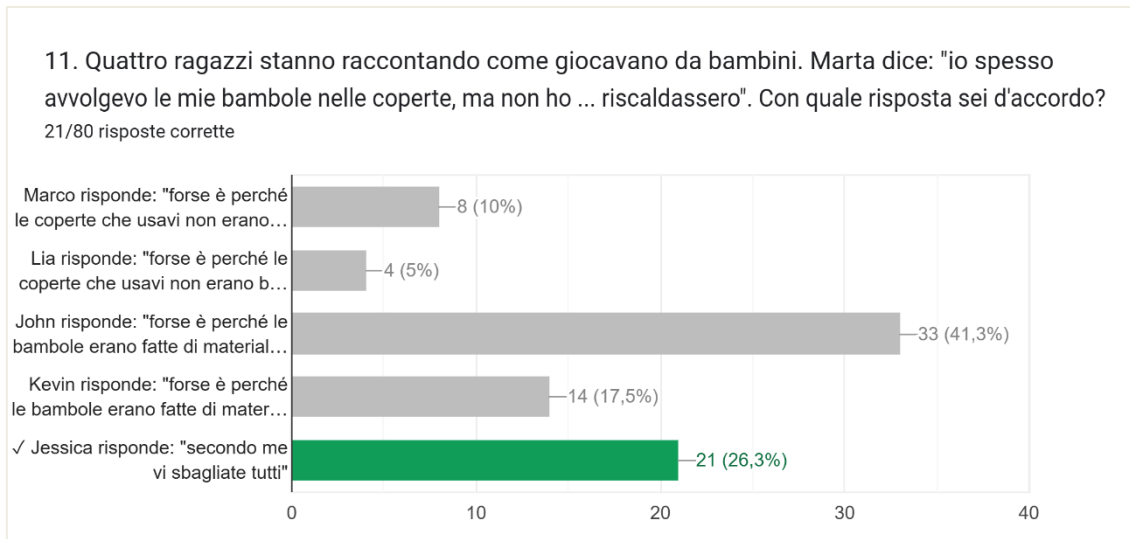


Grafico 18 – Risposte all’undicesima domanda del questionario di termologia.

4 - Resoconto delle lezioni

Dopo aver somministrato il test preliminare, la sperimentazione è proseguita con l'erogazione delle lezioni. Nei paragrafi seguenti verrà esposto un resoconto dettagliato dello svolgimento delle lezioni, iniziando dalla lezione frontale (4.1) per poi proseguire con la lezione laboratoriale (4.2) e terminare con la challenge-based (4.3).

4.1 Lezione frontale

La lezione frontale, la modalità didattica più familiare sia agli studenti che agli insegnanti, ha presentato meno criticità ed imprevisti nella sua attuazione. Nei centri di formazione professionale questo tipo di lezione richiede un approccio fortemente pratico: data la limitata capacità di attenzione degli studenti (10-15 minuti per la parte teorica), è stato necessario alternare la spiegazione con frequenti pause. Durante queste pause sono stati proposti uno o due esercizi su quanto appena spiegato, permettendo così agli studenti di recuperare l'attenzione con un'attività meno intensa senza perdere parti importanti della lezione. Ogni lezione ha avuto la durata di due ore, per non dover modificare l'orario scolastico delle classi coinvolte.

4.1.1 Cinematica in II triennale e al IV anno

Le lezioni sono iniziate con la differenziazione tra grandezze scalari e vettoriali, che non ha causato particolari perplessità ed è servita ad introdurre le grandezze spostamento, velocità e accelerazione. Inizialmente si è considerato un sistema di riferimento ad una sola dimensione, in modo che fosse più semplice avere a che fare con quantità negative, inoltre in questo modo si sono potuti fare molti paragoni relativi al moto di un'automobile, come ad esempio la differenza tra velocità media ed istantanea con la differenza fra il sistema del Tutor e dell'Autovelox per il rilevamento della velocità. Questo è stato particolarmente interessante con i ragazzi del IV anno (alla data in cui sono state fatte le lezioni, fine ottobre 2023, l'80% dei componenti della classe superava i 17,5 anni di età)

perché molti alunni in quella classe erano iscritti alla scuola guida per il conseguimento della patente. La prima difficoltà incontrata in classe è stata la comprensione del concetto di velocità negativa, problema piuttosto diffuso tra gli studenti poco inclini a considerare che un movimento in direzione contraria all'asse di riferimento implica un valore negativo della velocità.

Durante la seconda lezione si è scelto di introdurre lo studio dei grafici (partendo da quello posizione/tempo ed introducendo anche quello velocità/tempo) come strumento per avere una visualizzazione del movimento effettuato dall'automobile e successivamente la legge oraria del moto per dare una giustificazione anche matematica delle linee sul grafico. In questo modo la legge del moto non è percepita solo come una formula che funziona perché è scritta sui libri ma è costruita insieme sulla base del grafico che è stato tracciato in classe. Un secondo vantaggio è stato il collegamento naturale tra la velocità presente nella formula e la pendenza del segmento nel grafico posizione/tempo.

Nella lezione successiva sono state affrontate le accelerazioni, inizialmente con esempi pratici, sempre legati alle automobili, e con domande-stimolo che hanno portato gli studenti alla conclusione che all'accelerazione corrisponde un cambiamento della velocità. In seconda battuta la si è affrontata da un punto di vista grafico, confrontando i grafici del moto uniforme e del moto accelerato per far vedere le differenze ed introducendo il terzo tipo di grafici: quello relativo all'accelerazione in funzione del tempo. L'introduzione dell'accelerazione ha fatto emergere alcune difficoltà che forse precedentemente riuscivano ad essere gestite, è a questo punto della spiegazione che gli studenti hanno iniziato a fare confusione fra le diverse grandezze e fra i diversi grafici. Nello specifico molti di loro, senza distinzioni apprezzabili tra le due classi, hanno iniziato ad avere difficoltà nel distinguere velocità ed accelerazione nei calcoli ed in misura maggiore nei grafici, facendo esercizi in classe numericamente corretti, ma riferiti alla grandezza sbagliata (ad esempio, scrivevano che l'accelerazione risultava di 3 m/s). Inizialmente sembrava solo un errore di unità di misura, spesso confuse tra loro, ma chiedendo agli allievi è stato chiaro che nel risultato facevano riferimento ad una velocità pur utilizzando la formula relativa all'accelerazione. Sono aumentati anche gli errori di calcolo durante lo svolgimento degli esercizi, fenomeno probabilmente dovuto alla formula quadratica che ha reso le operazioni più complesse. Un discorso analogo lo si può fare sui grafici, l'introduzione di una terza variabile ha causato confusione anche sulle prime due che, evidentemente, non erano sufficientemente chiare. Questa confusione si è manifestata sia nel disegno dei tre grafici molto simili tra loro (un ragazzo durante gli esercizi ha affermato che i grafici per essere corretti avrebbero dovuto

necessariamente essere identici), sia nella maggiore precisione grafica richiesta per il disegno delle parabole rispetto alle rette.

La quarta e la quinta lezione sono state dedicate al moto di caduta libera, alla composizione di moti ed al moto del proiettile. Considerando che una delle misconcezioni più comuni relative alla caduta dei gravi è che gli oggetti più pesanti cadono più velocemente, è stato deciso di iniziare la lezione con una dimostrazione che creasse conflitto cognitivo utilizzando il ciclo POE²⁷. Sono stati portati in classe due tratti di tubo da elettricisti lunghi circa 10 cm, il primo è stato riempito di ghiaia e tappato con del nastro isolante, il secondo è stato lasciato vuoto. Sono stati fatti cadere, in posizione verticale in modo da minimizzare l'attrito con l'aria, da un'altezza di circa 2,5 metri. Circa metà degli studenti (10 su 16 in II triennale e 6 su 13 nel IV anno) ha risposto che il tubo più pesante avrebbe toccato il pavimento prima di quello più leggero. Dopo aver svolto l'esperimento, considerato il fatto che i due tubi cadevano quasi nello stesso momento, agli allievi è stato chiesto di trovare una motivazione e durante la discussione in classe è stata introdotta la nozione di accelerazione di gravità. In questo modo, dopo aver cronometrato il tempo di caduta con uno smartphone, è stato possibile fornire una spiegazione anche formale del fenomeno. Tale spiegazione però non ha convinto tutti gli studenti della II triennale, alcuni di loro hanno sottolineato che, sebbene i due tubi cadessero "quasi" insieme, quello più pesante toccava il pavimento qualche istante prima dell'altro. Questa precisazione ha permesso di aprire una discussione sulla resistenza dell'aria che ha evidenziato la difficoltà degli studenti nel distinguere tra una situazione ideale ed una reale ma è stata proficua poiché ha toccato i concetti di aerodinamica, la forma degli aerei, delle macchine sportive, dei paracaduti e delle gocce d'acqua. Questo ha portato alla necessità di aumentare il numero delle lezioni in quella classe, rendendo necessario farne 6 e non 5 e portando a 12 le 10 ore che erano state programmate. Un ragazzo del IV anno ha invece chiesto la spiegazione della differenza tra il calcolo teorico del tempo di caduta ed il tempo effettivo, e questo ha permesso di effettuare una piccola digressione sugli errori di misura (che in un esperimento dimostrativo come quello fatto in classe sono rilevanti) e soprattutto sull'importanza della precisione nel lavoro tecnico, collegando l'argomento alla loro futura professione di progettisti di impianti elettrici; questa digressione non ha impattato significativamente sui tempi delle lezioni.

²⁷ Il ciclo POE, acronimo di Predict, Observe, Explain, è una metodologia didattica molto utilizzata nella didattica di laboratorio (verrà utilizzata anche in seguito), ma che, per semplici esperimenti dimostrativi, è efficace anche in aula. Per la spiegazione più in dettaglio, rimando al capitolo 2.3.2, in cui si affronta la lezione in laboratorio.

Ad entrambe le classi è stata successivamente fatta vedere una parte di un documentario della BBC trasmesso nel 2014, intitolato "Human Universe". Nella puntata 4, relativa allo spazio e al tempo, il professor Brian Cox (professore di fisica delle particelle all'Università di Manchester) visita la "Space Power Facility" al Centro Ricerche della Nasa in Ohio in cui è presente la camera a vuoto più grande del mondo, alta circa 37 metri. In questo spazio realizza l'esperimento di far cadere una palla da bowling ed alcune piume in totale assenza d'aria e fa vedere molto bene come, in queste condizioni, cadano esattamente allo stesso modo e tocchino il pavimento allo stesso istante (il filmato è presente su internet, il link è reperibile nella sitografia).

Dopo aver affrontato la caduta dei gravi, si è passati ad analizzare il moto uniforme in due dimensioni. C'è stata qualche difficoltà iniziale relativa alla composizione e scomposizione delle grandezze vettoriali perché gli studenti sono abituati a ragionare considerando solo la direzione del moto (e quindi con velocità ed accelerazioni che sono positive o negative se avvengono in direzione opposta), ma con l'introduzione di un opportuno sistema di riferimento e facendo loro notare che ogni vettore può essere scomposto come somma di vettori paralleli agli assi le difficoltà iniziali sono state superate. Un argomento che hanno trovato molto più complesso è stato il moto del proiettile, perché in quel caso si tratta della composizione di un moto uniforme con uno accelerato, che richiede maggiore capacità di astrazione. Un punto che ha creato notevole confusione è stato il seguente: in precedenza, durante la lezione sulla caduta libera, l'asse verticale è stato orientato verso il basso, per poter considerare positiva l'accelerazione g e di conseguenza la velocità finale del grave. Nella lezione successiva invece è stato necessario usare un piano cartesiano "standard" per cui l'accelerazione di gravità verso il basso aveva segno negativo, a posteriori sarebbe sicuramente stato meglio usare sempre lo stesso orientamento per non confondere gli studenti. Forse a causa di questa confusione, durante gli esercizi svolti insieme non è stato raro che gli studenti avessero difficoltà con la direzione ed il verso dell'accelerazione gravitazionale. Questa difficoltà è parsa subito evidente nei primi esercizi, con il proiettile sparato verticalmente verso l'alto, in cui sono comparse anche misconcezioni relative all'impetus. Una seconda serie di difficoltà sono comparse negli esercizi sulla gittata, in cui alcuni allievi non comprendevano il motivo per cui dovessero separare due moti distinti, poiché il proiettile seguiva una sola traiettoria.

Le principali difficoltà degli studenti si sono manifestate quando è stata richiesta una maggiore capacità di visualizzazione spaziale e di astrazione, aspetti che hanno rappresentato le sfide più significative nell'insegnamento della cinematica. In particolare, molti studenti hanno incontrato ostacoli ad immaginare e rappresentare mentalmente i movimenti, soprattutto nell'affrontare argomenti complessi come il moto in più dimensioni

e il moto del proiettile. Un'ulteriore criticità che riguarda la capacità di astrazione è emersa nell'interpretazione dei grafici e nel loro collegamento con la realtà fisica del movimento.

4.1.2 Termologia in I triennale e III triennale

La termologia è un argomento che ha incuriosito molto gli studenti, tanto da aver deciso, in sede di riunione del settore elettrico, di inserirlo tra gli argomenti di scienze anche per gli anni seguenti. Considerato che dalla mancata comprensione del concetto di calore e temperatura derivano buona parte delle misconcezioni relative alla termologia, è stato scelto di dedicare molto tempo a questa prima parte di programma, partendo dalla struttura molecolare della materia e dagli stati di aggregazione. Sin dalla prima lezione è stato possibile collegare la temperatura all'agitazione termica delle molecole, introducendo il Kelvin come unità di misura, spiegando che lo zero assoluto (0 K) rappresenta il limite teorico in cui l'agitazione termica si ridurrebbe al minimo, ma che, in quanto limite teorico, non è raggiungibile. Successivamente sono state presentate anche le scale Celsius e Fahrenheit. Complice il fatto che questi argomenti sono sicuramente già stati trattati alla scuola secondaria di primo grado, non ci sono state grosse difficoltà se non relative al modo di esprimere la temperatura con scale diverse, ma si è trattato perlopiù di errori di calcolo. Si è deciso di trattare anche il meccanismo della percezione del calore, chiedendo agli studenti di ordinare gli oggetti presenti in aula dal più caldo al più freddo. In seguito è stata effettuata la misurazione della temperatura di ciascun oggetto, rivelando che tra tutti gli oggetti considerati non vi erano differenze significative di temperatura. Dopo un iniziale momento di stupore per i risultati delle misure, è stato spiegato loro il motivo per cui gli oggetti dentro la stessa stanza sono necessariamente alla stessa temperatura e soprattutto il motivo per cui il corpo percepisce alcuni materiali più caldi o più freddi di altri. Questa spiegazione è stata ben recepita da tutti, probabilmente grazie alle loro conoscenze sulla divisione tra materiali conduttori ed isolanti acquisita nel corso del percorso di studi da elettricista. A questo proposito è stato fatto vedere loro un video di YouTube in cui viene mostrato che le piastrelle termiche dello Shuttle sono composte di un materiale talmente isolante che è possibile tenerle in mano appena uscite dal forno, a circa 2200° C (link nella sitografia). Questo argomento ha incuriosito molto la III triennale, che ha dimostrato un buon interesse facendo domande sul motivo per cui quando si ha la febbre la temperatura corporea aumenta, sull'abbigliamento dei tuareg nel deserto ed in generale sui meccanismi di termoregolazione umani e non solo. Queste domande forse hanno portato la classe un po' fuori tema, ma erano talmente interessati e genuinamente curiosi che si è ritenuto utile cercare insieme agli studenti le risposte utilizzando internet e facendo loro vedere come si cercano informazioni da fonti attendibili.

Nella lezione seguente è stato affrontato il concetto di calore, legandolo inizialmente all'energia che viene scambiata quando si tocca un oggetto. È stato scelto questo approccio per associare l'idea di calore ad una quantità di energia in transito, in modo da tentare di limitare le misconcezioni del "calore contenuto in un corpo". Per far comprendere bene come il calore sia legato all'energia si è tornati a considerare, da un punto di vista microscopico, il movimento molecolare (gli allievi legano molto bene il concetto di energia con il movimento) e lo scambio termico per conduzione. In questo modo è stato piuttosto semplice far comprendere concettualmente che lo scambio di calore altro non è che uno scambio di energia, che a sua volta è essenzialmente dovuto ad urti che si propagano tra molecole che oscillano a velocità diverse. Un ottimo supporto didattico per questa lezione iniziale è stato il "Progetto PhET", un portale online istituito nel 2002 da Carl Wieman in collaborazione con l'Università del Colorado, in cui si possono trovare simulazioni interattive molto ben strutturate, basate sulla ricerca in didattica (link in sitografia). In questo portale si trovano infatti delle simulazioni sugli stati della materia che permettono di visualizzare molto bene il meccanismo di agitazione molecolare in funzione del calore fornito al sistema e come questo condiziona lo stato fisico della materia (<https://phet.colorado.edu/it/simulations/states-of-matter-basics/>).

La terza lezione si è aperta lasciando spazio ad un ampio ripasso delle due precedenti per verificare che alcuni concetti fondamentali fossero stati interiorizzati dagli studenti, anche motivato dal fatto che in I triennale c'erano molti assenti ad almeno una delle due lezioni. Concluso il ripasso, è stato necessario completare alcuni argomenti trattati parzialmente nella lezione precedente, come gli scambi di calore per convezione ed irraggiamento. Riguardo quest'ultimo occorre precisare che, pur non trattandosi di un trasferimento di calore ma di energia, è stato scelto di includerlo tra i modi in cui il calore può essere scambiato per allinearsi alla trattazione abituale dei libri di testo, benché si tratti di una descrizione molto contestata dalla didattica della fisica. Inoltre, si tratta della modalità che ha creato maggiori difficoltà di comprensione, forse perché più lontano dall'esperienza quotidiana degli studenti. A questo proposito più che l'esempio del calore irradiato dal Sole, è stato utile spiegare il funzionamento delle stufe elettriche, più vicine al loro campo di studi e alla loro esperienza, e delle termocamere, che rilevano differenze di temperature in base all'emissione di radiazione infrarossa dai corpi caldi. Aver parlato della termocamera ha introdotto una discussione in classe relativa alla differenza tra due oggetti che conoscono molto bene a causa degli anni di pandemia: i termometri ad infrarossi e quelli a dilatazione di mercurio. Questo confronto ha portato alla distinzione del principio di funzionamento dei due termometri, relativo a due modi di propagazione differenti, ma soprattutto all'affermazione, evidente nei termometri a dilatazione, che gli oggetti quando si scaldano si dilatano. La spiegazione di questo fenomeno è iniziata con

il consueto esempio dello spazio che viene lasciato tra i binari ferroviari o nei viadotti autostradali, in seguito gli studenti sono stati guidati a riflettere sul legame tra la dilatazione termica e il movimento molecolare, concludendo la lezione facendo loro svolgere degli esercizi sulla dilatazione lineare, superficiale e volumica. Questo argomento è stato considerato semplice dagli studenti, forse perché per la comprensione non è necessaria molta astrazione o perché le formule delle leggi di dilatazione sono abbastanza semplici ed intuitive. Al fine di fissare ulteriormente questo concetto è stato fatto vedere un video di Rai Scuola sulla dilatazione termica (disponibile su YouTube, link in sitografia).

Per concludere la trattazione degli scambi di calore è stato necessario introdurre il concetto di equilibrio termico, si è scelto di affrontarlo parlando inizialmente solo di scambi tra materiale uniforme, per non affrontare ancora i concetti di capacità termica e di calore specifico, che sarebbero stati introdotti nel corso della lezione.

La quarta lezione è dunque iniziata con alcune domande-stimolo: la prima legata alla temperatura finale di due masse d'acqua identiche a temperatura iniziale diversa, a cui generalmente gli allievi rispondono correttamente con la media tra le due temperature, e la seconda in cui era richiesta la temperatura finale di masse d'acqua diverse a temperature diverse. Se sulla prima domanda non c'è stato grande disaccordo, sulla seconda le possibili risposte sono state molte e diverse: alcuni non considerano influente che le masse siano diverse e ne calcolano comunque la media, affermando che la massa non influisce sulla temperatura finale, altri, senza usare nessuna formula matematica, ne tengono conto "un po' ad occhio", aumentando o diminuendo la temperatura finale in base alla temperatura della massa maggiore d'acqua. A questo punto, per dare una risposta formale, è stata introdotta l'equazione dell'equilibrio termico fra due sostanze identiche. Dopo qualche esercizio su questo argomento, è stata presentata un'ulteriore questione: cosa succede se ad essere diversa non è la massa ma è il tipo di materiale? Vale a dire, quale potrebbe essere la temperatura di equilibrio di due masse da 1 kg di acqua e olio d'oliva, una a 90°C e l'altra a 10°C? e se vengono invertite le temperature iniziali si otterrà una temperatura di equilibrio uguale o diversa nei due casi? Per circa la metà degli studenti, il tipo di materiale non influisce sulla quantità di calore scambiato ma le uniche cose da cui dipende la temperatura finale sono la massa e la temperatura iniziale (13 su 20 in I triennale e 6 su 15 in III triennale) per cui la temperatura finale sarà sempre 50° C; circa un terzo invece non sa cosa aspettarsi, se non una temperatura sicuramente compresa tra 30° C e 70° C ma non necessariamente 50° C (5 su 20 in prima triennale e 5 su 15 in III triennale), ma in entrambi i casi la temperatura finale sarebbe rimasta la stessa. I restanti allievi (2 in I triennale e 4 in III triennale) non si sono sentiti in grado di dare una risposta di nessun tipo, sebbene non fossero convinti delle

risposte dei compagni di classe. Un solo ragazzo di III triennale ha affermato che a suo parere, le temperature finali sarebbero state diverse, ma senza riuscire ad esprimere una motivazione (non è escluso che abbia risposto in questo modo perché in classe è stato chiesto espressamente se le temperature finali sarebbero state uguali o no). Questa discussione è servita, come si può intuire, ad introdurre il calore specifico, definito come la quantità di energia che una massa di 1 Kg di sostanza deve acquistare perché la sua temperatura aumenti di 1°C ²⁸. A questo punto, mostrando in classe una tabella con i valori nominali del calore specifico per diverse sostanze ed introducendo l'equazione dell'equilibrio termico completa, si è spiegato che il calore ceduto dalla prima sostanza deve corrispondere al calore acquisito dalla seconda, ed insieme agli studenti sono stati fatti i calcoli necessari per dimostrare numericamente che nei due casi sopra considerati, la temperatura di equilibrio sarebbe stata di circa 67°C nel primo caso (acqua a 90°C e olio a 10°C) e di circa 33°C nel secondo (acqua a 10°C e olio a 90°C). La notevole differenza tra le temperature finali ha suscitato dubbi in alcuni studenti, che ritenevano impossibile ottenere risultati tanto discordanti. Nella classe terza (la prima delle due a fare lezione di termologia) si è tentato di introdurre il concetto di capacità termica come prodotto tra calore specifico e massa. Tuttavia, osservando che questo nuovo elemento stava generando confusione e considerando il poco tempo rimasto a disposizione, si è deciso di non approfondire l'argomento e di non affrontarlo neanche in I triennale.

La quinta ed ultima lezione è stata dedicata ad un ripasso dei concetti chiave delle lezioni precedenti ed ai passaggi di stato, che hanno suscitato molto interesse. Dopo un ripasso della terminologia utilizzata, sono state nuovamente utilizzate risorse online quali le simulazioni di Phet ed alcuni video didattici (ne è un esempio "Fusione e solidificazione" pubblicato da Zanichelli e presente su YouTube, link in sitografia), per spiegare agli studenti come avvengono i passaggi di stato sia da un punto di vista macroscopico, considerando quindi il calore latente, sia da un punto di vista microscopico, mostrando come il calore latente viene utilizzato per rompere i legami molecolari. Gli allievi di III triennale hanno voluto sapere in dettaglio il principio di funzionamento dei condizionatori perché qualcuno di loro ne aveva montati durante il periodo di stage dell'anno precedente ed a questa spiegazione è stato legato il fenomeno della sudorazione umana per il raffreddamento corporeo e della sua importanza per la salute. Considerato

²⁸ Sebbene la definizione corretta richiederebbe l'uso dei gradi Kelvin, si è scelto di utilizzare i gradi Celsius considerando la maggiore familiarità degli allievi con questa scala e l'equivalenza delle variazioni di temperatura nelle due unità di misura.

l'interesse, è stato deciso di ripercorrere gli stessi esempi anche con la classe al primo anno che ha reagito in maniera molto positiva. A conclusione della lezione è stato chiesto alla I triennale di spiegare come funzionasse l'impianto di riscaldamento domestico e si è colta l'occasione di parlare degli sprechi di energia dovuta a dispersioni termiche e di isolamento termico delle abitazioni.

Durante l'insegnamento della termologia, rispetto alla cinematica, si sono riscontrate maggiori difficoltà nei concetti fondamentali. In particolare, nell'ultima lezione è emerso che alcuni studenti mostravano ancora confusione nelle definizioni di calore e temperatura, talvolta utilizzandoli come sinonimi. La quarta lezione, come riportato nella descrizione dettagliata, ha richiesto una rimodulazione del programma: si è deciso di non trattare la capacità termica, poiché questa grandezza, dipendendo sia dal materiale sia dalla massa della sostanza, risultava più complessa da comprendere rispetto al calore specifico, che è invece una proprietà intrinseca del materiale. Considerando i limiti temporali e il fatto che la capacità termica può essere facilmente calcolata a partire dal calore specifico, si è preferito concentrare l'attenzione sugli altri concetti previsti dal programma, evitando così di sovraccaricare gli studenti con nozioni che, in quella fase, potevano risultare eccessivamente complesse.

4.2 Lezione di tipo laboratoriale

Quando ai ragazzi iscritti a corsi di formazione professionale si parla di laboratorio, si intende un luogo ed un modo di fare completamente diverso da quello che hanno in mente studenti iscritti al liceo o all'istituto tecnico. Se il laboratorio di fisica del liceo è un luogo in cui si svolgono attività esperienziali e si raccolgono dati per lo studio di un fenomeno fisico, nella formazione professionale il laboratorio è un'officina meccanica, un salone di parrucchieri o, nel caso qui considerato, un cantiere edile in cui realizzare l'impianto elettrico. Questo perché nei licei il laboratorio è complementare ad una formazione teorica più ampia, che comprende anche la capacità di ordinare, analizzare e discutere sui dati raccolti, invece nella formazione professionale il laboratorio è centrale, è il cuore del processo educativo che è orientato verso l'acquisizione di competenze pratiche. Tutti gli studenti di Engim Artigianelli trascorrono in media dalle 6 alle 12 ore in laboratorio ogni settimana perché l'obiettivo didattico-educativo è quello di insegnare e far fare pratica per la realizzazione di impianti elettrici al fine di un repentino inserimento lavorativo. Questo fa sì che quando si utilizza il termine "laboratorio" non si pensa allo stesso luogo, alle stesse attività ed allo stesso modo di fare da parte degli studenti. In questa sperimentazione si è voluto portare il laboratorio del liceo dentro il laboratorio della formazione professionale, ma questo ha richiesto un cambio di attitudine nei ragazzi, che sono stati dovuti preparare ad hoc. Prima della lezione in laboratorio è stato infatti necessario fare due lezioni introduttive da 2 ore l'una (che verranno analizzate in seguito), per poter concentrare la lezione pratica in una mattina intera da 6 ore. Avere per una mattina intera gli studenti in laboratorio non è sempre possibile nella scuola statale, ma si è notato che questo ha ridotto significativamente i tempi previsti nella sperimentazione perché riduce al minimo quei minuti, necessari, per spostarsi fisicamente dall'aula al laboratorio, per preparare il materiale e gli studenti e per spiegare loro il compito assegnato. Per tutte queste incombenze si possono stimare circa 15-20 minuti per ogni volta che si accede al laboratorio, questo significa che se si tratta di svolgere 6 lezioni separate, il tempo non utilizzato per le attività pratiche ammonta tra i 90 e i 120 minuti, che invece in una mattina di 6 ore consecutive rimane tra i 15 ed i 20 minuti.

Per tutte le attività di laboratorio è stato adottato il ciclo POE, precedentemente accennato, che si articola in tre fasi: Predict (Predire), in cui gli studenti formulano ipotesi riguardo ai fenomeni che stanno per osservare; Observe (Osservare), in cui svolgono l'esperimento, raccolgono e analizzano i dati; ed Explain (Spiegare), in cui confrontano le loro previsioni con i dati ottenuti, evidenziando analogie e differenze, e cercano di fornire spiegazioni per quanto osservato (Gunstone, 1995). Questo approccio è stato scelto per la sua comprovata efficacia, dimostrata in numerosi studi (Chinn & Malhotra, 2002; Krajcik, McNeil & Reiser, 2007; Osborne & Dillon, 2008), e per i benefici che apporta all'apprendimento degli studenti. Tra questi benefici si distingue lo sviluppo di una comprensione più profonda dei concetti scientifici, perché gli studenti sono incoraggiati a verbalizzare e formalizzare per iscritto le loro idee (che comprendono eventuali misconcezioni) prima dell'esperimento, attivando così il loro pensiero critico attraverso il ragionamento ipotetico e la valutazione delle possibili alternative. Inoltre, il ciclo POE stimola gli studenti a costruire modelli mentali accurati per prevedere l'esito dell'esperimento e l'analisi dei risultati, effettuata dopo l'esperimento, li invita a una riflessione profonda sui loro modelli mentali, confrontando le idee preconcepite con la realtà. Questo processo non solo stimola ulteriormente il pensiero critico, ma aiuta anche a correggere eventuali malintesi e a modificare le concezioni errate per i successivi cicli. Infine, quando il ciclo POE viene applicato in laboratorio, si distingue per il suo carattere interattivo e partecipativo, che incoraggia gli studenti a essere attivamente coinvolti nella loro formazione. Non si limitano pertanto ad apprendere teoricamente, ma hanno anche l'opportunità di osservare i principi scientifici in azione ed attraverso l'esperienza pratica possono ristrutturare le loro comprensioni in base alle evidenze raccolte.

4.2.1 Cinematica in I biennale e III triennale

La sperimentazione relativa alla lezione di tipo laboratoriale è iniziata con due lezioni frontali in aula dedicate al ripasso di concetti fondamentali per la successiva lezione in laboratorio, all'utilizzo del software "Tracker"²⁹, e alla suddivisione degli studenti in gruppi di lavoro. La lezione in laboratorio è invece stata suddivisa in tre moduli da 2 ore con questa struttura: i primi 10 minuti per la spiegazione dell'esperienza da parte dell'insegnante; 20 minuti per le previsioni su quanto accadrà, prima individuali e poi di gruppo; 60 minuti per la realizzazione pratica dell'esperienza ed il lavoro sul software; 30 minuti di discussione collegiale sui risultati ottenuti. Le 3 esperienze riguardano il moto di una pallina in caduta libera, in caduta al termine del piano su cui sta rotolando e lanciata da una piccola rampa con un'inclinazione di 45° per simulare il moto del proiettile.

La prima lezione frontale è stata svolta con notevoli differenze rispetto alla lezione frontale tradizionale tenuta nelle altre classi perché era necessario fornire agli studenti, che non hanno mai seguito una lezione di fisica, le competenze necessarie per poter svolgere le esperienze di laboratorio di cinematica. Per tale motivazione, la lezione è iniziata con la differenziazione delle grandezze scalari e vettoriali e con l'introduzione del vettore velocità e del vettore accelerazione. Questo ha portato alla discussione relativa all'importanza di fissare un opportuno sistema di riferimento per l'orientazione dei vettori e per attribuire loro il segno positivo o negativo e si è conclusa con la presentazione dei grafici posizione/tempo, velocità/tempo ed accelerazione/tempo. Questi grafici sono stati costruiti in classe analizzando alcuni moti esemplificativi insieme agli studenti, è stata costruita una tabella in cui erano esplicitate le coordinate spaziali e temporali, che sono state riportate sul grafico posizione/tempo. Successivamente per ogni intervallo di tempo è stata calcolata la velocità, per riportarla sul grafico velocità/tempo, ed infine l'accelerazione, anch'essa riportata nel grafico corrispondente. In questo modo è stato possibile introdurre la rappresentazione grafica delle grandezze in gioco e mostrare le

²⁹ Tracker è un software di analisi video, progettato espressamente per l'educazione scientifica creato da Douglas Brown per il progetto Open Source Physics (OSP), che promuove l'uso di strumenti open source per l'insegnamento della fisica. Consente agli utenti di importare video di esperimenti scientifici e di analizzarli in modo dettagliato, possono infatti segnare e tracciare oggetti all'interno dei video fotogramma per fotogramma, facilitando la raccolta di dati quantitativi su vari fenomeni fisici. È inoltre possibile visualizzare traiettorie, grafici e vettori di grandezze fisiche.

differenze nei tre grafici, evidenziando il significato delle pendenze positive o negative, delle quantità costanti e di velocità e accelerazione con valori negativi. Nella seconda lezione è stato mostrato il software "Tracker", sono stati spiegati i comandi base ed è stato possibile far fare pratica agli studenti con alcuni video di prova, in modo che durante la lezione in laboratorio avessero già le basi per poterci lavorare. Durante questa lezione lo stesso moto è stato analizzato con assi orientati in direzioni diverse, permettendo agli studenti di dimostrare come la forma dei grafici e i valori di posizione, velocità e accelerazione dipendano dalla scelta del sistema di riferimento.

Le maggiori difficoltà riscontrate hanno riguardato tre aspetti principali: la gestione delle grandezze vettoriali, il disegno dei grafici e l'utilizzo del software. Per le grandezze vettoriali, la sfida principale è stata quella di concepire uno spazio multidimensionale, dove ogni direzione deve essere scomposta in componenti parallele agli assi di riferimento. Questa difficoltà è risultata simile a quella incontrata dagli studenti durante la lezione frontale. Nel disegno dei grafici, l'approccio di partire da un moto esemplificativo e costruire una tabella di spostamento, velocità ed accelerazione ha molto ridotto la confusione, anche se è persistita la tendenza a tracciare grafici identici o molto simili tra loro. Riguardo all'utilizzo del software, contrariamente alle aspettative per studenti delle superiori, è emerso che la loro familiarità con l'informatica è principalmente limitata all'ambito ludico e social, mostrando difficoltà significative nell'esecuzione di operazioni base al computer.

Le ore in laboratorio sono state svolte in compresenza con due docenti: il docente responsabile della sperimentazione ed il docente di laboratorio elettrico, che ha fornito supporto per la gestione della classe. Agli studenti, divisi in 5 gruppi da 3 ragazzi per ogni classe (un gruppo in I biennale sarebbe stato formato da 2 elementi), è stata fornita una scheda di laboratorio (Appendice C) per esplicitare i passaggi-chiave delle tre esperienze.

Nella prima esperienza veniva richiesto loro di immaginare una pallina da calcio balilla lasciata cadere dalla mano di un compagno e di scrivere sulla scheda quale sarebbe stata la traiettoria, se ci sarebbero state variazioni di velocità o di accelerazione, e di provare a tracciare i grafici del moto relativi alla posizione, alla velocità e all'accelerazione in funzione del tempo. In nessun caso ci sono state difficoltà sulla traiettoria, correttamente indicata da tutti come rettilinea verso il basso, ma già dalla domanda sulla velocità di caduta si sono verificate le prime misconcezioni: circa un quarto degli studenti riteneva infatti che la velocità aumentasse nella fase iniziale della caduta per poi "stabilizzarsi" e procedere costante (4 su 14 in I biennale e 3 su 15 in III triennale). Percentuali peggiori si hanno sulla domanda relativa all'accelerazione, i dati mostrano che più del 40% degli studenti ritiene che l'accelerazione durante la caduta

amenti (6 su 14 e 6 su 15 rispettivamente in I biennale e III triennale). Per quanto riguarda la rappresentazione grafica della posizione, velocità ed accelerazione della pallina sono emerse in maniera evidenti le difficoltà degli studenti: pochissimi sono riusciti a costruire correttamente il grafico posizione-tempo, (1 in I biennale e 3 di III triennale), il grafico velocità-tempo (1 solo in III triennale) o il grafico accelerazione-tempo (non tracciato in maniera corretta da nessuno) (Figura 2).

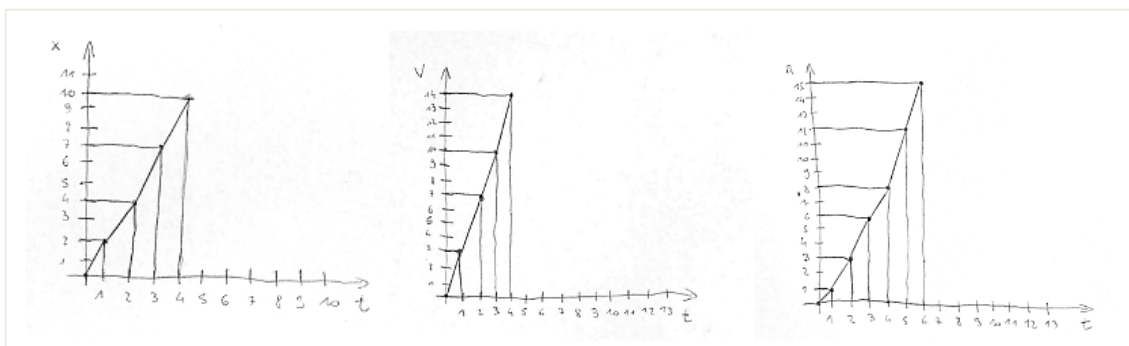


Figura 2 – Alcuni esempi dei grafici realizzati dagli studenti durante la prima esperienza di laboratorio. In molti altri casi si nota una forte somiglianza tra i grafici.

Per ottimizzare i tempi ed ottenere valori simili si è deciso di far lavorare tutti i gruppi sullo stesso video, registrato una sola volta in laboratorio e condiviso con gli studenti. Dopo il lavoro su "Tracker" si è passati alla fase di discussione e confronto tra previsioni e dati sperimentali. Gli studenti hanno illustrato i loro ragionamenti e l'insegnante ha potuto correggere gli errori logici che avevano portato a rappresentazioni grafiche errate. Questa fase si è dimostrata interessante sia per gli studenti, che hanno seguito con interesse la spiegazione poiché rispondeva puntualmente ad un loro bisogno specifico - la correzione di un ragionamento errato - sia per l'insegnante, che ha potuto fornire chiarimenti partendo da una misconcezione concreta.

Per la seconda esperienza, gli studenti hanno studiato il moto della stessa pallina che, dopo aver rotolato su un piano orizzontale, cadeva al termine di esso. La scheda esplicitava di dividere il moto in una direzione orizzontale ed una verticale. Riguardo al disegno della traiettoria è piuttosto complesso riuscire ad indicare quali sono corretti e quali no perché nessuno degli studenti ha eseguito disegni precisi. Si può tuttavia affermare che tutti hanno una forma che somiglia ad una parabola verso il basso, ma un numero consistente di loro ha disegnato la curva che inizialmente è una parabola ma in seguito cambia forma: nel disegno di qualcuno di loro sembrava terminare con una retta che prosegue verso l'esterno, allontanandosi in modo uniforme dal piano verticale di caduta; per altri invece terminava con una retta verticale (Figura 3).

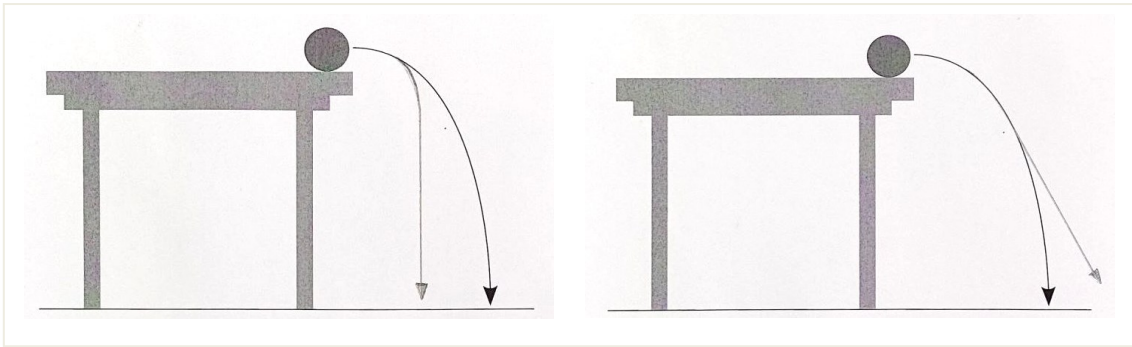


Figura 3 – Riproduzione delle traiettorie disegnate dagli studenti nella seconda esperienza di laboratorio

Circa la costruzione dei grafici possiamo sostenere che le difficoltà si sono verificate su due livelli: la divisione del grafico in due direzioni e la comprensione del grafico stesso. La suddivisione del moto in due direzioni ortogonali è stata inizialmente problematica per circa 3 studenti su 4, gli studenti infatti non avevano capito come separare i due moti diversi e hanno tentato di combinarli in un unico grafico. Dopo l'intervento dell'insegnante, che ha chiarito ulteriormente la richiesta specificando l'indipendenza tra moto orizzontale e verticale, si è cercato di aiutare gli studenti a visualizzare la separazione dei moti. È stato detto loro di immaginare una telecamera in movimento orizzontale, solidale con la pallina, per osservare solo il moto verticale, e la telecamera in movimento verticale per osservare solo quello orizzontale. Dopo questa spiegazione gli studenti hanno lavorato con maggiore consapevolezza e circa metà di loro ha disegnato correttamente la componente orizzontale del grafico posizione-tempo come una retta, sebbene non tutti abbiano compreso che il grafico per la componente verticale sarebbe dovuto essere parabolico, infatti molti di loro hanno tracciato linee rette per entrambe le componenti. Lo stesso tipo di grafico è stato tracciato dalla maggior parte di loro, per le velocità: in entrambi i casi hanno disegnato delle linee rette passanti per l'origine, dimostrando sia che è molto forte la tendenza a tracciare grafici simili, sia che la comprensione delle relazioni che ci sono tra il grafico della posizione e quello della velocità non era adeguata (Figura 4).

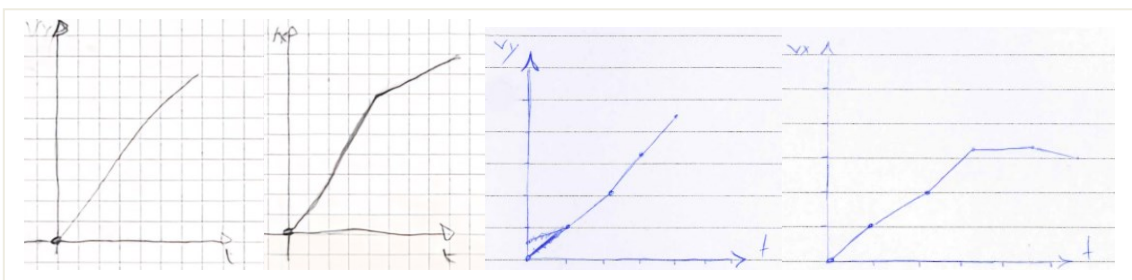


Figura 4 – Immagine di grafici velocità/tempo realizzati dagli studenti nella seconda esperienza di laboratorio in cui è evidente la similitudine tra la componente verticale ed orizzontale della velocità.

Sul grafico relativo all'accelerazione in funzione del tempo le due classi hanno lavorato diversamente: la I biennale ha tendenzialmente disegnato correttamente l'accelerazione verticale, costante, con valore positivo. La componente orizzontale dell'accelerazione è stata disegnata in maniera errata da tutti gli studenti: nessuno di loro ha infatti considerato il valore zero, ma hanno tracciato linee con forma variabile, per lo più senza riuscire a spiegarne il motivo. In particolare, di fronte all'insistenza dell'insegnante a voler sapere perché avessero disegnato dei moti non uniformi, un allievo ha risposto che nel suo grafico dell'accelerazione erano presenti dei punti in cui la curva cambiava rapidamente inclinazione perché in quei punti "finisce la spinta" che permette alla pallina di allontanarsi in orizzontale, proseguendo il moto di caduta in verticale. La III triennale invece ha prodotto grafici molto diversi: nessuno ha rappresentato correttamente l'accelerazione in nessuna delle due componenti, ma se per la componente orizzontale i grafici erano analoghi a quelli della classe precedente, per la componente verticale la maggior parte degli studenti ha tracciato grafici a gradini con valori discreti crescenti (e in alcuni casi decrescenti). Interrogati sulla motivazione di questa rappresentazione, gli studenti hanno spiegato di aver compreso che a una velocità con andamento lineare dovesse corrispondere un'accelerazione costante, ma hanno tentato di giustificare l'aumento di velocità rappresentando un'accelerazione che cresceva per valori discreti (Figura 5).

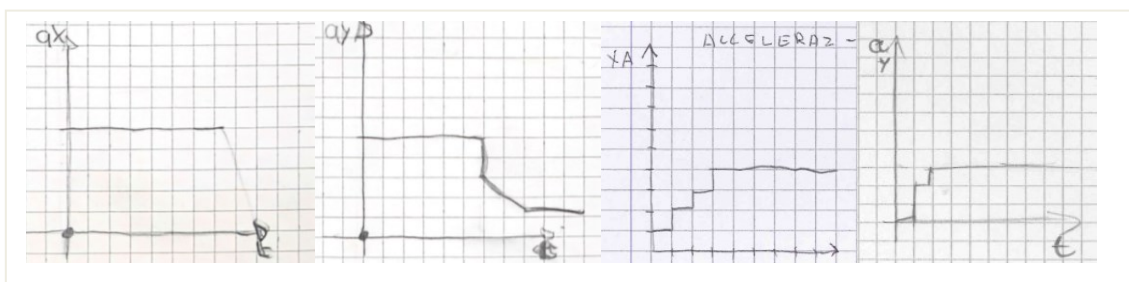


Figura 5 – Immagini di grafici accelerazione/tempo realizzati dagli studenti nella seconda esperienza di laboratorio. Nelle prime due, dello stesso studente, si può vedere la “fine della spinta”. Le ultime due, con andamento a gradini crescenti, sono riferite all'accelerazione verticale e sono state realizzate da due studenti diversi.

Un punto critico analogo a quanto avvenuto nelle lezioni frontali, è stato l'orientamento dell'asse y. Nell'esperienza precedente è stato scelto di orientare l'asse verso il basso, perché funzionale alla spiegazione relativa all'accelerazione di gravità (che era stata considerata positiva), in questa seconda esperienza invece gli assi sono stati orientati nella maniera tradizionale: quello orizzontale verso destra e quello verticale verso l'alto, rendendo così negativi tutti i valori relativi al moto verticale. Questa differenza di orientamento ha tuttavia creato meno confusione del previsto: è stato sufficiente spiegare agli studenti che invertendo l'asse sarebbe stato necessario invertire i segni,

poiché il valore numerico delle grandezze, essendo vettoriali, dipendeva dalla direzione considerata positiva.

Un altro punto di confusione è stato l'effetto della resistenza dell'aria, sovrastimato dagli studenti. Alcuni di loro, infatti, hanno deciso di tenerne conto e hanno ritenuto che il moto di caduta della pallina diventasse uniforme prima di giungere al suolo, ma all'obiezione dell'insegnante che sarebbe stata necessaria una caduta da un'altezza maggiore, incuriositi dalla possibilità di calcolare questo valore, hanno voluto svolgere i calcoli in laboratorio. Hanno scoperto³⁰ che la velocità terminale di una pallina da calcio balilla supera i 90 Km/h e si raggiunge approssimativamente dopo circa 120 metri di caduta, molto maggiore dei circa 2 metri dell'esperimento svolto.

L'ultima domanda della scheda di laboratorio relativa a questa esperienza chiedeva se il tempo di caduta fosse lo stesso per due palline identiche: la prima in caduta libera (come nella prima esperienza) e la seconda dopo un tratto di rotolamento orizzontale (quindi con una velocità orizzontale non nulla, come in questa seconda esperienza). Inizialmente questa domanda ha generato confusione e incertezza, con nessuna risposta in grado di essere sufficientemente convincente da influenzare il resto della classe. Alcuni studenti sostenevano che le palline fossero uguali e quindi sarebbero cadute contemporaneamente, altri che la pallina in caduta libera fosse inizialmente ferma, il che avrebbe comportato un tempo maggiore di caduta, altri ancora che quella stessa pallina avrebbe impiegato meno tempo perché avrebbe dovuto percorrere una distanza minore.

Per l'esperienza di laboratorio relativa al moto del proiettile è stata costruita una piccola rampa di cartone in modo da lanciare la pallina con un'inclinazione fissa ed è stata posizionata in modo che il punto di uscita della rampa corrispondesse con il punto zero degli assi di riferimento. Anche in questo caso si è preferito utilizzare lo stesso video per tutti i gruppi di allievi.

In questa esperienza gli studenti hanno dimostrato una maggiore familiarità con il disegno dei grafici posizione-tempo, tanto che molti di loro sono riusciti a rappresentarli correttamente per entrambe le direzioni (Figura 6).

³⁰ Considerata la complessità dei calcoli superiore alle loro capacità, che comprende l'uguaglianza tra la forza di gravità e la forza di resistenza aerodinamica, e la soluzione dell'equazione del moto con resistenza dell'aria, gli studenti hanno interrogato l'intelligenza artificiale, ottenendo i risultati riportati.

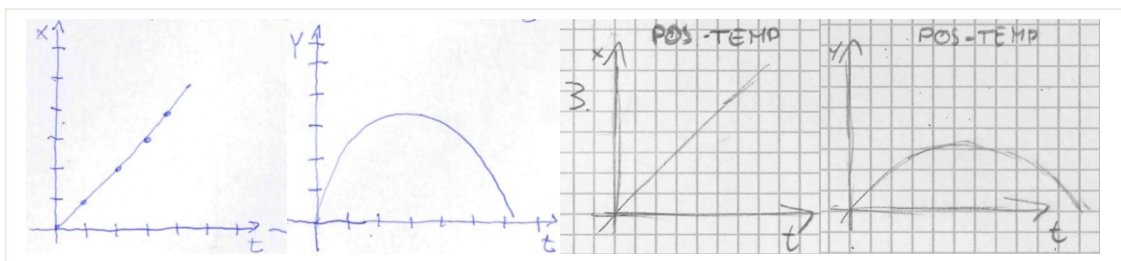


Figura 6 – Alcuni esempi di grafici posizione/tempo della terza esperienza corretti.

Tuttavia, è emersa una significativa confusione tra il grafico della posizione verticale in funzione del tempo e la traiettoria della pallina, poiché, sebbene entrambe presentino una forma parabolica, sono concettualmente molto diverse. In questa terza esperienza circa metà degli studenti è anche stata in grado di riconoscere il moto orizzontale come rettilineo uniforme, quindi con velocità costante, sebbene un'altra caratteristica molto comune sia un gradino positivo di accelerazione nella direzione orizzontale, che poi diventa improvvisamente nullo (Figura 7).

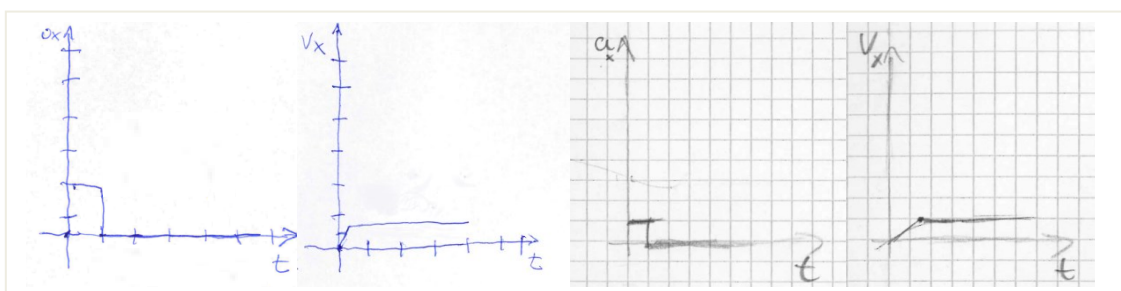


Figura 7 – Alcuni esempi di grafici di accelerazione e velocità relativi alla componente orizzontale della terza esperienza di laboratorio.

Alla richiesta di spiegazioni, gli studenti hanno risposto che senza un'accelerazione iniziale la pallina non sarebbe stata spinta in avanti, giustificando le loro idee in maniera molto simile alla teoria dell'impetus o degli studi rinascimentali sul moto del proiettile (come visti nel capitolo precedente e in Besson, 2015). Per quanto riguarda la rappresentazione della componente verticale della velocità, come già evidenziato in precedenza, molti studenti hanno tracciato linee che ricordano una forma triangolare, suggerendo che la velocità aumenti linearmente fino al punto più alto della traiettoria per poi diminuire linearmente durante la fase di discesa della pallina. Altri studenti, invece, hanno rappresentato la velocità con una forma parabolica analoga (Figura 8).

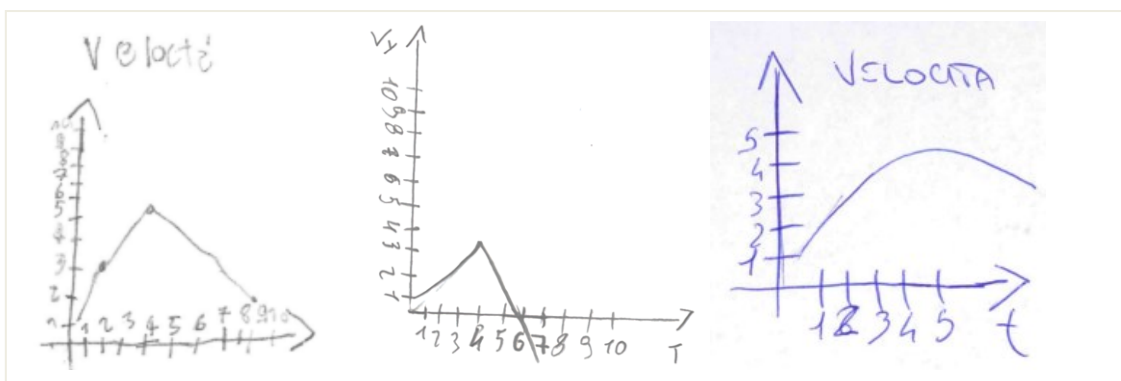


Figura 8 – Alcuni grafici realizzati dagli studenti riguardanti la velocità relativa alla componente verticale nella terza esperienza di laboratorio.

Nessuno degli studenti è riuscito a rappresentarla correttamente, cioè come una retta che parte da un valore positivo e presenta una pendenza negativa. Questa retta incrocia l'asse x nel momento in cui ha velocità nulla, corrispondente all'apice della traiettoria della pallina, e successivamente prosegue aumentando in modulo, ma in direzione negativa. Questo grafico ha causato anche un sentimento di rifiuto da parte di un ragazzo di I biennale, che a fine spiegazione ha affermato di non credere che sia il disegno corretto ma che effettivamente il software non lasciava spazio ad altre ipotesi per cui, pur non ritenendola corretta, si sarebbe fidato. Anche la rappresentazione dell'accelerazione verticale ha causato alcuni problemi agli studenti poiché non tutti avevano ancora chiaro che l'accelerazione di gravità fosse costante in tutte e tre le esperienze, in molti dei loro grafici, infatti, aveva una forma variabile nel tempo. Nei grafici di III triennale era ancora visibile una traccia dell'accelerazione a gradini già notata nell'esperienza precedente (Figura 9).

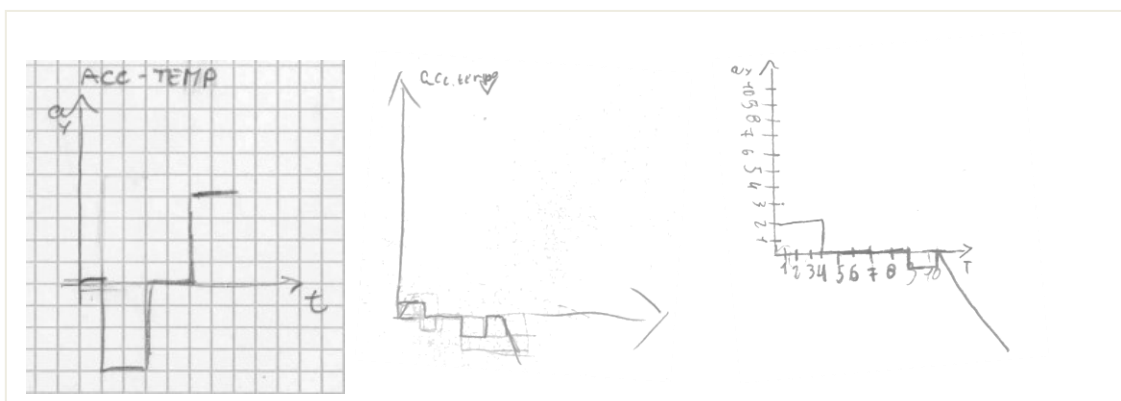


Figura 9 – Alcuni grafici realizzati dagli studenti riguardanti l'accelerazione relativa alla componente verticale nella terza esperienza di laboratorio.

Un punto che è necessario sottolineare riguarda le dinamiche comunicative che si sono instaurate all'interno dei gruppi di lavoro, già evidenziate da un articolo di Jiang e McComas (2015). In particolare, molti studenti hanno mostrato incertezze nel condividere le proprie idee, spesso temendo il giudizio dei compagni e questo ha portato

a una partecipazione disomogenea, con alcuni studenti che dominavano la conversazione mentre altri rimanevano in silenzio. Inoltre, la mancanza di familiarità con il linguaggio tecnico ha ostacolato la chiarezza delle comunicazioni, rendendo difficile confrontare le idee degli studenti. Spesso, infatti, confondevano i termini "velocità" e "accelerazione" o non riuscivano a spiegare le loro idee in modo sufficientemente chiaro, finendo per ripetere le stesse parole senza un reale effetto comunicativo.

4.2.2 Termologia in II biennale e al IV anno

A differenza di quanto avvenuto per la cinematica, le esperienze di laboratorio in termologia sono state principalmente di tipo osservativo-dimostrativo, per questo motivo si è scelto di adottare un approccio differente: per alcune esperienze è stato utilizzato un solo apparato per tutti gli studenti che hanno operato a turno; per altre, la classe è stata suddivisa in due gruppi di lavoro e ogni gruppo ha svolto la propria esperienza con l'assistenza di un insegnante, in compresenza come nel caso precedente. Questa modalità è stata facilitata dal numero ridotto di studenti presenti il giorno della sperimentazione (11 in II biennale e 8 al IV anno). Questo numero di studenti è dovuto in parte al numero di iscritti in quelle due classi ed in parte al fatto che si tratta delle due classi anagraficamente più grandi (entrambe le età medie superano i 18 anni) e a qualche studente della classe è stato attivato un contratto di apprendistato³¹ (4 in II biennale e 7 al IV anno), che porta la classe ad essere ulteriormente ridotta.

Prima dell'attività sperimentale in laboratorio, è stata condotta una lezione introduttiva in entrambe le classi per valutare le conoscenze pregresse sulla termologia. Per stimolare l'interesse degli studenti, è stata promessa una valutazione positiva a chi avesse individuato l'oggetto più freddo presente in aula. Questa proposta ha immediatamente catturato l'attenzione della classe: gli studenti (ad esclusione di due ragazzi del IV anno che hanno immediatamente affermato che tutti gli oggetti dovrebbero essere alla stessa temperatura) hanno iniziato a esaminare vari elementi dell'arredo, partendo dagli oggetti metallici (come le gambe della cattedra, dei banchi e delle sedie), passando poi a quelli in legno e concludendo con i materiali plastici, in particolare quelli di piccole dimensioni (penne bic, righelli...). Successivamente sono state misurate le temperature degli oggetti che hanno nominato ed è stato mostrato loro che le differenze di temperatura erano trascurabili e potevano dipendere dalla distanza della misurazione effettuata con il termometro ad infrarossi. Come nel caso della lezione frontale è stato spiegato loro il motivo per cui il corpo percepisce a temperature diverse oggetti che sono invece alla stessa temperatura. Questa attività ha introdotto la domanda di cosa fosse il calore, ma le risposte date dagli studenti lasciavano presupporre un collegamento del concetto di calore alla sensazione di caldo o freddo ed è stato necessario soffermarsi invece sul

³¹ Il contratto di apprendistato di primo livello è una tipologia contrattuale attivabile prima che lo studente termini gli studi e prevede che circa metà delle ore di formazione scolastica siano svolte "on the job" in azienda. Per bilanciare numericamente le presenze si cerca di fare in modo che non siano mai tutti a scuola o in azienda contemporaneamente.

passaggio di calore dal corpo umano agli oggetti (o viceversa) per far capire loro che per “calore” in fisica non si intende una sensazione, come può essere nel linguaggio comune, ma un passaggio di energia tra due corpi. A questo punto è stato chiesto loro cosa fosse l'energia in transito e come si manifestasse, la maggior parte di loro ha risposto facendo riferimento all'energia come una sorta di fluido che potesse passare da un corpo all'altro. Quando l'insegnante ha esplicitato che non esisteva nessun fluido capace di trasportare calore, sono riaffiorati negli studenti i ricordi delle lezioni di scienze fatte alle scuole medie, ed è stato relativamente facile riportare alla memoria i concetti di agitazione termica e stati di aggregazione della materia. Anche in questa lezione è stato usato il già citato “Progetto PhET”, per permettere agli studenti una migliore visualizzazione dei movimenti molecolari. Conclusa questa parte teorica si è ritenuto opportuno stimolare una ulteriore discussione e tentare di ravvivare la lezione ponendo un nuovo quesito alla classe: “Esiste una temperatura al di sotto della quale è impossibile andare? Se sì, per quale motivo?” Gli studenti di entrambe le classi in tempi brevi hanno citato lo “zero assoluto”, ma è emerso che non sapevano bene di cosa si trattasse: utilizzando esclusivamente la scala Celsius come riferimento, gli studenti ipotizzavano si trattasse di una temperatura estremamente bassa, senza però saper quantificare tale valore o comprenderne la denominazione. È stato necessario introdurre un approfondimento sulle diverse scale di misurazione della temperatura, illustrando la scala Fahrenheit e, in particolare, la scala Kelvin, prima di riprendere e di dare una risposta al quesito originario.

Terminata questa lezione, qualche giorno dopo è stata svolta la lezione in laboratorio, ed è stato programmato di suddividerla in quattro esperienze: la prima legata alla percezione del calore, la seconda ai passaggi di stato, la terza alla temperatura di equilibrio e la quarta alla dilatazione termica. Anche in questo caso è stata fornita agli studenti una scheda esplicativa delle esperienze (Appendice C).

Per lo svolgimento della prima esperienza, legata alla percezione soggettiva del calore, sono stati predisposti tre contenitori d'acqua: il primo con acqua fredda, il secondo con acqua a temperatura ambiente, la cui temperatura viene misurata e registrata, e il terzo con acqua calda. L'obiettivo era osservare come la temperatura dell'acqua in cui gli studenti immergono le mani influisca sulla loro percezione della temperatura dell'acqua a temperatura ambiente. Un allievo ha quindi immerso la mano nell'acqua fredda, mentre un altro allievo ha eseguito la stessa operazione nell'acqua calda e dopo un minuto entrambi gli studenti hanno immerso simultaneamente la mano nell'acqua a temperatura ambiente. A questo punto è stato chiesto loro di descrivere le sensazioni percepite e di comunicare ai compagni di classe ciò che hanno sentito. Questa breve esperienza, successivamente ripetuta da altri studenti della classe, è servita a richiamare i concetti

precedentemente affrontati legati alla percezione del calore. L'attività ha permesso di dimostrare come il senso del tatto non sia assimilabile ad un termometro, che fornisce una misurazione oggettiva della temperatura, bensì a un sensore di variazione di temperatura, in grado di percepire esclusivamente la differenza di temperatura tra la porzione del nostro corpo a contatto con un oggetto e l'oggetto stesso.

La seconda esperienza è quella progettata per osservare i passaggi di stato, in particolare la fusione del ghiaccio, e si è basata sul monitoraggio della temperatura durante questo processo. Per iniziare, è stata presa dell'acqua a temperatura ambiente ed è stata misurata la temperatura iniziale, che è stata registrata. È stato chiesto agli studenti di tracciare un grafico della temperatura in funzione del tempo indicando il momento in cui il ghiaccio si sarebbe completamente fuso ed è stato chiesto loro di esporre il motivo per cui avessero scelto di dare una determinata forma al grafico. Molti studenti hanno costruito grafici simili tra loro, tendenzialmente simmetrici nella fase discendente ed ascendente della temperatura con una breve fase di temperatura prossima agli zero gradi, a volte solo un punto, e il momento di totale fusione del ghiaccio durante la fase ascendente. Tre studenti hanno posto il punto di fusione totale nel vertice basso del grafico a forma di "V" ed uno lo ha messo prima che l'acqua raggiungesse la temperatura minore, spiegando che il ghiaccio si sarebbe sciolto ma la temperatura avrebbe continuato a scendere ancora per un po'. Uno studente ha inoltre riflettuto sul fatto che i cubetti di ghiaccio fossero ad una temperatura inferiore allo zero e quindi avrebbero portato l'acqua a raggiungere una temperatura negativa di qualche grado (Figura 10).

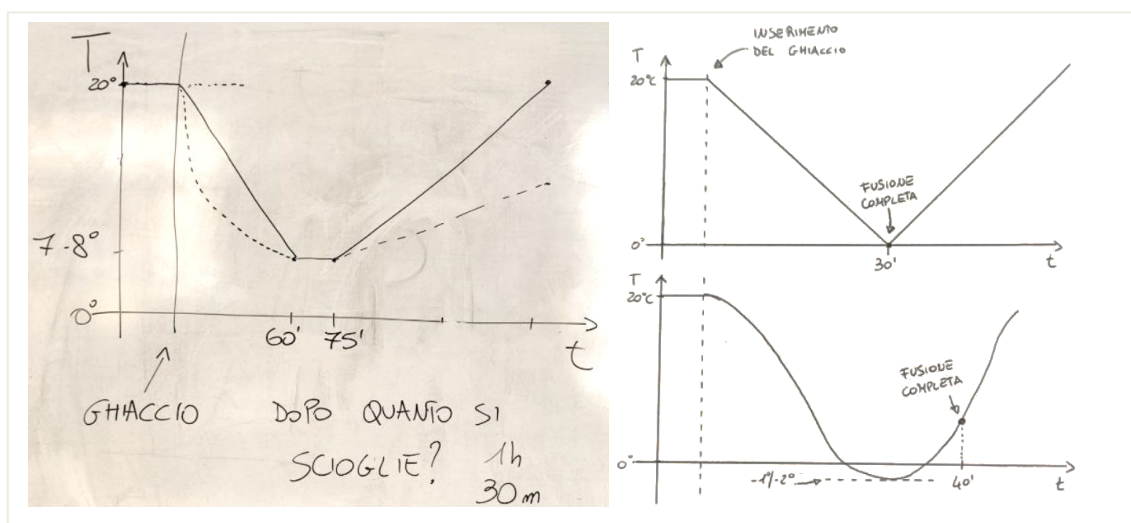


Figura 10 – A sinistra, la fotografia della lavagna scattata durante la lezione di laboratorio di termologia di una delle classi. A destra, due riproduzioni di grafici che sintetizzano le idee degli studenti. In entrambe le immagini è visibile il momento in cui viene inserito il ghiaccio ed è stimato il momento di completa fusione.

Terminata la fase di discussione, è stata effettivamente aggiunta una quantità significativa di cubetti di ghiaccio all'acqua ed è stata misurata la sua temperatura inizialmente ogni 30 secondi, poi ogni minuto, fino a quando il ghiaccio non si è completamente fuso e l'acqua ha iniziato a riscaldarsi. Considerato che i tempi per il monitoraggio completo sono stati abbastanza lunghi, in totale ha avuto una durata di 2,5 ore in una classe e di 1,5 nell'altra, questa esperienza è stata impostata tutti insieme e un allievo era incaricato di leggere la temperatura mentre le esperienze successive erano in corso. I dati raccolti sono stati quindi riportati in un grafico che mette in relazione la temperatura con il tempo e che permette di visualizzare chiaramente il comportamento termico dell'acqua durante il processo di fusione (Grafico 19).

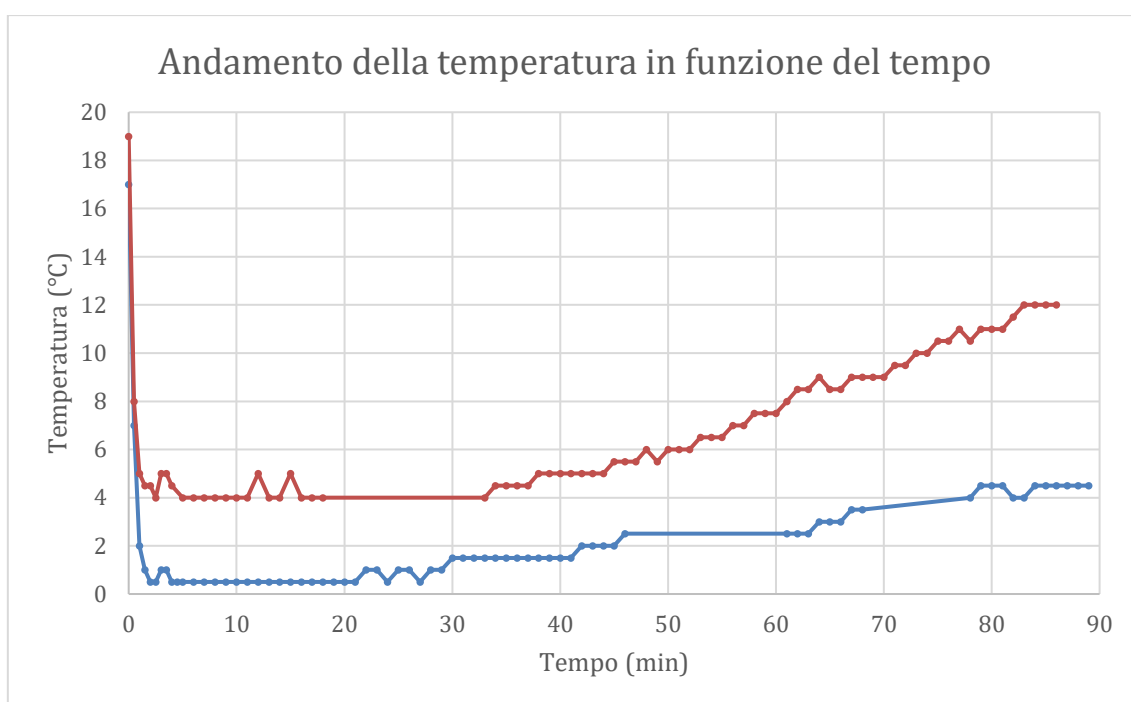


Grafico 19 – Andamento della temperatura dell'acqua nel bicchiere durante la seconda esperienza di laboratorio di termologia. La linea rossa rappresenta i dati raccolti con la II biennale, la linea blu con il IV anno. Per una visualizzazione migliore non sono stati rappresentati i dati oltre i 90 minuti.

Al termine dell'esperimento è stata aperta una discussione in laboratorio per analizzare i risultati ottenuti e gli studenti sono stati invitati a confrontare l'andamento del grafico emerso dai dati con quello da loro ipotizzato inizialmente. L'analisi ha evidenziato tre principali discrepanze: la temperatura è diminuita con una velocità significativamente maggiore rispetto alle previsioni; la fase di stabilità dell'acqua in prossimità degli zero gradi si è protratta per un tempo considerevolmente più lungo di quanto preventivato ed infine, il punto di fusione totale del ghiaccio è stato osservato al termine del plateau, contrariamente alle diverse collocazioni ipotizzate dagli studenti sul grafico. A questo punto l'insegnante ha fornito la spiegazione teorica di quanto osservato, spiegando il

calore latente di fusione da un punto di vista microscopico, ovvero di energia necessaria per rompere i legami intermolecolari del ghiaccio ed esplicitando che nel passaggio dallo stato liquido ad aeriforme sarebbe avvenuto lo stesso processo.

L'esperienza sulla temperatura di equilibrio è iniziata con una sorta di competizione tra gli studenti ad indovinare la temperatura finale di masse d'acqua a temperature diverse che sarebbero state messe a contatto, utilizzando una massa di acqua a temperatura ambiente, una massa di acqua calda ed una di acqua fredda. Nella fase iniziale dell'esperienza, con masse d'acqua equivalenti (una calda ed una a temperatura ambiente), circa metà degli studenti ha fornito risposte corrette (5 su 11 in II biennale e 3 su 8 al IV anno). È significativo notare che una parte consistente degli studenti, pur avendo calcolato correttamente la temperatura media, ha deliberatamente indicato un valore approssimato, scelta motivata dalla loro convinzione che condizioni sperimentali non identificate avrebbero impedito di ottenere esattamente il valore teorico calcolato (gli studenti coinvolti in questo tipo di ragionamento sono stati 3 in entrambe le classi, quindi in totale 6 su 19, quasi un terzo). Nella seconda fase dell'esperienza, con masse d'acqua ancora equivalenti a temperature diverse (ma in questo caso una a temperatura ambiente e l'altra fredda), si è registrato un significativo miglioramento nelle prestazioni, con 16 risposte corrette su 19 studenti. La terza fase, che prevedeva una massa di acqua calda doppia rispetto a quella a temperatura ambiente, ha nuovamente evidenziato le difficoltà degli studenti, causando pochissime risposte corrette, sebbene qualcuna si avvicinasse ai valori corretti (0 corrette e 4 quasi corrette in II biennale, 1 corretta e 2 quasi corrette al IV anno).

Durante l'ultima esperienza sulla dilatazione termica, gli studenti hanno svolto un'attività pratica in due fasi. Nella prima fase, è stato chiesto loro di avvitare parzialmente una vite in un pannello di legno, prestando attenzione alla forza necessaria. La vite è stata poi riscaldata con una pistola termica ad aria calda, dopodiché gli studenti hanno completato l'avvitamento, al termine del quale è stato richiesto di confrontare la forza necessaria nei due momenti dell'operazione. Sebbene non tutti gli studenti abbiano percepito la differenza, è stato spiegato che la maggiore resistenza incontrata nel secondo avvitamento era dovuta alla dilatazione termica della vite: pur essendo minima, questa variazione dimensionale era sufficiente a richiedere una forza maggiore. Era stata programmata anche una seconda fase dell'esperienza, che prevedeva la misurazione di una barra d'acciaio prima e dopo il riscaldamento in forno ma questa parte non è stata realizzata per motivi di sicurezza: per ottenere un aumento di lunghezza di appena un

millimetro, sarebbe stato necessario riscaldare le barre disponibili in laboratorio oltre i 200°C³², rendendo rischiose e complesse le operazioni di misurazione.

³² Le barre disponibili per questa esperienza erano le guide DIN che si trovano dentro i quadri elettrici composte di acciaio, che ha coefficiente di dilatazione lineare di circa $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Per poter svolgere l'esperienza è necessario considerare che la barra da circa 0,4 m di acciaio (dimensione massima del forno del laboratorio di cucina, in cui riscaldare la barra) si dilata di 5 micrometri per ogni grado di differenza.

4.3 Lezione impostata in modalità Challenge-Based Learning (CBL)

Il challenge-based è un metodo di lezione che non era mai stato sperimentato dagli studenti delle classi coinvolte pertanto, per garantire la buona riuscita del progetto, è stato necessario spiegare loro quali fossero gli obiettivi, le modalità operative ed il risultato finale. È stato esplicitato che si sarebbe trattato di un lavoro a gruppi che si sarebbero sfidati per realizzare un oggetto che soddisfacesse le richieste iniziali nel migliore dei modi e che il gruppo migliore sarebbe stato ricompensato. Inoltre, ogni gruppo avrebbe dovuto produrre una breve relazione in cui sarebbe stato presentato l'oggetto assemblato, spiegando le scelte tecniche effettuate per illustrare ad una ipotetica commissione valutatrice quali principi fisici fossero alla base di tali scelte. La stesura della relazione di per sé non sarebbe previsto dal CBL, ma è stato ritenuto opportuno farla realizzare per provare a coinvolgere gli allievi nella ricerca di informazioni e per limitare l'approccio, poco consapevole, che mira esclusivamente al risultato senza adeguate basi teoriche. La valutazione avrebbe tenuto conto sia dell'oggetto realizzato, secondo criteri specifici di ogni challenge che verranno illustrati in seguito, sia della relazione, valutata in base del linguaggio utilizzato, alla completezza delle informazioni e alla chiarezza espositiva; sarebbe stata quindi una valutazione di gruppo. Per aumentare il livello di autoconsapevolezza e di autonomia all'interno dei gruppi, non sono stati assegnati ruoli specifici, ma è stato chiarito che l'insegnante avrebbe dato un voto a ciascun gruppo, che non avrebbe dovuto necessariamente essere uguale per tutti i suoi componenti: ogni gruppo, infatti, avrebbe potuto proporre all'insegnante, dopo averne discusso, una valutazione ai singoli componenti che rispettasse il voto medio del gruppo inizialmente assegnato. In questo modo gli allievi avrebbero avuto l'opportunità di riflettere sul proprio lavoro e su quello dei compagni di gruppo. La particolarità di questo approccio didattico rispetto ai due precedenti è la sfida tra i gruppi che ha reso la lezione più partecipata ed ha aumentato l'impegno nel trovare le soluzioni migliori. È stato scelto di formare gruppi composti da 3 o 4 componenti affinché anche in caso di

assenza di qualche allievo³³ il lavoro del gruppo potesse andare avanti. Nonostante questo accorgimento in 2 classi su 4 è stato necessario accorpate due gruppi per non lasciare gli studenti a fare un lavoro di gruppo in solitudine. Non è stato opportuno comporre gruppi più numerosi per limitare gli studenti che avrebbero partecipato solo marginalmente alla fase di redazione della relazione.

I tempi per questa modalità didattica sono stati leggermente più lunghi rispetto alle altre tipologie, in quanto sono state necessarie due lezioni iniziali per la spiegazione del lavoro da fare, per la suddivisione nei gruppi e per fare in modo che ogni gruppo facesse le opportune ricerche per la realizzazione di quanto richiesto. Durante le prime 4 ore in aula gli allievi hanno anche iniziato ad appuntare le idee e a stilare un elenco di materiali necessari per la successiva fase realizzativa. La seconda fase è stata svolta in una giornata di laboratorio da sei ore, in cui gli studenti hanno realizzato gli oggetti, è stata svolta la challenge vera e propria ed è stato possibile iniziare la scrittura della relazione finale. L'ultima fase, nuovamente in aula, è stata una lezione da due ore in cui gli studenti hanno terminato e consegnato la relazione e si sono confrontati sulla valutazione. Queste fasi hanno portato a 12 il numero di ore necessarie per questa modalità didattica per tutte le classi eccetto la I biennale che in laboratorio ha utilizzato una lezione da 8 ore, portando il totale a 14.

Un limite importante di questo tipo di lezioni è che rende molto facile la distrazione e le perdite di tempo dovute a ricerche non coerenti con l'argomento. Gli studenti, soprattutto i più giovani, dovevano essere richiamati e riportati al lavoro di gruppo a causa del fatto che la libera ricerca di informazioni spesso veniva accantonata per dare uno sguardo a qualche social con relativo commento ai compagni di classe. Questo atteggiamento è dovuto ad una scarsa autonomia degli studenti e denota tipicamente una richiesta di istruzioni più dettagliata perché nella vastità di informazioni reperibili online tendono a perdersi e a non sapere cosa cercare né come cercarlo. Inoltre, gli studenti si sono soffermati a cercare informazioni di poco conto e hanno utilizzato una grande quantità di tempo per questioni marginali, senza invece riuscire a cogliere quali potessero essere le informazioni importanti e a concentrare il proprio lavoro su quelle.

In questo tipo di lezioni sono emerse diverse difficoltà di comunicazione tra gli allievi, problematica già evidenziata nel paragrafo 3.4.2a (ed in Jiang & McComas, 2015). All'interno dei gruppi autogestiti, in assenza della guida dell'insegnante, si sono

³³ Nei corsi di formazione professionale il problema della frequenza scolastica è reale ed importante soprattutto per le classi più giovani, questo è un secondo fattore, oltre al già citato della presenza di ragazzi in apprendistato di primo livello per le classi in uscita, che influisce sul numero di studenti presenti in classe.

manifestate comunicazioni asimmetriche dovute sia alla presenza di leader naturali, le cui voci risultavano più influenti, sia alle diverse velocità di ragionamento degli studenti. Per questi motivi le conversazioni sono spesso risultate disorganizzate, causando anche in queste lezioni molte discussioni relative a questioni marginali. Un aspetto particolare ha riguardato gli studenti di origine marocchina ed egiziana: a causa delle difficoltà nella comprensione della lingua italiana, alcuni gruppi, composti interamente da questo tipo di studenti, hanno iniziato a comunicare in arabo. Sebbene questa pratica sia generalmente sconsigliata all'interno della scuola, quando ripresi dall'insegnante gli studenti hanno giustificato la scelta spiegando che, dovendo utilizzare terminologia complessa, riuscivano a comprendersi meglio nella loro lingua d'origine.

4.3.1 Cinematica in I triennale e in II biennale

La challenge in queste due classi era quella di costruire un supporto che consentisse ad un uovo di cadere dal secondo o terzo piano del centro di formazione, rispettivamente misurati in 7,9 e 10,6 metri, senza subire danni.

In entrambe le classi, dopo l'introduzione al CBL, sono stati spiegati agli studenti i criteri per determinare il gruppo vincitore della sfida, che in ordine di importanza erano: l'integrità dell'uovo dopo entrambi i lanci, la qualità costruttiva del dispositivo di protezione e l'originalità e l'innovazione del progetto. Sono stati inoltre illustrati i criteri di valutazione della relazione finale, evidenziando alcuni argomenti fondamentali da includere, come il moto uniformemente accelerato, la resistenza dell'aria e l'accelerazione di gravità. Al termine della spiegazione, gli studenti hanno iniziato a confrontarsi nei rispettivi gruppi sulle prime ipotesi per proteggere l'uovo, anche consultando online informazioni, istruzioni e video. Durante la seconda lezione, molti gruppi hanno richiesto un feedback sui loro progetti all'insegnante, che ha fornito suggerimenti pratici evidenziando gli aspetti da migliorare e hanno poi preparato un elenco dei materiali necessari, verificandone la disponibilità o programmandone il reperimento per la successiva lezione in laboratorio.

La lezione successiva si è svolta in laboratorio, dove gli studenti hanno avuto l'opportunità di mettere in pratica le idee e i progetti elaborati durante le lezioni introduttive. Questa fase è stata caratterizzata da un intenso lavoro di gruppo, in cui ciascun partecipante ha contribuito attivamente alla realizzazione del dispositivo pensato per proteggere l'uovo durante la caduta. Alcuni gruppi hanno optato per progettare rudimentali paracaduti, puntando a rallentare la discesa dell'uovo e hanno valutato l'utilizzo di diversi materiali, come sacchetti di plastica e carta per costruire il paracadute più efficace possibile, scegliendo tutti successivamente di realizzarlo utilizzando la plastica di buste di nylon o di sacchetti dell'immondizia perché a parità di peso avrebbe offerto una superficie maggiore e sarebbe stato tecnicamente più semplice da realizzare. Altri gruppi, invece, hanno scelto di concentrare i propri sforzi sulla protezione dell'uovo durante l'impatto con il suolo, ricercando informazioni legate all'assorbimento degli urti. Per fare ciò, hanno avvolto l'uovo con materiali in grado di assorbire gli urti, come carta di giornale, spugne, indumenti, pluriball e polistirolo. Gli studenti hanno valutato quali potessero offrire la migliore protezione senza aggiungere peso eccessivo al dispositivo e si sono svolte discussioni animate sulle diverse tecniche di imballaggio e sulla loro efficacia nel proteggere oggetti fragili.

L'attività ha coinvolto otto gruppi, quattro per ogni classe, di cui sei hanno realizzato una struttura simile ad un paracadute, utilizzando in tre casi delle buste di plastica e negli altri tre dei sacchi dell'immondizia opportunamente aperti. In questi progetti, la protezione dell'uovo è stata realizzata con materiali ammortizzanti di uso comune: alcuni hanno scelto spugne da cucina, altri carta di giornale, altri ancora hanno impiegato vari tipi di tessuti. Gli altri due gruppi hanno sviluppato soluzioni più creative: un gruppo ha ideato un sistema basato su una struttura sferica composta da multipli guanti di lattice da cucina gonfiati con aria e ha fissato l'uovo al centro della struttura con nastro isolante; l'altro ha creato un sistema di protezione a strati multipli in cui l'uovo è stato prima avvolto nel pluriball, poi inserito in un guanto di lana e successivamente collocato in una scatola di cartone riempita con polistirolo sbriciolato. Il tutto è stato ulteriormente protetto inserendolo dentro lo zaino di un componente del gruppo, avvolto dalla sua stessa giacca (Figura 11).



Figura 11 – Alcune fotografie della realizzazione dei progetti degli studenti per il CBL di cinematica.

In laboratorio gli studenti si sono dimostrati intraprendenti e collaborativi, hanno utilizzato diversi strumenti come forbici, nastro adesivo e colla per assemblare i loro dispositivi, mentre alcuni hanno anche realizzato test preliminari, senza uovo, per verificare l'efficacia delle loro creazioni. In questa fase si è creato un buon livello di partecipazione ed interesse e ogni gruppo era motivato a superare la sfida e a dimostrare l'efficacia del proprio progetto. Durante la fase di realizzazione, gli studenti hanno inoltre iniziato a riflettere sulle scelte fatte e sulle possibili migliorie da apportare, chiedendo in alcuni casi il supporto del docente.

La fase dei lanci ha rappresentato il momento di maggiore interesse e partecipazione da parte degli studenti, desiderosi di verificare l'efficacia delle loro realizzazioni. Degli otto gruppi partecipanti, tre dispositivi non hanno preservato l'integrità dell'uovo durante il primo lancio, due hanno fallito al secondo tentativo, mentre i rimanenti tre hanno superato con successo entrambe le prove (dei tre vincitori, un gruppo era di I triennale e due di II biennale). Tra i progetti risultati efficaci, due erano equipaggiati con un

paracadute abbinato ad un rivestimento ammortizzante leggero intorno all'uovo, mentre il terzo era costituito da molteplici strati di materiali diversi avvolti intorno all'uovo con il semplice scopo di assorbire l'urto con il suolo (Figura 12).

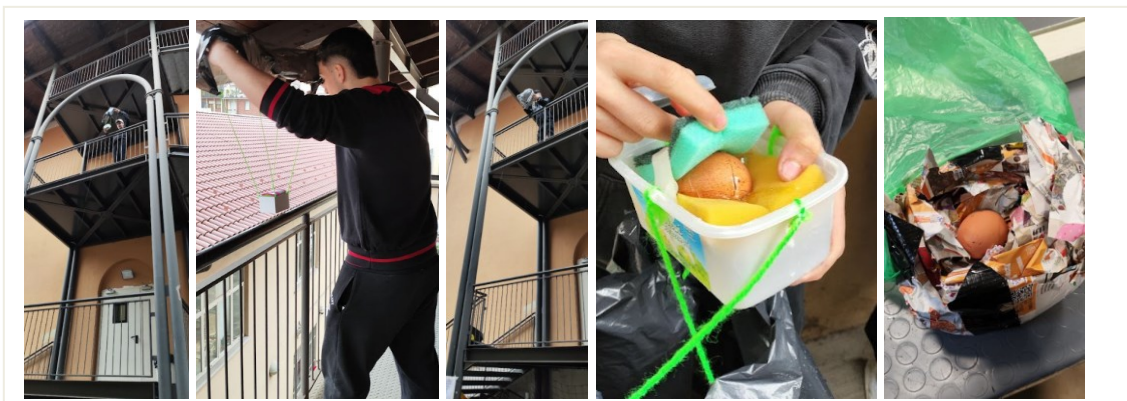


Figura 12 – Alcune fotografie del momento dei lanci e del controllo dell'integrità dell'uovo.

La lezione conclusiva si è svolta in aula, dove gli studenti hanno avuto l'opportunità di completare e presentare le relazioni sui progetti realizzati durante il laboratorio. All'inizio della lezione, gli studenti sono stati invitati a riflettere su quali aspetti del loro progetto avessero funzionato bene e quali avrebbero potuto essere migliorati, soprattutto per i gruppi che hanno danneggiato l'uovo. Nel corso della lezione hanno quindi terminato le relazioni, che includevano la descrizione del dispositivo, le scelte tecniche effettuate e la spiegazione dei principi fisici coinvolti nel processo di caduta.

L'ultima fase, quella della valutazione, ha inizialmente sorpreso gli studenti, poco abituati all'autovalutazione e alla valutazione tra pari: dopo un momento iniziale di confusione, quasi tutti i gruppi sono riusciti a differenziare in maniera corretta le valutazioni, assegnando di comune accordo voti più alti agli studenti che erano stati più determinanti nella realizzazione del progetto e della relazione. La differenza di età tra le classi si è manifestata chiaramente: i gruppi della I triennale, più giovani, hanno proposto voti più omogenei tra loro, evitando di assegnare insufficienze ai componenti del gruppo. I gruppi della II biennale sono stati invece più oggettivi, arrivando ad assegnare una valutazione insufficiente a tre studenti.

4.3.2 Termologia in I biennale e in II triennale

La challenge di termologia prevedeva di confrontarsi attraverso la progettazione e la costruzione di una scatola isolante con funzione di borsa frigo. L'obiettivo di ogni gruppo era quello di mantenere dei cubetti di ghiaccio il più a lungo possibile all'interno della loro costruzione. È stato spiegato loro che la valutazione si sarebbe basata principalmente sulla durata della conservazione del ghiaccio, con un'attenzione particolare anche all'originalità della costruzione e sono stati anche esplicitati i criteri di valutazione della relazione, con la raccomandazione di includere, in questo caso, i concetti di equilibrio termico, di trasferimento di calore e, naturalmente, di isolamento e conduzione termica. Durante le lezioni in aula, gli studenti hanno lavorato in gruppi, concentrandosi inizialmente sulla scelta dei materiali più adatti per la costruzione e l'isolamento termico della scatola. Un aspetto che ha generato particolare interesse e dibattito è stato l'utilizzo dei fogli di alluminio, poiché gli studenti si sono trovati di fronte a un apparente paradosso: nella loro esperienza quotidiana utilizzavano l'alluminio per mantenere caldi i cibi, ma le loro ricerche su internet rivelavano che l'alluminio, essendo un metallo, è un buon conduttore di calore, quindi non adatto a costruire una scatola isolante. Questo ha portato ad una proficua discussione con l'insegnante riguardo all'efficacia dell'alluminio come materiale isolante e al suo corretto posizionamento nella struttura, come copertura esterna o fodera interna. Inoltre, la questione ha fornito un'opportunità per affrontare già in queste prime lezioni i principi fisici che regolano i diversi processi di propagazione del calore, in particolare l'assorbimento e l'irraggiamento, e per analizzare come i metalli si comportino in modo differente in queste circostanze.

Considerando il fatto che per poter controllare la condizione del ghiaccio sarebbe stato necessario aprire le scatole ad intervalli di tempo regolari, uno dei gruppi di I biennale ha dimostrato particolare creatività, pensando di aggiungere al loro progetto un'apertura nella parte superiore della scatola, realizzata in polistirolo, chiusa da due fogli di plastica trasparente per creare una camera d'aria. Questa soluzione avrebbe permesso di monitorare le condizioni del ghiaccio senza dover aprire la scatola, riducendo molto le dispersioni di calore. Questa idea è piaciuta molto anche agli altri due gruppi, tanto che la stessa apertura è stata praticata in tutte le scatole di quella classe. Un'altra scelta tecnica interessante è stata quella di un altro gruppo che ha creato due scatole da inserire una all'interno dell'altra, creando così un'intercapedine in cui inserire altro ghiaccio (Figura 13).



Figura 13 – Alcune fotografie dei progetti della I biennale per il CBL di termologia. A sinistra sono visibili i tre progetti, a destra un particolare dell'intercapedine con il ghiaccio.

In Il triennale sono stati creati cinque gruppi che hanno presentato approcci diversificati: due di essi hanno portato da casa un thermos, uno è stato rivestito di alluminio, l'altro invece con un panno bagnato, a sua volta rivestito di alluminio e riposto dentro una borsa frigo specifica per bottiglie. Un terzo gruppo ha scelto di utilizzare una borsa frigo tradizionale, pre-raffreddata in congelatore, con all'interno un bicchiere rivestito di alluminio, invece il quarto gruppo ha costruito una scatola incollando pannelli di polistirolo con la colla a caldo e rivestiti internamente di alluminio. Particolarmente curiosa è stata la scelta dell'ultimo gruppo che, avendo scoperto da ricerche sul web che le lattine delle bibite gasate vengono spesso ricoperte da uno strato di polimero isolante, ha utilizzato una lattina come contenitore, modificata tagliando la parte superiore per poter inserire il ghiaccio e rivestendola sia internamente che esternamente con fogli d'alluminio (Figura 14).



Figura 14 – Alcune fotografie dei progetti della II triennale per il CBL di termologia. Nella foto di sinistra sono visibili tutti i progetti, nelle foto di destra alcuni particolari.

In I biennale, classe che ha avuto bisogno di più tempo per ultimare i progetti, sono stati inseriti due cubetti di ghiaccio in ogni scatola alle 11,15, dando inizio al test. Dopo due ore, tutti i gruppi mostravano un livello di fusione del ghiaccio simile. Alle 14,15 hanno iniziato ad emergere le prime differenze tra i tre progetti: in un gruppo il ghiaccio si era quasi interamente trasformato in acqua e rimaneva circa mezzo cubetto, nel secondo i due cubetti si erano sciolti a metà e nel terzo entrambi i cubetti erano ancora ben visibili

con poca acqua presente. Un'ora più tardi, il terzo gruppo manteneva condizioni pressoché invariate, mentre negli altri due il ghiaccio era quasi completamente o del tutto sciolto. È stato chiaro anche per gli allievi quale fosse a questo punto il gruppo vincitore. All'ultimo controllo delle 17:15, solo il gruppo vincitore conservava ancora del ghiaccio. Due cubetti di ghiaccio sono anche stati inseriti dentro le scatole dei cinque gruppi della triennale alle 9,50, poiché i progetti di questa classe hanno richiesto meno tempo per la preparazione grazie al maggior lavoro svolto autonomamente a casa e all'utilizzo di oggetti già pronti. Dopo un'ora e mezza, tre gruppi mostravano evidenti segni di fusione con presenza di acqua nei rispettivi contenitori, mentre due gruppi presentavano risultati migliori, con uno in particolare che manteneva i cubetti quasi nelle condizioni iniziali. Alle 13,50, dopo quattro ore, i primi tre gruppi avevano il ghiaccio completamente sciolto, i due rimanenti avevano una situazione tra loro opposta: uno presentava una fusione completa e l'altro manteneva ancora entrambi i cubetti ben visibili con minima presenza di acqua.

Durante le ore di laboratorio, si è presentata la necessità di gestire in modo efficace il tempo che intercorreva tra i vari controlli dello stato del ghiaccio, per questo motivo sono stati strutturati due momenti didattici distinti. Il primo è stato dedicato al ripasso dei concetti teorici relativi ai fenomeni di trasferimento del calore e dell'equilibrio termico principalmente da un punto di vista qualitativo, permettendo agli studenti di collegare la teoria all'esperimento pratico che stavano conducendo. La seconda parte dell'attività si è concentrata sull'analisi dettagliata dei progetti realizzati. Ogni gruppo ha presentato le scelte tecniche effettuate per la costruzione della propria scatola isolante alla classe, illustrando i materiali utilizzati. È stata condotta un'analisi approfondita di ciascuna soluzione, stimolando una discussione costruttiva sui punti di forza e di debolezza di ogni progetto nella quale gli studenti sono stati guidati nell'identificazione degli elementi che favorivano la conservazione del ghiaccio, come per esempio l'efficacia dei diversi strati isolanti o la presenza di intercapedini, e quelli che invece ne acceleravano la fusione, come le aperture non necessarie o i materiali conduttivi non adeguatamente isolati. Questo processo di analisi aveva lo scopo di fare sviluppare agli studenti un pensiero critico sulle proprie scelte tecniche per aiutarli alla redazione della relazione finale.

Nella lezione conclusiva gli studenti hanno terminato le relazioni aggiungendo quanto analizzato durante la lezione in laboratorio e dopo averla consegnata ed aver ricevuto la valutazione, hanno affrontato la fase di autovalutazione e di differenziazione dei voti all'interno di ogni gruppo. Anche in queste classi, dopo un iniziale momento di smarrimento gli studenti sono riusciti ad assegnarsi correttamente una valutazione che teneva conto dell'impegno di ognuno, in maniera analoga alle classi della challenge di cinematica.

5 - Analisi dei risultati

Tramite il confronto dei risultati del test iniziale, di quello post-insegnamento e di quello proposto a fine anno, nei prossimi paragrafi si approfondiranno le differenze statistiche tra i tre metodi oggetto di sperimentazione. I risultati saranno proposti con la suddivisione per metodo di lezione, aggregando i dati delle classi in cui si è utilizzata la stessa modalità ma tenendole separate per argomenti. La scelta di non considerare una classe alla volta è stata presa per poter avere maggiore numerosità campionaria e per poter utilizzare metodi statistici di analisi dei dati ed è supportata dal fatto che tutti gli allievi della scuola avevano le stesse conoscenze di partenza e che le lezioni sono state svolte allo stesso modo, come riportato nel cap. 3.

I dati saranno analizzati utilizzando più indicatori: una prima informazione viene acquisita dalla semplice differenza percentuale di risposte esatte, assumendo come condizione di partenza il pre-test e confrontando il suo risultato sia con il post-test somministrato al termine delle lezioni sia con quello somministrato a fine anno e sarà utile per avere indicazioni legate all'apprendimento concettuale dei fenomeni cinematici e termodinamici. Un secondo indicatore sarà il guadagno educativo normalizzato percentuale, che mostra l'aumento netto percentuale delle risposte corrette degli studenti, sulla base del miglioramento possibile, che è calcolato considerando la differenza di risposte corrette in percentuale tra il test post ed il test pre-lezione, diviso la percentuale di risposte errate nel pre-test, secondo questa formula:

$$GE\% = \frac{\% \text{ post} - \% \text{ pre}}{1 - \% \text{ pre}}$$

Inoltre, per valutare la significatività dei risultati dei test, verrà

eseguito un t-test che confronterà i risultati dei due post-test con quello del pre-test, in modo da valutare se i risultati siano statisticamente rilevanti o potrebbero essere conseguenza di fluttuazioni casuali.

Prima di analizzare i risultati, è bene esplicitare alcune scelte metodologiche che sono state prese: nella trattazione successiva non verrà fatta distinzione tra le singole classi che hanno affrontato lo stesso argomento allo stesso modo se i risultati non mostrano differenze significative, ma verranno tuttavia citati ed analizzati alcuni risultati di qualche classe che mostrano aspetti particolari, così come verrà esplicitato in quali casi le risposte di una delle classi mostrano incongruenze tali da dover rigettare i dati raccolti.

Nell'analisi dei risultati dei due post-test è inoltre fondamentale considerare la dimensione significativamente ridotta del campione rispetto al test iniziale, ogni modalità didattica coinvolge infatti circa un terzo degli allievi originali (le coppie di classi sono composte da un minimo di 22 a 34 allievi). Questa riduzione del campione impone particolare cautela nell'interpretazione delle variazioni percentuali: le fluttuazioni inferiori all'8% non vengono considerate significative in quanto corrispondono a variazioni di meno di due allievi su 25, mentre differenze percentuali inferiori al 4%, equivalenti a meno di un allievo su 25, vengono ritenute trascurabili. Tale precisazione risulta essenziale poiché, in campioni ridotti, le scelte individuali di uno o due studenti possono determinare oscillazioni percentuali apparentemente rilevanti che, tuttavia, non riflettono una reale significatività statistica del cambiamento osservato. Un'ultima considerazione necessaria è la seguente: nel calcolo delle percentuali del pre-test di ogni modalità didattica è stato scelto di considerare i dati ottenuti dai questionari di tutti gli allievi, senza effettuare distinzioni per le classi che hanno beneficiato della stessa modalità didattica. La motivazione che ha portato a questa scelta è nuovamente legata alla necessità di poter utilizzare un campione maggiore di allievi in modo da poter confrontare i dati dei test post-lezioni con percentuali pre-lezioni maggiormente significative. Questa scelta è stata presa dopo aver controllato che le medie dei punteggi del pre-test nelle coppie di classi, che hanno svolto lezione sullo stesso argomento ma in modo diverso, non sono eccessivamente diverse dalla media generale di risposte corrette, tale differenza percentuale è infatti sempre inferiore all'1,5%, percentuale che non influisce in alcun modo sull'analisi delle risposte corrette nelle singole domande, ma che varia di qualche punto percentuale il GE relativo ad ogni sperimentazione didattica, per il calcolo del quale è stato utilizzato il dato riferito alle classi coinvolte e non quello generale di tutti gli studenti.

5.1 Lezione frontale

5.1.1 Cinematica

I test sulla cinematica indicano che le risposte corrette medie passano da 1,36, a 2,18 nel test dopo le lezioni per poi scendere a 2,00 nel test finale. Questi valori portano ad un GE di 12,3% nel primo e di 9,6% nel secondo dei due post-test, a cui è associato un p-value del t-test nel primo caso di 0,0228 e nel secondo di 0,0744, quindi uno al di sopra ed uno al di sotto del livello di significatività $\alpha = 0,05$. È quindi necessario effettuare due valutazioni diverse per i due casi: sul primo test si può affermare che ha una buona rilevanza statistica (la probabilità di avere questi risultati in maniera casuale è del 2,28%) pertanto l'aumento di comprensione concettuale, seppur esiguo, è avvenuto. I risultati del secondo test, però, mostrano che sul lungo periodo questo aumento di comprensione perde efficacia ma soprattutto perde la caratteristica di essere rilevante statisticamente, con una probabilità del 7,44% che questi dati siano casuali. Tecnicamente quindi non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla per il secondo post-test; tuttavia, alla luce del risultato del primo è possibile affermare che l'azione didattica ha sicuramente avuto un impatto significativo, che nel tempo potrebbe non essersi mantenuto tale. Nel grafico (Grafico 20) è possibile confrontare le percentuali di risposte ad ogni domanda del questionario, che verranno analizzate in seguito.

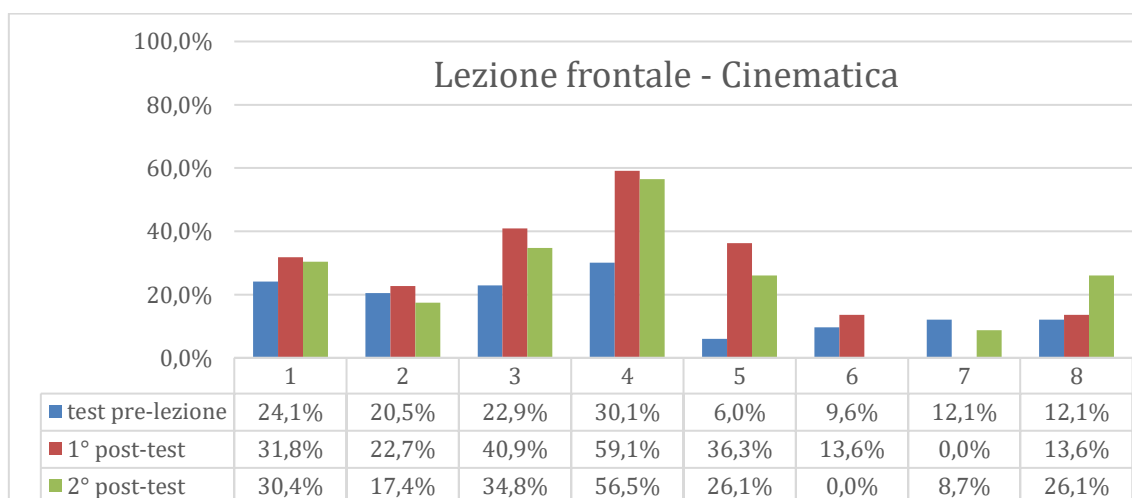


Grafico 20 – Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni frontali di cinematica.

Confrontando i singoli item dei test, ci sono alcune differenze che è interessante approfondire:

Le prime due domande, sulle due palle metalliche di peso diverso in caduta libera (la prima) e dopo il rotolamento sul tavolo (la seconda) hanno avuto un risultato lievemente differente: come si può osservare dal grafico comparativo (Grafico 21) la prima domanda nel pre-test aveva avuto una percentuale di risposte corrette del 24,1%, migliorata lievemente nei due test post-lezioni al 31,8% e 30,4%, mentre la seconda inizialmente aveva il 20,5% di risposte corrette, migliorata marginalmente nel primo dei due successivi al 22,7% e peggiorata altrettanto marginalmente nel secondo al 17,4%, tanto da poterle considerare entrambe invariate rispetto al pre-test.

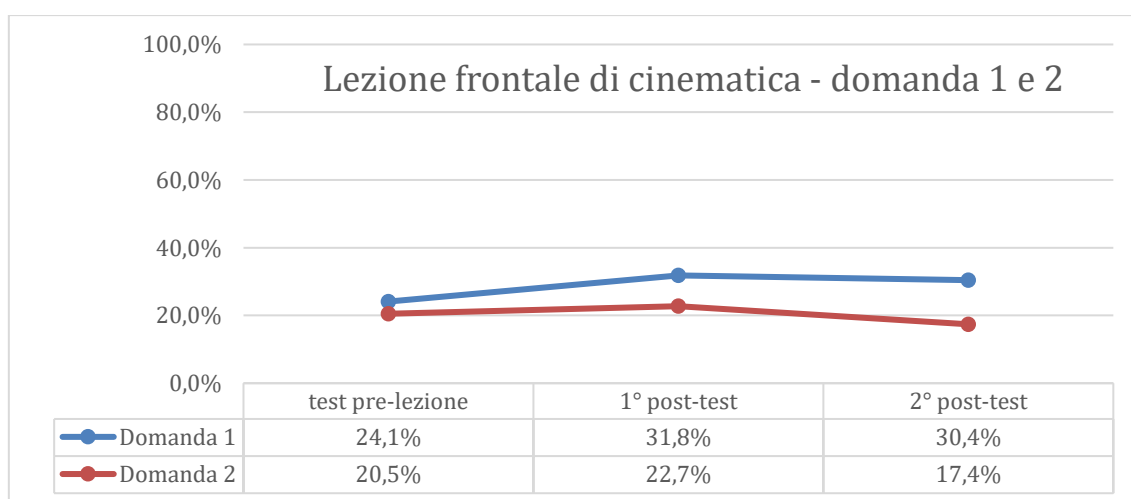


Grafico 21 – Comparazione delle risposte alle domande 1 e 2 di cinematica successive alla lezione frontale.

Permangono, in entrambe le domande, misconcezioni legate all'influenza del peso sul tempo di caduta, dimostrate dal fatto che il 40,9% nella prima domanda ed il 56,5% di studenti nella seconda domanda attribuiscono alla palla più pesante un tempo di caduta più breve o una distanza orizzontale inferiore (percentuali che nei test a fine anno sono rispettivamente del 45,4% e del 73,9%).

Nella domanda numero 3, relativa alla pietra lasciata cadere da un edificio di un piano, è invece evidente il miglioramento legato alle lezioni in aula, con la risposta corretta che prevede che la velocità cresca a causa di un'accelerazione di gravità costante verso il basso scelta dal 40,9% degli studenti nel test successivo alle lezioni e dal 34,8% nel test a fine anno. Il risultato nel pre-test era del 22,9%. Anche le motivazioni scritte della risposta scelta sono migliorate, con un numero maggiore di spiegazioni corrette come: "L'accelerazione della gravità è di $9,81 \text{ m/s}^2$ quindi la pietra avrà questa accelerazione costante", "Perché la pietra accelera continuamente durante la caduta a causa della forza di gravità, che è praticamente costante", oppure "La forza gravitazionale è costante

e perciò l'accelerazione sarà costante, per più tempo la pietra viene lasciata cadere e più la sua velocità aumenterà". Permangono tuttavia alcune risposte da cui è facile intuire che in alcuni casi la confusione tra velocità ed accelerazione sia ancora presente, come: "Perché la velocità della gravità è quasi sempre costante", oppure "La pietra cade con un'accelerazione costante che è 9,81 ovvero l'accelerazione gravitazionale quindi a un certo punto anche la sua velocità rimarrà costante". Sono presenti anche alcune risposte che mostrano una parziale comprensione: in questo caso lo studente ricorda il valore di g , ma compie un ragionamento errato scrivendo "perché l'attrazione gravitazionale è 9,81 ma ogni secondo che passa si raddoppia", frutto di una confusione dovuta al fatto che in classe è stato detto che in caduta libera la velocità del sasso aumenta di 9,81 m/s per ogni secondo in cui cade.

La domanda numero 4, relativa alla palla di cannone sparata da un'altura della quale era necessario indicare la traiettoria corretta, riporta risposte decisamente migliori: nel test immediatamente successivo alle lezioni la percentuale di risposte corrette è salita al 59,1% e nel test finale al 56,5%. Queste percentuali sono particolarmente significative, soprattutto se confrontate con quella del test iniziale, che si attestava al 30,1%. Un secondo dato significativo è che tutti gli studenti, che nel test post-lezione hanno dato una risposta non corretta, hanno dato la risposta C, che presenta una traiettoria molto simile a quella corretta se non per un breve tratto iniziale rettilineo. Questo, mantenendo valide le considerazioni nel capitolo 4.1 per quanto riguarda la risposta C, rende ancor più evidente il miglioramento complessivo perché è relativo ad una traiettoria che potrebbe essere stata confusa con quella corretta per questioni grafiche e non concettuali. In questo caso l'apprendimento sembrerebbe significativo alla luce della percentuale di risposte corrette nel secondo post-test, somministrato a fine anno, in cui l'87,0% degli studenti ha risposto correttamente (risposta B) o con la risposta C.

La quinta domanda era quella che nel test precedente alle lezioni aveva ottenuto il risultato peggiore, solo il 6,0% degli studenti infatti aveva risposto correttamente. Anche in questo caso le lezioni hanno migliorato il riconoscimento della traiettoria della palla da bowling che cade dalla stiva di un aereo, pur non ottenendo risultati alti come nella risposta precedente, ma ricalcando lo stesso andamento, come si può vedere dal grafico comparativo (Grafico 22). Il 36,3% degli allievi ha selezionato la traiettoria corretta nel test post-lezione e la stessa risposta è stata confermata dal 26,1% di essi a fine anno. In questo caso alcune misconcezioni si sono rivelate resistenti all'istruzione, infatti la traiettoria parabolica in direzione opposta al moto dell'aereo è stata scelta dal 22,7% degli studenti nel test post-lezione (erano il 51,8% nel test preliminare e saranno il 34,8% a fine anno), la traiettoria rettilinea verso il basso dal 27,3% (erano il 34,9% nel test preliminare e saranno il 30,4% a fine anno) e quella obliqua nella direzione del moto dal

13,6% (erano il 6,0% nel test preliminare e saranno l'8,7% a fine anno), mentre la risposta che prevedeva un tratto iniziale nella direzione dell'aereo non è mai stata scelta, coerentemente con quanto risposto nella domanda precedente.

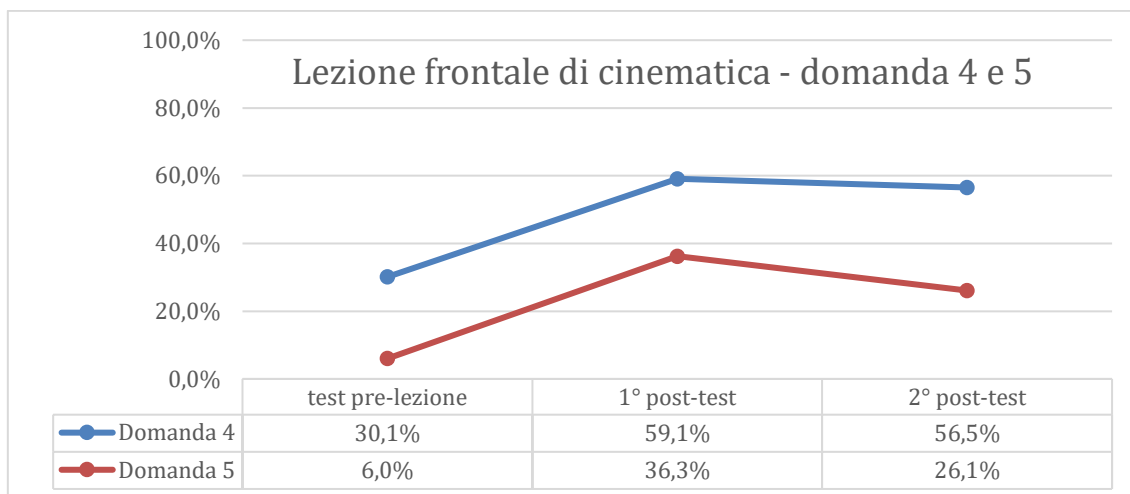


Grafico 22 – Comparazione delle risposte alle domande 4 e 5 di cinematica successive alla lezione frontale.

Anche in questo caso le spiegazioni fornite dagli studenti sulle eventuali differenze sono qualitativamente migliori, ad esempio: “Contando la forza di gravità che spinge l'oggetto in questione verso il centro della terra e la velocità che ha assunto grazie all'aereo, la palla cadrà in avanti”, che dimostra la corretta comprensione della composizione dei moti, oppure “[tra le domande del cannone e dell'aereo] la differenza non c'è” che sottolinea l'equivalenza cinematica delle due traiettorie. Come è lecito aspettarsi, permangono le giustificazioni delle misconcezioni relative alle risposte errate come: “nella palla da bowling abbiamo solo una forza che è quella gravitazionale mentre nella palla di cannone abbiamo due forze che agiscono”, “La differenza è che nel cannone la palla viene spinta in avanti, invece l'aereo in movimento fa cadere la palla che poi viene spinta leggermente indietro dall'aria”, oppure “nella domanda 5 la palla viene lasciata cadere senza nessuna spinta e quindi cade perpendicolare al terreno”.

Le ultime tre domande, quelle relative all'accelerazione di una moneta lanciata verso l'alto, vedono alcuni risultati interessanti: nella domanda riguardante la fase ascendente della moneta la percentuale di risposte corrette a fine lezioni è stata del 13,6% e dello 0% a fine anno (la percentuale di risposta “l'accelerazione è verso l'alto e diminuisce” è stata scelta nel 48,2% dei casi nel pre-test, nel 36,4% dei casi nel test post lezione e nel 47,8% nel test a fine anno); nella domanda relativa all'istante in cui la moneta si trovava al culmine della traiettoria le risposte corrette che erano del 12,1% nel pre-test, sono state lo 0% nel test post-lezione e l'8,7% a fine anno (invece la risposta che indicava l'accelerazione pari a zero è stata scelta nel 38,6% dei casi nel pre-test, nel 54,5% dei

casi nel post-lezione e nel 52,2% dei casi a fine anno); nella domanda in cui la moneta si trovava nella fase discendente le risposte corrette, che nel pre-test erano il 12,1%, sono state il 13,6% nel test post-lezione e il 26,1% in quello a fine anno (mentre “l’accelerazione è verso il basso ed aumenta” è stata scelta nel 71,8% dei casi nel pre-test, nel 72,7% dei casi nel test post-lezione e nel 65,2% dei casi a fine anno). Nel grafico sottostante è possibile confrontare le percentuali di risposte corrette, in blu, con quelle relative alla risposta errata legata alla possibile confusione con la velocità, in rosso (Grafico 23)

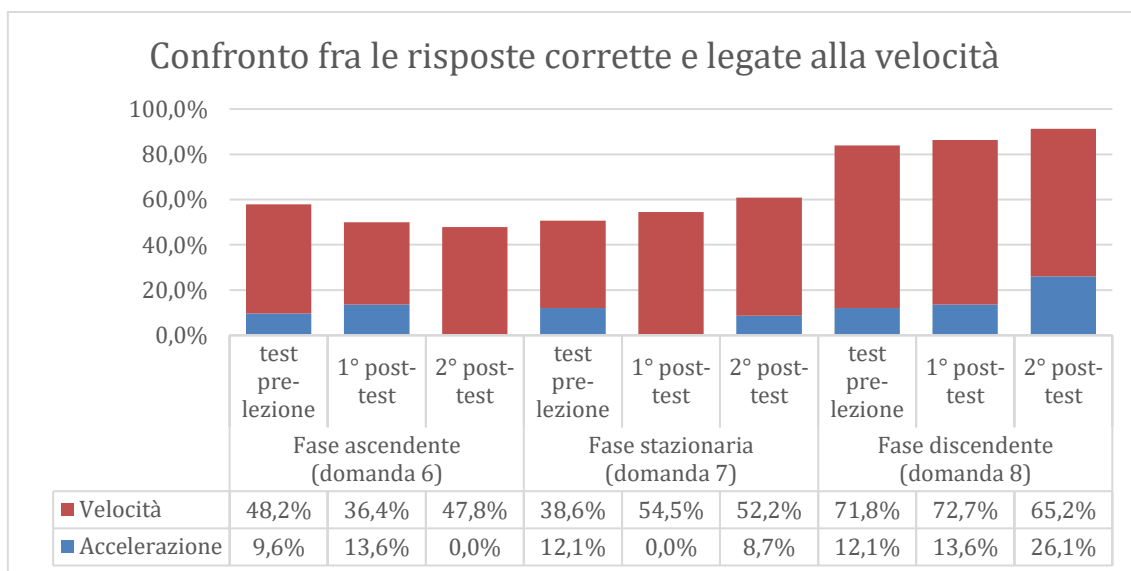


Grafico 23 – Confronto tra le risposte corrette (“Accelerazione”) e quelle legate all’identificazione di questa grandezza con la velocità (“Velocità”) dopo la lezione frontale, divise in funzione della fase del lancio e del test a cui si riferiscono.

Questi risultati sono particolarmente preoccupanti perché indicano che la lezione frontale non riesce ad essere determinante nella differenziazione delle due grandezze e tale difficoltà, oltre ad essere evidente dal fatto che la percentuale maggiore di risposte è quella relativa al distrattore della confusione tra velocità ed accelerazione, è visibile anche nelle descrizioni del moto che gli studenti scrivono, ad esempio: “Secondo me quando la moneta viene lanciata la sua accelerazione è verso l’alto ed aumenta, grazie all’energia impiegata per lanciarla, quando raggiunge il suo punto massimo non c’è accelerazione e quindi è zero, ma rimane zero per pochi millesimi di secondo, fino a quando la forza di gravità interviene e quindi la respinge verso il basso e la sua accelerazione quindi aumenta ed è verso il basso”, oppure “Quando la moneta viene lanciata ha una accelerazione verso l’alto dovuta alla forza con la quale è stata lanciata, in più ha l’accelerazione gravitazionale che la attrae verso terra, ecco perché l’accelerazione verso l’alto quando la moneta sta salendo diminuisce, mentre quando sta scendendo interviene la forza gravitazionale che essendo costante mantiene

l'accelerazione costante e di conseguenza la velocità aumenta". Sono inoltre evidenti le consuete misconcezioni relative all'impetus: "La moneta viene lanciata con una forza e va verso l'alto fino a quando la forza si azzerava per poi andare verso il basso tutto grazie alla forza di gravità", alla selettività della forza di gravità che agisce solo nei moti verso il basso: "all'inizio la moneta raggiunge una certa velocità per la forza che gli diamo lanciandola, quando arriva al punto più alto e poi ricade giù è lì che inizia l'accelerazione", alla sovrastima della resistenza dell'aria "Una volta lanciata la moneta verso l'alto essa accelera fino a quando l'attrito non sovrasta l'accelerazione, a quel punto la moneta si ferma per qualche millisecondo e poi viene attratta di nuovo verso il centro della terra", ed infine all'accelerazione esistente solo in caso di movimento effettivo "man mano che sale la forza di gravità spinge la moneta verso terra facendole perdere velocità, quando raggiunge il punto più alto non ha nessun tipo di accelerazione, quando inizia a scendere l'accelerazione è verso il basso".

In conclusione, volendo riassumere i risultati dell'apprendimento mediante lezione frontale sulla base degli argomenti oggetto di ogni domanda, possiamo affermare che potrebbe esserci stato un apprendimento significativo (ricordo che il valore del t-test non permette di parlare di certezze per il questionario svolto a fine anno) per quanto riguarda la comprensione della composizione dei moti in caduta (quesito 4) e parzialmente per quanto riguarda l'intensità costante dell'accelerazione di gravità per gli oggetti in caduta libera (quesito 3). La capacità di gestire diversi sistemi di riferimento in moto relativo (quesito 5) pur essendo migliorata non ottiene percentuali che possano indicare che sia un argomento compreso dagli studenti, invece permangono in modo importante le misconcezioni legate all'influenza del peso sulla caduta degli oggetti (quesiti 1 e 2), così come si dimostra resistente all'istruzione la confusione tra velocità ed accelerazione (quesiti 6, 7 e 8).

5.1.2 Termologia

I risultati dei questionari delle classi che hanno affrontato la termologia con la lezione frontale mostrano che le risposte corrette aumentano in media da 2,07 a 3,63 nel test successivo alle lezioni, per poi calare lievemente a 3,57 in quello a fine anno. Questi valori, riportati in forma percentuale nel grafico sottostante (Grafico 24), comportano un guadagno educativo di 26,4% nel primo e di 25,3% nel secondo dei due test, valori decisamente superiori a quanto ottenuto per la cinematica nello stesso tipo di lezione ma soprattutto valori che indicano che le conoscenze acquisite mediante questa modalità didattica sembrano essere persistenti nel tempo.

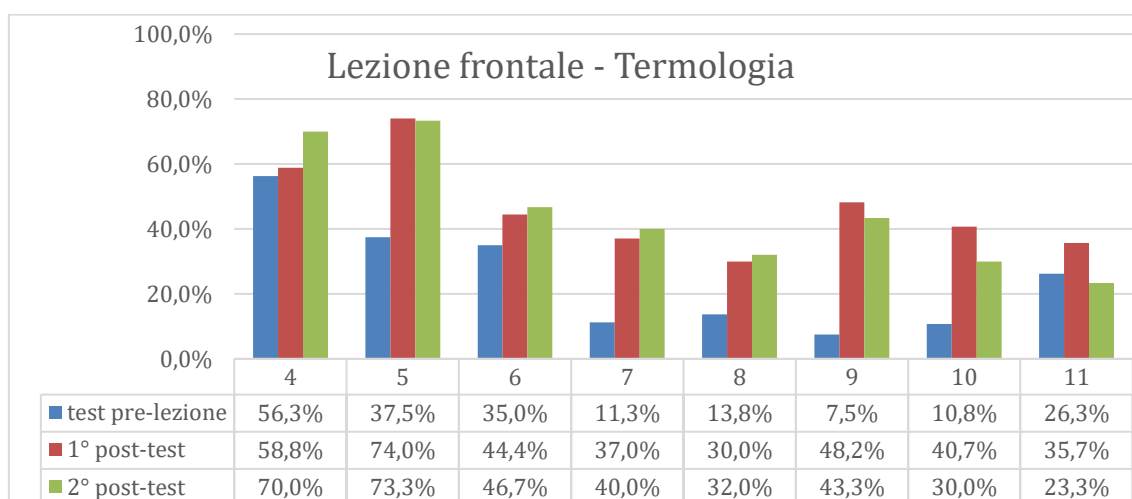


Grafico 24 - Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni frontali di termologia.

Questa tesi è supportata anche dagli esiti del t-test, che riportano un p-value nel primo caso di 0,0025 e nel secondo di 0,0053, valori che confermano che a livello medio entrambi i test hanno ottima rilevanza statistica ed è possibile rifiutare l'ipotesi nulla secondo la quale la differenza tra le medie è casuale (la probabilità che lo sia è dello 0,25% nel primo post-test e dello 0,53% nel secondo). Alla luce di questi risultati possiamo quindi affermare che l'effetto didattico della lezione frontale di termologia è stato discreto e sicuro: gli studenti hanno effettivamente migliorato, seppur in modo contenuto, la loro comprensione concettuale.

Nell'analisi puntuale delle risposte è possibile innanzitutto confrontare le spiegazioni fornite dagli studenti ai concetti di calore e temperatura e al funzionamento del termometro a dilatazione, cioè alle prime tre domande alle quali era necessario rispondere con un breve paragrafo scritto: sulla definizione del calore non ci sono state sostanziali differenze nei due test post-insegnamento, ma è possibile notare alcune differenze rispetto al test iniziale, ovvero la maggior frequenza di utilizzo della parola

“energia”, che viene citata circa dall’80% delle risposte (nel pre-test era il 50%). Sebbene l'utilizzo di questo termine non sia sempre corretto dal punto di vista scientifico, l'aumento della connessione concettuale tra calore ed energia rappresenta un progresso positivo, che tuttavia necessiterebbe di ulteriori correzioni e approfondimenti. Complessivamente si può affermare che le risposte spesso si limitano a definire il calore come un’energia, in alcuni casi specificando il Joule come unità di misura ed in altri descrivendo questa energia come qualcosa in movimento, che si trasmette o concetti analoghi. Permane in qualche caso la misconcezione del calore come di qualcosa contenuto nei corpi o la sua equivalenza con la temperatura. Si osservano, inoltre, casi interessanti di miglioramento concettuale, anche se non ancora accurato. Ad esempio, un alunno che nel pre-test aveva definito il calore come “un'aria calda generata dal fuoco”, successivamente lo ha descritto come “un'energia che fa sentire le cose calde”, sebbene quest'ultima definizione non sia scientificamente rigorosa, rappresenta un evidente progresso nella comprensione del concetto.

La definizione della temperatura, relativa alla seconda domanda, non mostra differenze rilevanti rispetto a quanto riportato nel questionario antecedente alle lezioni: la maggior parte delle risposte, infatti, lega la temperatura alla misura del calore di un corpo, con delle minoranze che accennano al clima o che definiscono la temperatura in modo funzionale, ossia come la grandezza che viene misurata utilizzando un termometro, tipologia che nel pre-test era assente. Solo due studenti hanno accennato all’energia cinetica delle molecole ed uno all’equilibrio termico, ma nessuna delle tre definizioni risulta convincente.

Alla richiesta di spiegazioni sul funzionamento del termometro a dilatazione, la terza domanda aperta, scelgono di non dare una risposta solo in tre casi, negli altri è riscontrabile che alcuni concetti fondamentali sono stati compresi correttamente da molti studenti che hanno capito che il principio base è la dilatazione termica, esprimendo chiaramente che mercurio si dilata con il calore. Alcuni di essi, inoltre, hanno identificato correttamente il ruolo della punta metallica come conduttore di calore. Come nel pre-test, anche in questo caso alcuni studenti hanno fornito la descrizione pratica del suo utilizzo e non il principio fisico che lo causa, allo stesso modo in diverse risposte è stato scritto che il mercurio “sale” senza però parlare di dilatazione.

Sulle risposte della quarta domanda, relativa alla temperatura del ghiaccio nel freezer, è necessario fare una considerazione: una delle due classi, la I triennale, mantiene circa le stesse percentuali del questionario iniziale (che mostrava il 55,0% di risposte corrette) sia nel test successivo alle lezioni (58,8%) che in quello a fine anno (56,3%). Sono invece particolari i risultati dell'altra classe coinvolta, la III triennale perché il loro questionario riporta una percentuale di risposte corrette del 61,5% nel pre-test, del 20,0% nel test

post-lezione e dell'85,7% nel test a fine anno, percentuali che appaiono anomale. Una possibile ipotesi per giustificare questa sequenza altalenante potrebbe essere la poca chiarezza durante la lezione: l'insegnante potrebbe aver confuso gli studenti riferendosi troppo spesso a 0° C come temperatura del ghiaccio e così facendo potrebbe aver involontariamente portato gli studenti a ritenere che cubetti di ghiaccio all'interno del freezer si trovino a tale temperatura. Tuttavia, si riscontrano altre due situazioni analoghe nell'ottava e nell'ultima domanda del questionario, suggerendo una seconda possibile spiegazione, più realistica, del fenomeno: durante il test post-lezione qualche studente "influyente" potrebbe aver suggerito la risposta sbagliata ai compagni. A supporto di questa interpretazione, è significativo che l'andamento anomalo si sia verificato solo in tre domande specifiche (escludendo quindi un problema generale di attenzione o comprensione) e solo in quella classe (escludendo in questo caso sia la prima ipotesi, la confusione creata durante le lezioni, sia problemi legati all'eventuale formulazione poco chiara delle domande), pertanto i dati relativi alle classi con risposte anomale verranno rigettati. In questo caso, quindi, si considereranno solo i questionari della I triennale per quanto riguarda il post-test (58,8% di risposte corrette) e quelli di entrambe le classi per il test di fine anno (70,0% di risposte corrette).

La quinta domanda chiedeva quale fosse la temperatura dell'acqua in cui si sono quasi sciolti completamente molti cubetti di ghiaccio che nel test preliminare aveva ottenuto il 37,5% di risposte corrette. Questa domanda, come le due successive relative ai passaggi di stato, ha avuto un'ottima percentuale di successo resa evidente dal grafico sottostante (Grafico 25), le risposte corrette infatti salgono al 74,0% nel test successivo alle lezioni e rimangono costanti al 73,3% nel test a fine anno. Queste percentuali sono molto incoraggianti perché mostrano che 3 studenti su 4 hanno concettualmente compreso il calore latente di fusione in modo stabile nel tempo.

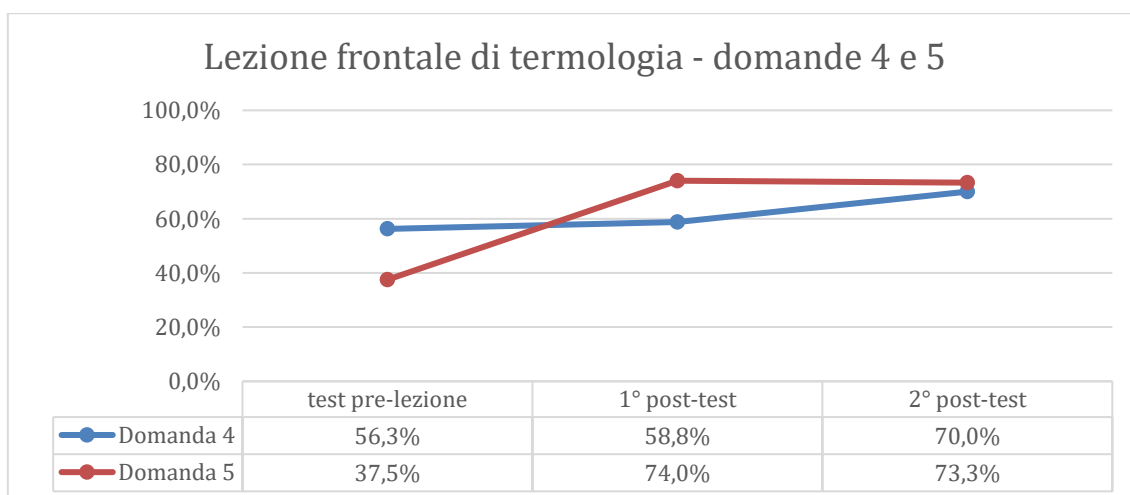


Grafico 25 – Comparazione delle risposte successive alla lezione frontale alle domande 4 e 5 dei test di termologia.

Lo stesso andamento, anche se meno evidente, lo si può notare nel grafico e nella tabella riferita alle domande successive (Grafico 26), in cui era necessario immaginare la temperatura dell'acqua che ha appena iniziato a bollire (quesito 6) e 5 minuti dopo, mentre sta ancora bollendo (quesito 7). Nella sesta domanda, infatti, le risposte corrette passano dal valore iniziale di 35,0% a 44,4% nel primo dei due test e a 46,7% nel secondo e nella settima il valore iniziale era di 11,3%, quello del primo test di 37,0% e quello del secondo di 40,0%. In questo caso esiste una percentuale di studenti che sembrerebbe aver capito che l'acqua in ebollizione non aumenta la propria temperatura, anche se la maggior parte di essi continua a rispondere in modo errato; infatti, la maggior parte di essi alla domanda 7 ha risposto con una temperatura superiore a quella della domanda precedente sia nel test post-lezione che in quello a fine anno.

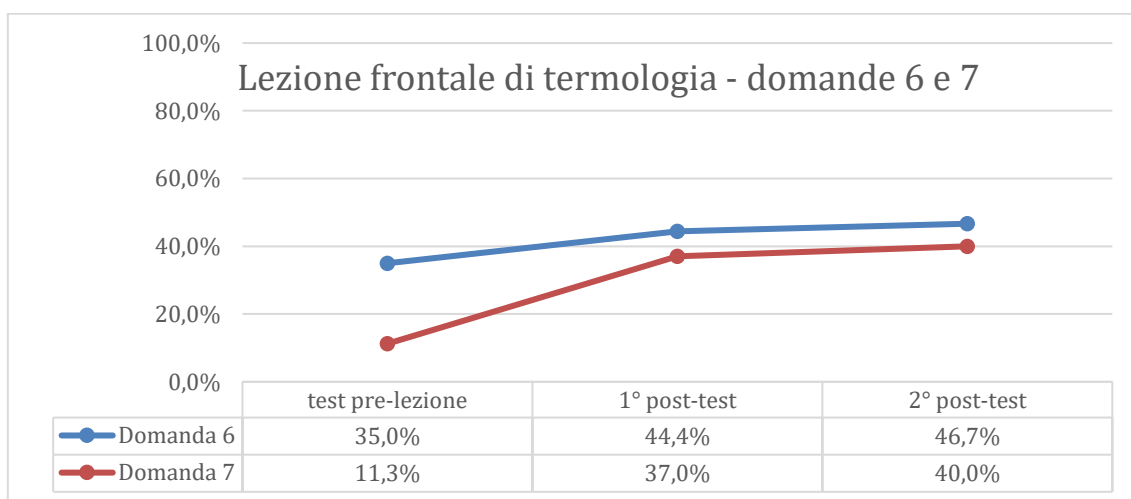


Grafico 26 – Comparazione delle risposte successive alla lezione frontale alle domande 6 e 7 dei test di termologia.

Nella domanda numero 8 bisognava individuare il modo corretto per spiegare il processo di raffreddamento di alcune uova calde messe dentro l'acqua fredda e la risposta corretta, che indicava il trasferimento di energia dalle uova all'acqua, nel test iniziale è stata scelta dal 13,8% degli studenti. Nel test immediatamente successivo alle lezioni si è verificato un risultato analogo a quanto avvenuto nella domanda 4: una delle due classi, in questo caso la I triennale, ha infatti dato nel primo post-test risposte prevalentemente errate, con solo l'11,8% di risposte corrette, mentre in quello somministrato a fine anno ha migliorato di molto il punteggio, fornendo la risposta corretta nel 28,7% dei casi, pertanto, per gli stessi motivi espressi in precedenza, il dato relativo al primo test post-lezione di questa classe viene rigettato. La III triennale invece ha ottenuto una percentuale di risposte corrette in linea con l'andamento generale: 30,0% nel test post-lezione (valore che verrà utilizzato ai fini statistici) e 35,7% nel test finale (il dato considerando entrambe le classi è quindi 32,0%). Come si può osservare nella tabella e

nel grafico sottostante (Grafico 27), Come nel caso precedente, è possibile vedere un lieve miglioramento nella comprensione che risulta stabile sebbene non molto significativa in termini percentuali.

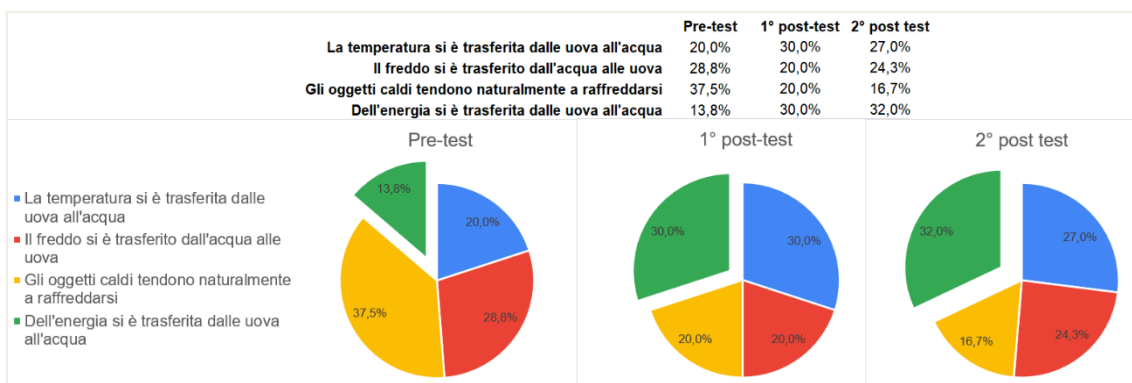


Grafico 27 – Comparazione delle risposte della domanda 8 relativo al test successivo alla lezione frontale.

La nona e la decima domanda erano incentrate sull'equilibrio termico di diversi materiali posti nello stesso ambiente, in un caso le sedie di plastica e metallo in aula, nell'altro il legno ed il ghiaccio nel freezer, ed entrambe hanno avuto un notevole incremento in termini di risultati corretti nel test dopo le lezioni, ben visibile dal grafico relativo (Grafico 28). Tra le due domande, quella relativa al materiale delle sedie è quella che ha avuto l'incremento più evidente: le risposte corrette aumentano infatti dal 7,5% al 48,2% del primo post-test e al 43,3% nel secondo; analogamente la domanda sul ghiaccio vede un miglioramento che, partendo dal 10,8% di risposte corrette, arriva al 40,7% nel primo e al 30,0% nel secondo post-test.

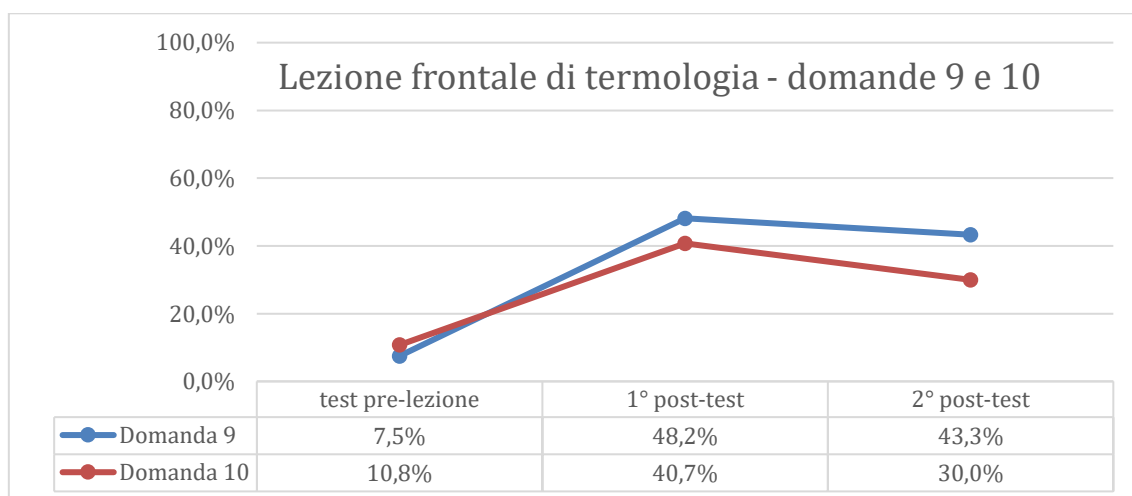


Grafico 28 - Comparazione delle risposte successive alla lezione frontale alle domande 9 e 10 dei test di termologia.

Questi risultati, in particolar modo se si considera la prima delle due domande, mostrano che circa metà degli studenti ha correttamente compreso che oggetti di materiali diversi

posti nello stesso ambiente devono necessariamente trovarsi alla stessa temperatura, e questa comprensione è relativamente resistente nel tempo.

Alcune valide spiegazioni a supporto dell'interpretazione corretta sono state: “una sedia di metallo assorbe più in fretta il calore al contrario di quella di plastica. Il caldo che sente varia dal materiale con cui è fatta ma la temperatura delle sedie è la stessa”, oppure “La temperatura è la stessa ma il metallo assorbe il calore più velocemente, sembrando più freddo”. Permangono, in alcuni casi, le consuete misconcezioni legate al peso degli oggetti: “Perché il metallo è un materiale pesante e perde calore”, alla tendenza naturale “Perché il metallo è naturalmente freddo” o alle proprietà dei materiali: “Il metallo trattiene di più il freddo”, “la plastica tende a scaldarsi prima del ferro”.

L'ultima domanda del test era quella che chiedeva di spiegare la motivazione per cui le bambole non si scaldano sotto le coperte. Anche in questa domanda le risposte corrette della III triennale hanno avuto un andamento anomalo e sono state 23,1% nel pre-test, 0% nel test post-lezione (rigettato come negli altri casi) e 35,3% nel test di fine anno mentre nella I triennale sono state, nei due post-test, rispettivamente 35,7% e 12,5%, per cui si considera come valore corretto per il primo post-test il 35,7% e per il test di fine anno il 23,3%. Considerato il risultato del test pre-lezione, 26,3%, si può affermare che permane negli studenti poca chiarezza sul motivo per cui sotto le coperte ci si scaldi, sul perché questo non avvenga con gli oggetti e sulle proprietà riscaldanti di alcuni materiali. L'analisi delle risposte errate e delle spiegazioni scritte dagli alunni mostra che, come si evince dal grafico (Grafico 29), la maggior parte di loro attribuiscono la causa del mancato riscaldamento alla plastica delle bambole, nel 46,7% dei casi del primo pre-test, rispetto alle coperte, nel 17,6% dei casi dello stesso test. Tuttavia sembra che la tendenza, molto ben visibile nel secondo post-test, sia quella di attribuire maggior responsabilità alle coperte, tanto che le percentuali tendono ad un valore simile: 40,0% per le bambole e 36,7% per le coperte.

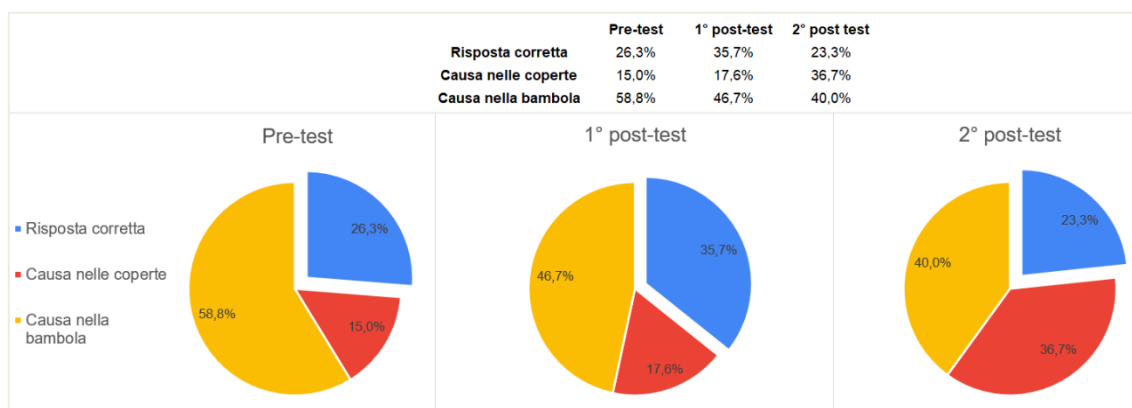


Grafico 29 – Analisi delle risposte relative alla domanda 11 del test di termologia successivo alla lezione frontale. Nel grafico a torta è possibile vedere a quale elemento gli studenti attribuiscono la causa del mancato riscaldamento della bambola.

Facendo dunque un resoconto di quanto emerso, si può affermare che il progresso più significativo riguarda la comprensione del calore latente e delle temperature a cui avvengono i cambiamenti di stato (quesiti 4, 5, 6 e 7), con una percentuale significativa di risposte corrette che si mantiene nel tempo. Risulta particolarmente incoraggiante anche la concettualizzazione del concetto di equilibrio termico, soprattutto in contesti familiari per gli studenti (quesiti 9 e 10), dimostrata anche dalla maggiore precisione delle risposte aperte alla nona domanda. Migliora di poco anche la consapevolezza del ruolo dell'energia negli scambi termici, visibile sia nella domanda a risposta chiusa su questo argomento (la numero 8) sia dalla maggior frequenza del termine "energia" nelle risposte aperte, come sembra essere migliorata la conoscenza del fenomeno della dilatazione termica nel termometro. Permangono tuttavia alcune difficoltà concettuali, sia riguardo la concettualizzazione del calore e della temperatura, rilevata dalla qualità delle risposte aperte paragonabile a quelle del test iniziale, sia riguardo alcuni aspetti legati alle proprietà termiche che vengono associate a determinati materiali a causa della funzione che solitamente svolgono (quesito 11).

5.2 Lezione laboratoriale

5.2.1 Cinematica

La sperimentazione in laboratorio di cinematica ha avuto dei buoni risultati, caratterizzati da un buon aumento percentuale nei post-test, come si può notare dal grafico allegato (Grafico 30), passando da una media di risposte corrette di 1,26 a 2,63 per poi diminuire a 1,93. Questo ha causato un GE di 20,3% nel primo post-test e di 9,9% nel secondo, risultati sicuramente non ottimali ma incoraggianti nel contesto della formazione professionale. I risultati dei due t-test mostrano che c'è grande rilevanza statistica per quanto riguarda i risultati del questionario successivo alle lezioni, a cui è associato un p-value di 0,0017, ma si ottiene un valore limite in quello somministrato a fine anno, nel quale il p-value risulta 0,0502. Il confronto tra i due test indica che l'apprendimento, pur mostrando inizialmente un miglioramento statisticamente robusto, tende a perdere la sua solidità nel lungo periodo, raggiungendo il confine tra risultati significativi e casuali.

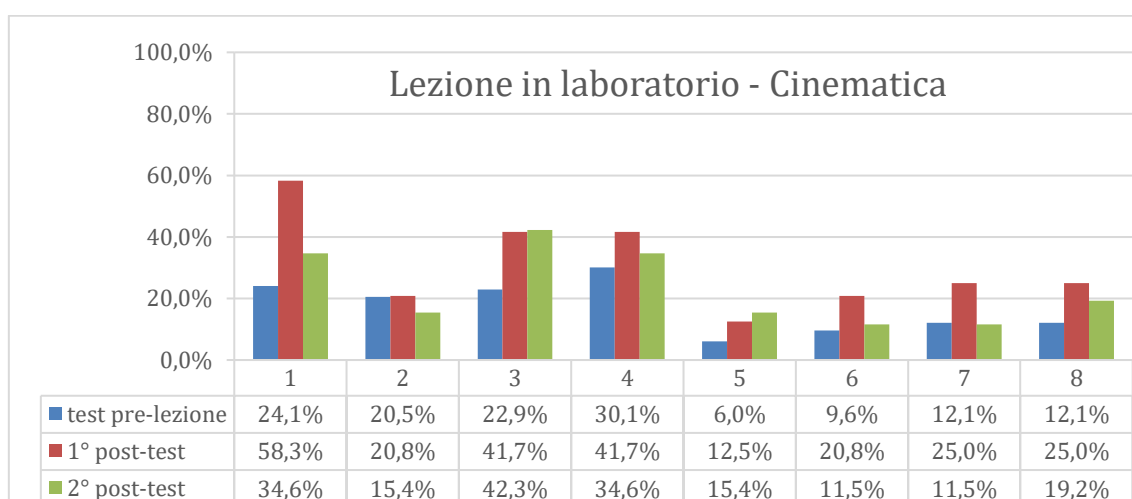


Grafico 30 - Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni in laboratorio di cinematica.

La prima domanda, sul tempo di caduta di palle identiche di peso diverso rispecchia il noto andamento in miglioramento nel test post-lezione ed in flessione nel test finale, con percentuali di risposte corrette che dal 24,1% aumentano fino ad un massimo di 58,3%

per poi diminuire ad un valore di 34,6%. È interessante notare come in questo caso sia molto marcato l'aumento dovuto alla lezione laboratoriale ma sia anche evidente il calo che dimostra l'insufficiente robustezza dell'apprendimento.

I risultati del secondo quesito, invece, mostrano un risultato preoccupante: il primo dei due test successivi alla lezione, 20,8% di risposte corrette, è sostanzialmente identico a quello iniziale, 20,5%, e maggiore di quello di fine anno che si attesta al 15,4%. Questo andamento delle risposte corrette, visibile in forma grafica (Grafico 31) ed analogo a quanto avvenuto nella lezione frontale, che inizialmente non aumenta ed in seguito è in calo è un segnale della mancata comprensione dell'influenza del peso degli oggetti in caduta non verticale che si contrappone all'esito della domanda precedente, in cui invece il concetto di indipendenza sembrava acquisito. Una possibile interpretazione può essere che gli studenti non abbiano compreso come influisce il peso degli oggetti in moti composti mentre in quelli di caduta verticale sia compreso più facilmente.

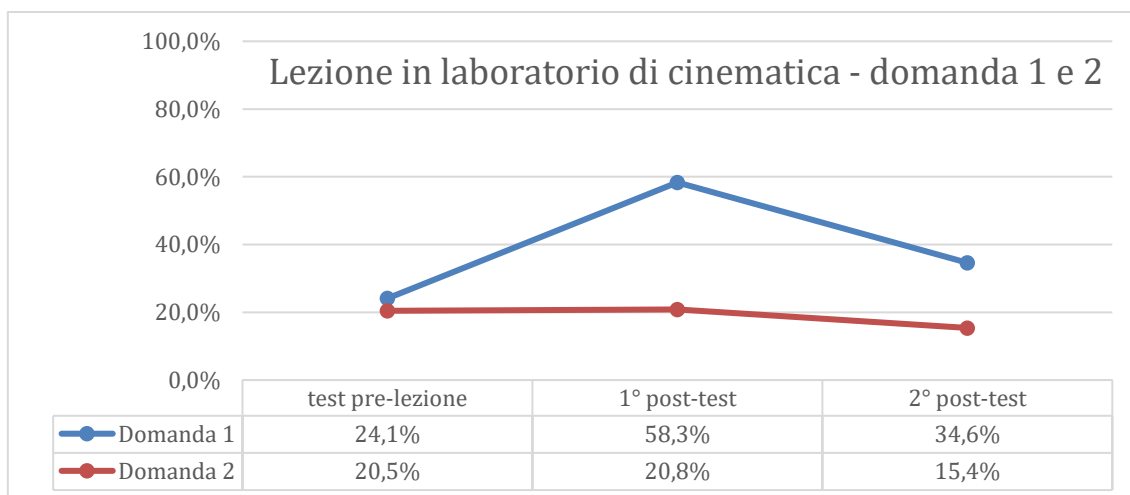


Grafico 31 - Comparazione delle risposte alle domande 1 e 2 di cinematica successive alla lezione in laboratorio.

La domanda sulla caduta della pietra dal primo piano di un edificio, la terza del questionario, ha invece un andamento più rassicurante: il valore di riferimento del pre-test era di 22,9% migliorato in modo solido al 41,7% nel primo e al 42,3% nel secondo test successivo alla lezione. In questo caso è possibile fare una considerazione aggiuntiva, che in parte potrebbe motivare la stabilità delle risposte: la prima delle esperienze di laboratorio richiamava concettualmente molto da vicino questa domanda, e questo potrebbe essere un motivo che ha favorito la correttezza delle risposte, tanto che si tratta della domanda che ha ottenuto il miglior risultato del test di fine anno. La chiarezza concettuale degli studenti si nota anche dalle risposte aperte che chiedevano di motivare la risposta scelta, con molte spiegazioni corrette come "La pietra continua ad aumentare la sua velocità in modo costante" oppure "La pietra man mano che cade

umenta la velocità”. Da quanto scritto dagli studenti nella spiegazione di questa situazione si conferma che una delle difficoltà interpretative ricorrenti sia legata al peso dell’oggetto, come è piuttosto evidente da frasi simili a: “La sua velocità cresce per il peso della roccia”.

Le domande in cui era necessario individuare la traiettoria della palla di cannone e della palla da bowling non hanno avuto lo stesso andamento: le risposte relative alla palla di cannone hanno avuto un discreto aumento nel primo dei due test successivi alle lezioni, che hanno permesso alla percentuale di risposte corrette di passare da 30,1% a 41,7%, per poi subire un lieve calo ed arrestandosi al 34,6%, segno che l’apprendimento non è stato duraturo nel tempo. Come negli altri casi tra le risposte errate la risposta C è preponderante con percentuali simili o maggiori della risposta corretta, tanto che nel test di fine anno il 92,3% degli studenti ha dato una delle due risposte, segnale positivo se consideriamo l’aumento confrontandolo con i dati aggregati del pre-test che riportano l’80,7% di risposte B o C. Un ulteriore elemento da considerare sono alcune risposte degli studenti relative alla differenza tra queste due traiettorie, che vengono distinte a livello intuitivo in funzione della potenza dello sparo: “la traiettoria del cannone varia da B a C e dipende dalla gittata” e “ho scelto la C perché dipende dalla velocità che ha”. La domanda successiva, sulla caduta della palla da bowling dall’aereo, invece non subisce il calo percentuale del test finale, mantenendo le risposte sostanzialmente stabili: dal 12,5% nel primo al 15,4% nel secondo test, entrambe in crescita rispetto al 6,0% iniziale. Come nel pre-test la risposta scelta più frequentemente è stata quella con la parabola rivolta verso la coda dell’aereo, seguita da quella con la traiettoria rettilinea verso il basso, con poche (o nessuna nel test di fine anno) altre risposte tra quelle proposte.

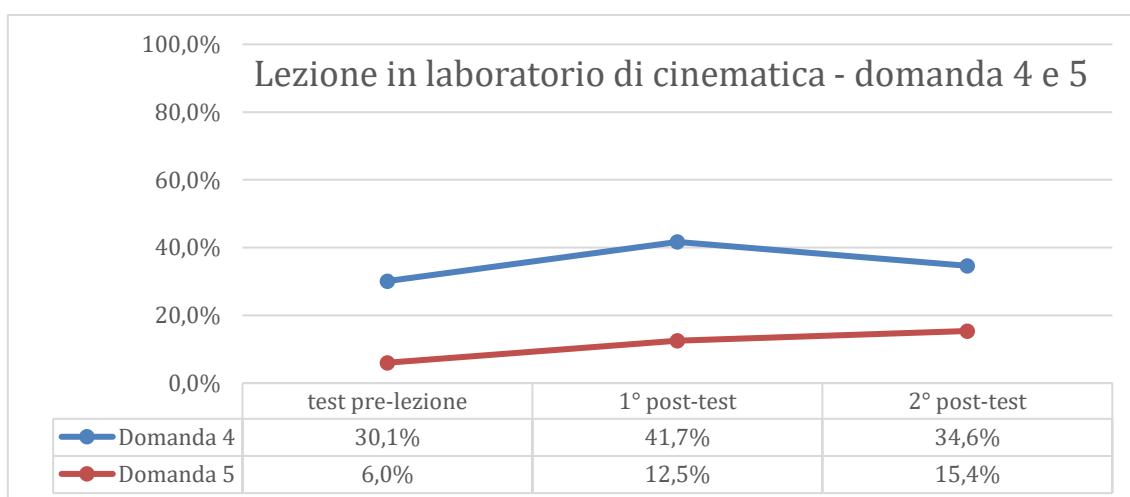


Grafico 32 - Comparazione delle risposte alle domande 4 e 5 di cinematica successive alla lezione in laboratorio.

Per quanto riguarda le risposte scritte, da un confronto con quelle iniziali, sembrerebbero più pertinenti, ad esempio: “la palla di cannone viene sparata orizzontalmente e di conseguenza la gravità fa in modo di farla arrivare al suolo, mentre la palla da bowling viene lasciata cadere da un'altezza importante mentre si trova già ad una certa velocità e quindi appena viene lasciata cadere segue per un pezzo la direzione dell'aereo per poi finire sul suolo”, o molto semplicemente “La domanda 4 è 5 hanno la stessa traiettoria”. La spiegazione della risposta errata che prevede la parabola invertita la si può esemplificare in: “Nell'immagine 4 c'è la forza del proiettile che viene sparato a cui si aggiunge la forza di gravità verso il basso quindi la palla da cannone farà una parabola abbastanza curva con un inizio un po' più orizzontale. Nell'immagine 5 se viene lasciata da un aereo in movimento la palla rimarrà indietro rispetto all'aereo ed in più la forza di gravità la porta verso il basso”. Questa risposta dimostra come una delle difficoltà sia causata dalla gestione di due sistemi di riferimento, infatti questo ragazzo dice espressamente che la palla rimane indietro “rispetto all'aereo” anche se il quesito specificava che la traiettoria da considerare era quella vista da una persona ferma a terra. Le spiegazioni della traiettoria rettilinea invece fanno quasi sempre riferimento ad una spinta in avanti che nel caso dell'aereo non viene identificata: “La palla di cannone viene lanciata verso una direzione e per la gravità scende verso il terreno mentre la palla da bowling viene lasciata cadere da un aereo in movimento e ciò non modifica la traiettoria della palla da bowling che scende dritta”, oppure “Perché nella 5 la forza principale è verticale mentre nella 4 è sia verticale che orizzontale”. È interessante constatare che anche in questo caso gli studenti attribuiscono al peso dell'oggetto un'influenza sulla caduta, tanto che secondo alcuni di loro il peso potrebbe modificarne la traiettoria: “N.5 dipende anche dal peso: la palla scende dritta ma se non pesa tanto potrebbe andare indietro”.

Le ultime tre domande, sulla moneta lanciata in verticale, riprendono il consueto andamento: una percentuale di partenza piuttosto bassa nel test iniziale (che rispettivamente era 9,6%, 12,1% e 12,1%), un lieve miglioramento nel test successivo alle lezioni (con percentuali di 20,8%, 25,0% e 25,0%), e una leggera flessione nel test a fine anno (con valori 11,5%, 11,5% e 19,2%).

Anche in questo caso è utile un'analisi comparativa accompagnata dal relativo grafico (Grafico 32) con le risposte relative alla confusione con la velocità, che nelle altre due domande dei test hanno avuto questi valori: durante la fase ascendente la risposta “l'accelerazione è verso l'alto e diminuisce” è stata scelta dal 20,8% degli studenti nel primo post-test e dal 46,2% nel secondo; nella domanda 7, con la moneta in fase stazionaria, la risposta “l'accelerazione è zero” è stata scelta dal 29,2% degli studenti nel primo post-test e dal 26,9% nel secondo. Questi dati mostrano che in generale gli

allievi hanno ancora grosse difficoltà con il verso dell'accelerazione poiché spesso, come risulta chiaro leggendo le spiegazioni fornite, è ancora confusa con la velocità, oppure ritengono che la gravità sia selettiva e non agisca sugli oggetti in moto verso l'alto, che rallentano a causa della fine dell'effetto della spinta (in linea con la misconcezione dell'impetus). Il fatto che le risposte all'ultima domanda (quella della moneta nella fase discendente) abbiano percentuali di correttezza maggiori delle altre supporta questo tipo di interpretazione. In quel caso, infatti, sia l'accelerazione che la velocità sono dirette verso il basso ed è possibile che la confusione tra queste due grandezze abbia indotto il 33,3% degli studenti nel post-test e il 46,2% nel test a fine anno a scegliere la risposta errata relativa al distrattore legato alla velocità, ovvero "l'accelerazione è verso il basso ed aumenta" (Grafico 33).

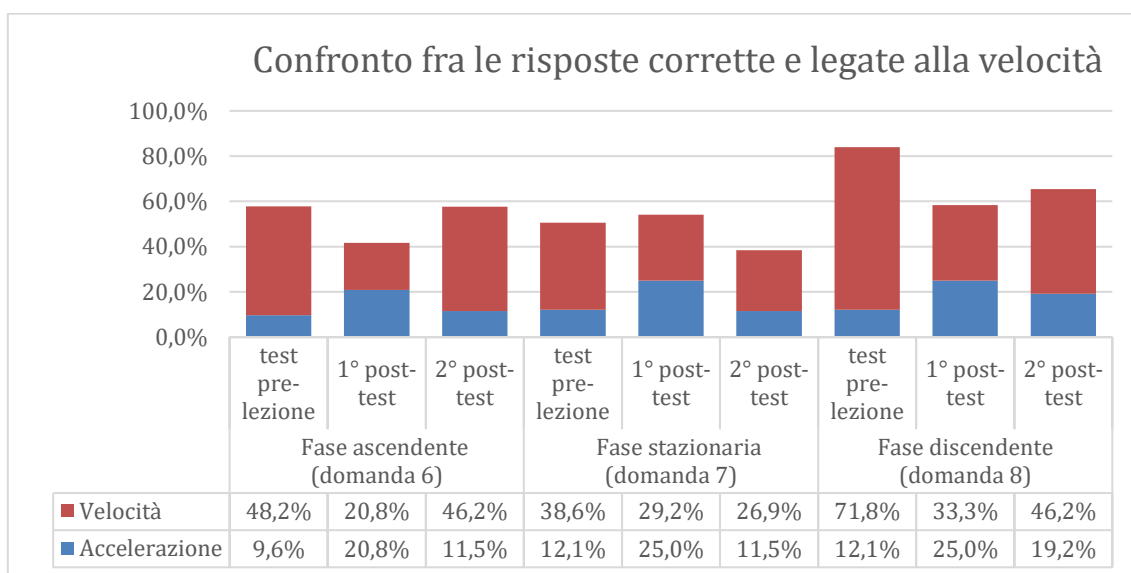


Grafico 33 - Confronto tra le risposte corrette ("Accelerazione") e quelle legate all'identificazione di questa grandezza con la velocità ("Velocità") dopo la lezione in laboratorio, divise in funzione della fase del lancio e del test a cui si riferiscono.

Alcune risposte tipiche a supporto di quanto affermato sono state: "Quando viene lanciata accelera verso l'alto rallentando piano piano, quando è nel punto più alto è come se fosse in stallo quindi l'accelerazione è 0 e poi quando scende è crescente sempre di più", "La moneta viene lasciata con una forza quando essa finisce perché ha un rallentamento della forza gravitazionale ritornerà indietro", oppure "Noi lanciando la moneta verso l'alto diamo un'accelerazione verso l'alto che verrà diminuita grazie alla forza di gravità, fino a quando non arriverà al punto più alto in cui l'accelerazione sarà zero. Dopo ci sarà soltanto la forza di gravità che manderà verso il basso la moneta con un'accelerazione che aumenta". Ci sono state tuttavia anche alcune risposte corrette e ben formulate, che lasciano supporre che qualche studente abbia invece capito bene e sia in grado di differenziare le due grandezze: "Quando la moneta è lanciata verso l'alto

comincia subito a perdere velocità, quindi c'è l'accelerazione verso il basso", oppure "L'accelerazione verso il basso dovuta alla gravità è costante e agisce costantemente sulla moneta durante tutto il suo movimento".

5.2.2 Termologia

La lezione in modalità laboratoriale di termologia, come si può vedere dal grafico (Grafico 34), è quella che ha avuto il risultato migliore dell'intera sperimentazione nel test post lezione, con una percentuale media di risposte corrette vicina al 50%. I questionari passano da una media di 2,09 risposte corrette in quello precedente all'esperienza di laboratorio, a 3,95 immediatamente dopo le lezioni per poi subire una flessione a 3,50 nel questionario di fine anno. Questi valori in termini di GE si traducono in una percentuale di guadagno del 31,5% nel test post-lezione e del 23,9% a fine anno, valori sicuramente non paragonabili allo stesso tipo di lezioni svolte in altri contesti scolastici, tuttavia molto incoraggianti nella formazione professionale.

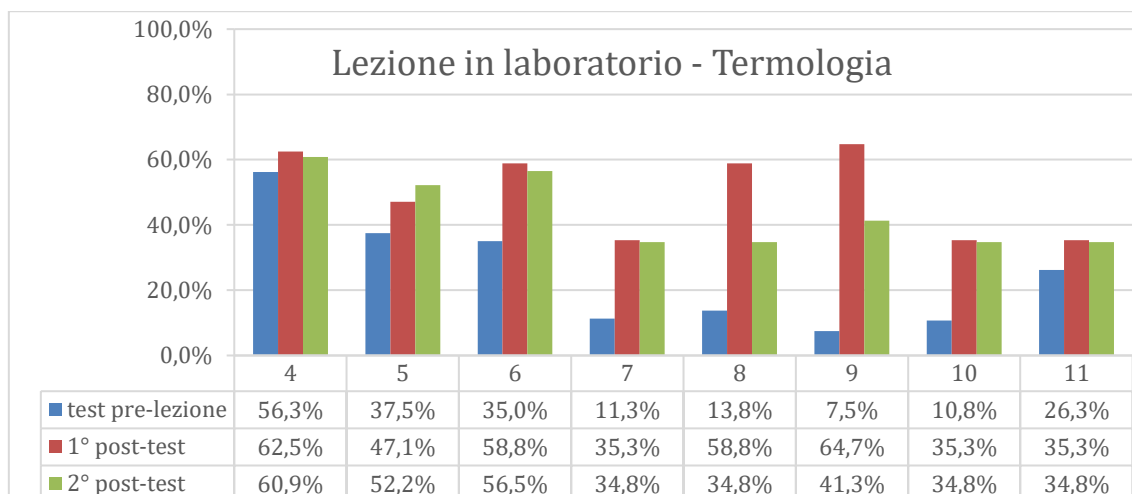


Grafico 34 - Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni in laboratorio di termologia.

Ulteriore motivo di soddisfazione è legato ai risultati dei t-test, che mostrano chiaramente la valenza statistica dei risultati dei questionari con p-value di 0,00012 per il questionario post-lezione e 0,00025 per quello di fine anno, che significano una probabilità di poco maggiore allo 0,01% e 0,02% di ottenere gli stessi risultati con distribuzioni casuali. L'interpretazione congiunta di questi dati permette di affermare che queste lezioni sono state causa di un buon aumento di comprensione concettuale significativa, poiché sembrerebbe mantenersi stabile nel tempo.

Le risposte aperte relative alle prime domande riflettono un'idea di calore ed energia più accurata e coerente. Per quanto riguarda la definizione di calore, la quasi totalità delle risposte, infatti, identifica il calore con un'energia, molte citano il fatto che questa energia si può trasferire tra corpi a temperature diverse, ed alcune legano l'energia al movimento delle molecole. In pochi casi la definizione è completamente errata: "è il gas caldo

emesso dai corpi”, “Il calore è una percezione”, “Il calore è il movimento degli elettroni”, “È la temperatura di un oggetto quando si surriscalda”.

Le definizioni di temperatura risultano invece meno precise rispetto alle precedenti, ma migliori di quelle del pre-test. Permangono molte risposte che identificano la temperatura come la misura del calore, in alcuni casi legata al clima, ed altre che ne danno un'interpretazione funzionale legata all'oggettività della misura. In qualche caso la risposta può essere considerata sostanzialmente corretta, come “È una misura dello stato di agitazione termica” ed in altri, pur essendo imprecise, parlano di temperatura legata ai fenomeni di scambio termico o all'energia cinetica delle molecole, segno che gli studenti stanno superando alcune concezioni ingenuie a favore di interpretazioni più vicine alla realtà fisica.

Riguardo le spiegazioni del funzionamento del termometro, è subito evidente che sono diminuite quelle di tipo funzionale a favore di descrizioni più scientifiche, la maggior parte degli studenti ha inoltre parlato correttamente di dilatazione del mercurio. Non mancano tuttavia alcune risposte errate o imprecise, come quelle che parlano di mercurio che con il calore “sale” o che “si allontana dalla punta”.

L'analisi delle risposte successive mostra subito un dato anomalo: come era già stato affrontato nel paragrafo 5.1.2 relativo alla lezione frontale, una delle due classi nel primo post-test ha dato delle risposte poco in linea con le risposte dell'altra classe e con le risposte precedenti o successive della stessa classe. La domanda in questione è la numero 4 del questionario, riguardante la temperatura più probabile per dei cubetti di ghiaccio all'interno del freezer, le cui percentuali di risposte corrette, per la II biennale, sono le seguenti: pre-test 66,7%, primo post-test 11,1%, secondo post-test 63,6%. Un risultato così basso nel questionario successivo alle lezioni è difficilmente motivabile anche valutando un eventuale fraintendimento o confusione durante lo svolgimento delle lezioni in laboratorio, pertanto anche in questo caso non ne sarà tenuto conto. In ogni caso, i risultati validi per questa domanda sono stati buoni: il dato di partenza era del 56,3% di risposte corrette, nel primo post test sono state il 62,5% e nel secondo il 60,9%, mostrando sostanziale stabilità nel tempo.

La quinta e la sesta domanda riguardavano entrambe i passaggi di stato, una la fusione e l'altra l'ebollizione dell'acqua e, come si vede dal grafico (Grafico 35), hanno avuto un andamento simile di risposte corrette in tutti e tre i momenti dell'anno: nel pre-test la quinta aveva il 37,5% di risposte corrette e la sesta 35,0%, nel primo post-test la quinta 47,0% e la sesta 58,8% e nel test di fine anno la quinta 52,2% e la sesta 56,5%.

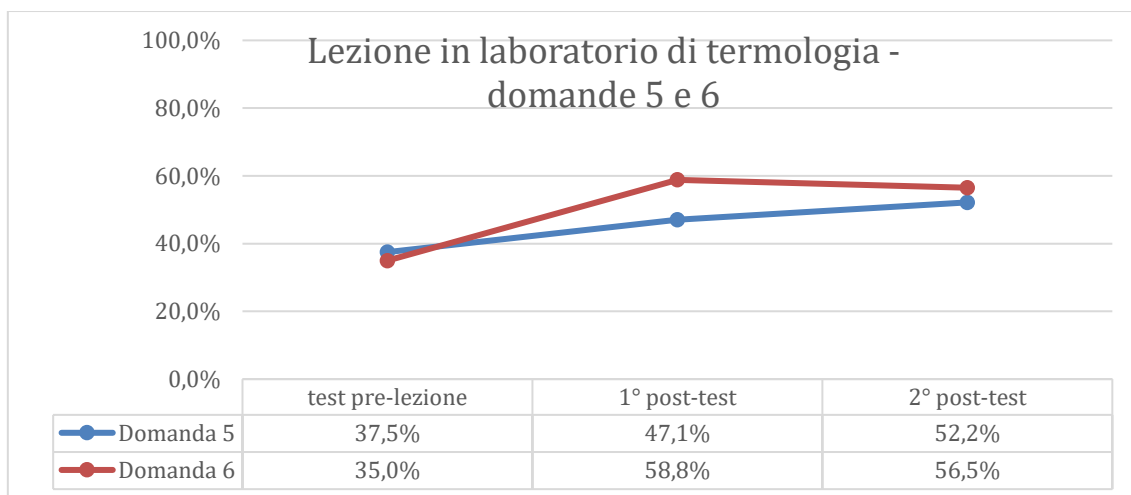


Grafico 35 - Comparazione delle risposte successive alla lezione in laboratorio alle domande 5 e 6 dei test di termologia.

Data la similarità dell'argomento e dei risultati, è possibile trarre alcune considerazioni comuni: è possibile notare per entrambe le domande un deciso aumento di risposte corrette dovute alle lezioni svolte, che fanno pensare ad una buona risposta in termini di apprendimento significativo da parte degli studenti. Questo risultato è particolarmente rilevante perché è legato ad una delle esperienze che hanno svolto in laboratorio (l'esperienza numero 2, sul monitoraggio della temperatura nel bicchiere in cui fonde il ghiaccio), pertanto è un risultato che suscita ottimismo riguardo l'efficacia di questo tipo di lezioni. Sebbene questi risultati suggeriscano l'efficacia del metodo didattico adottato, emerge anche un aspetto critico: il fatto che metà degli studenti non riesca a rispondere correttamente a domande strettamente correlate all'esperienza appena svolta in laboratorio rappresenta un fattore da tenere in considerazione, va tuttavia considerato che, nel contesto della formazione professionale, queste percentuali sono nella norma. La domanda successiva, anch'essa relativa ai passaggi di stato ma focalizzata sul calore latente di ebollizione e visibile nel grafico sottostante (nel Grafico 36 la comparazione tra le due domande sull'ebollizione dell'acqua), mostra un analogo miglioramento percentuale, pur partendo da un livello iniziale più basso. La percentuale di risposte corrette aumenta dall'11,3% del pre-test al 35,3% nel primo post-test, mantenendosi stabile al 34,8% nel secondo post-test. Il quesito, che richiedeva di indicare la temperatura dell'acqua dopo 5 minuti di ebollizione, si è rivelato statisticamente più impegnativo rispetto alla domanda sulla temperatura dell'acqua all'inizio dell'ebollizione. Tuttavia, il fatto che entrambe le domande abbiano registrato un incremento simile e stabile suggerisce che alcuni studenti hanno sviluppato una comprensione solida e duratura dei meccanismi dei passaggi di stato e del ruolo del calore latente in questi processi.

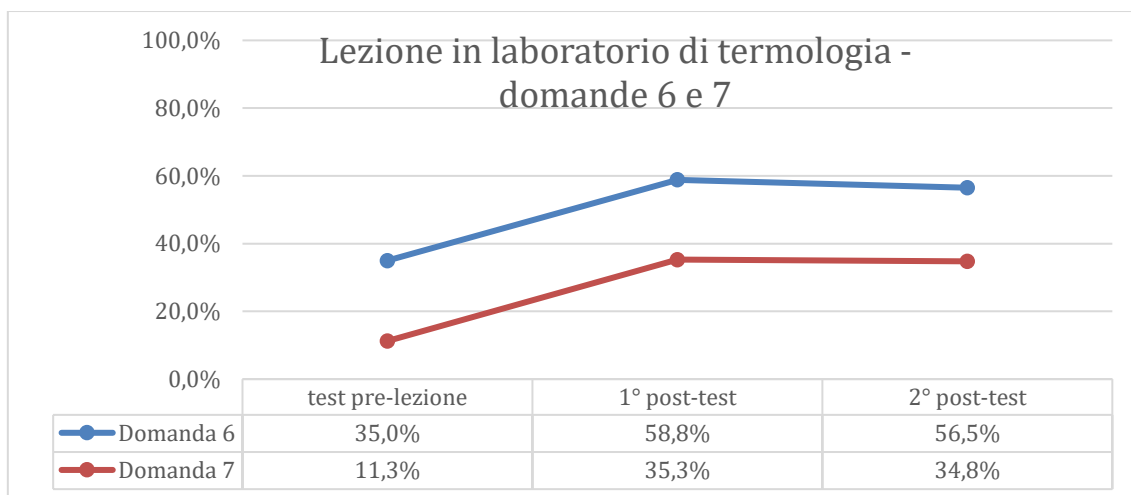


Grafico 36 - Comparazione delle risposte successive alla lezione in laboratorio alle domande 6 e 7 dei test di termologia.

La domanda numero 8 esaminava la comprensione del processo di raffreddamento di alcune uova calde immerse in acqua fredda, chiedendo di identificare nel trasferimento di energia la causa del fenomeno. I risultati mostrano un notevole miglioramento iniziale: le risposte corrette sono aumentate dal 13,8% al 58,8% dopo le esperienze di laboratorio, indicando una buona comprensione immediata del concetto. Tuttavia, questa comprensione sembra non essere stabile nel tempo per tutti gli studenti come si può notare dal grafico (Grafico 37), nel test a fine anno le risposte corrette diminuiscono al 34,8% e aumentano significativamente le risposte “il freddo si è trasferito dalle uova all’acqua”, che raggiunge il 30,4%, e “gli oggetti caldi tendono naturalmente a raffreddarsi”, che raggiunge il 17,4%. Da un confronto dei dati relativi alle risposte errate del pre-test si nota che l’idea della tendenza naturale al raffreddamento è diminuita (era al 37,5%), mentre la concezione errata del trasferimento del freddo è rimasta sostanzialmente stabile rispetto al valore iniziale del 28,8%.

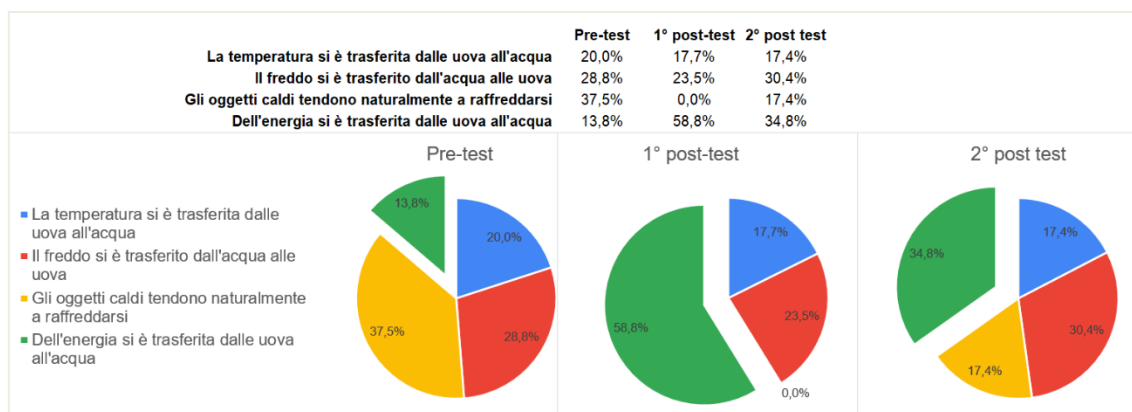


Grafico 37 - Comparazione delle risposte della domanda 8 relativo al test successivo alla lezione in laboratorio.

Le due domande successive, pur essendo sullo stesso argomento, entrambe incentrate sull'equilibrio termico di oggetti nello stesso ambiente, hanno mostrato andamenti inizialmente divergenti che poi tendono a convergere nel secondo post-test (Grafico 38): la domanda 9 è quella che ha avuto il maggior incremento di risposte corrette, passando dal 7,5% del pre-test al 64,7% del post-test, per poi decrescere fino al 41,3%. La domanda 10 mostra invece un andamento più stabile: il pre-test indicava il 10,8% di risposte corrette che nel primo post-test sono aumentate al 35,3%, e si mantengono invariate nel secondo al 34,8%, suggerendo un apprendimento meno diffuso ma più duraturo nel tempo.

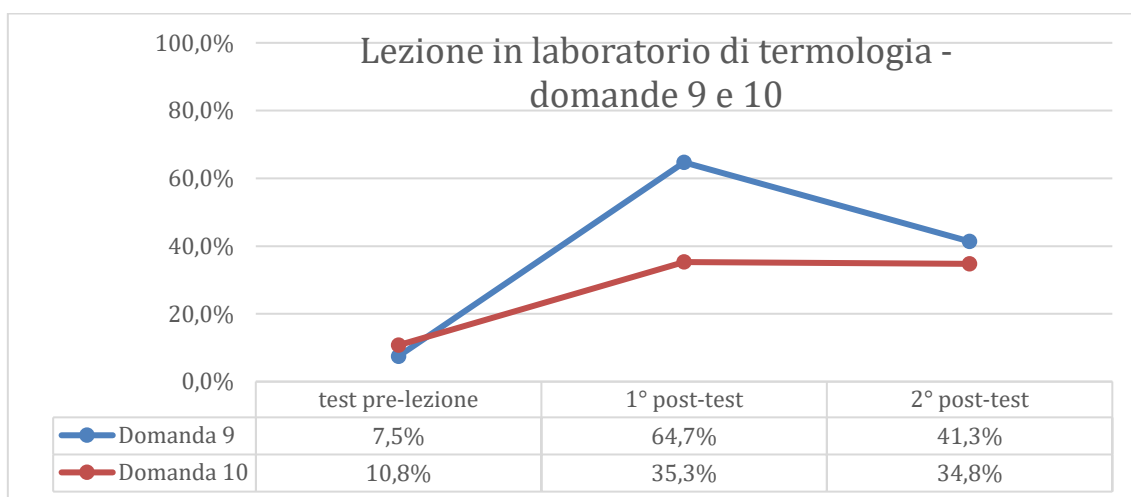


Grafico 38 - Comparazione delle risposte successive alla lezione in laboratorio alle domande 9 e 10 dei test di termologia.

Sulla nona domanda, nonostante la flessione delle risposte corrette a fine anno (dovuta principalmente ad una delle due classi che ha ottenuto solo il 27,3% di risposte esatte), il risultato mantiene un valore didattico significativo se confrontato con il dato di partenza: se inizialmente meno di 1 studente su 10 riteneva che le sedie di metallo e di plastica all'interno della stessa stanza si trovassero alla stessa temperatura, a fine anno la comprensione del fenomeno si è estesa a più di 4 studenti su 10. Questo miglioramento è molto ben visibile dai commenti richiesti alla risposta scelta, alcuni errati: "Perché il metallo non assorbe calore" o "Il metallo tende ad assorbire più la temperatura ambiente e il quando fa freddo il metallo ne risente più della plastica", ma molti altri corretti e ben espressi: "Perché il metallo è un conduttore di calore e quindi è come se ti sottrae energia quando lo tocchi", "Perché il metallo assorbe più rapidamente il calore rispetto ad altri materiali" oppure "Non sono più fredde, quando tocchi un materiale conduttore passa attraverso più energia, invece quelle di plastica sono isolanti e qui il calore che passi rimane lì" in cui anche se in modo confuso, lo studente ha provato a spiegare il meccanismo per cui la sensazione di freddo sia più intensa toccando un conduttore

(ovvero il materiale conduttore sottrae calore dalla mano e lo distribuisce uniformemente mentre nell'isolante il calore acquisito viene trattenuto sulla superficie a contatto con la mano).

L'analisi delle risposte all'ultima domanda presenta un quadro di sostanziale stabilità, pur con una modesta tendenza positiva: dal 26,3% del pre-test, al 35,3% del primo post-test, fino al 34,8% del secondo. Considerando che questo miglioramento di circa 8 punti percentuali tra il test iniziale e quello finale è dovuto a poche risposte corrette in più, la modestia dell'incremento indica che l'intervento didattico non è riuscito a provocare quel cambiamento concettuale significativo che ci si attendeva. Il fatto che circa due terzi degli studenti continuino a fornire risposte non corrette suggerisce la persistenza di concezioni alternative resistenti al cambiamento (Grafico 39).

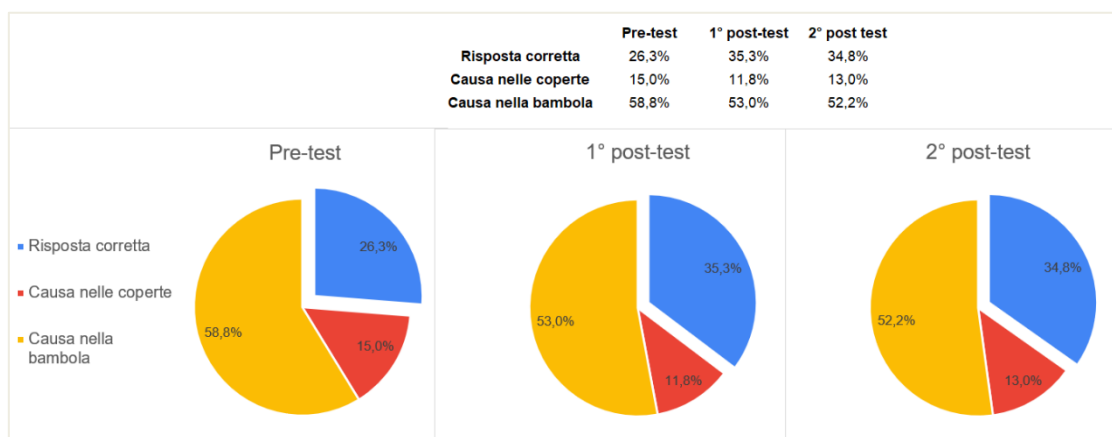


Grafico 39 - Analisi delle risposte relative alla domanda 11 del test di termologia successivo alla lezione in laboratorio. Nel grafico a torta è possibile vedere a quale elemento gli studenti attribuiscono la causa del mancato riscaldamento della bambola.

In particolare, il 53,0% di allievi nel primo post-test ed il 52,2% nel secondo, continuano a rispondere che le bambole sotto le coperte non si scaldano a causa del materiale di cui sono fatte, che “non trattiene bene il calore” o che “richiede molto tempo per scaldarsi”, concezioni che traspaiono frequentemente e con molta forza dalle spiegazioni del fenomeno fornite dagli studenti: “la bambola non è fatta con i materiali adatti a mantenere il calore, o “perché il materiale non si scalda facilmente e quindi avrà bisogno di più tempo”. Ci sono naturalmente state anche alcune risposte ben formulate: “Il materiale della coperta trattiene il calore al suo interno ma la bambola non avendo una temperatura superiore dell'esterno da trattenere, resta con la temperatura invariata” o “Le coperte si scaldano in funzione di un corpo che emana calore quindi energia, la bambola di Marta non emanando calore non si scalda”.

In conclusione, il maggiore progresso concettuale e didattico si è verificato nella comprensione dei cambiamenti di stato (domanda 4 e 6) e del calore latente di fusione (domanda 5). Migliora anche, seppur in modo non duraturo nel tempo, la comprensione

del calore come trasferimento di energia (domanda 8), come evidenziato dalle definizioni più precise fornite all'inizio del questionario. Gli studenti mostrano ancora incertezze nella comprensione del concetto di equilibrio termico e del ruolo del tatto nella percezione del calore (domande 9 e 10), in quanto l'esperienza sensoriale quotidiana sembra interferire con l'apprendimento specialmente nel lungo periodo. Rimangono inoltre poco chiari sia la definizione precisa di temperatura, sia alcuni meccanismi legati agli scambi termici. In particolare, gli studenti tendono a confondere la funzione di un oggetto con le proprietà del materiale che lo compone (ad esempio, attribuendo alla coperta di lana la capacità di generare calore anziché di isolare quello prodotto dal corpo umano, domanda 11). Un'ultima considerazione da fare è che su alcune domande, relative ad aspetti affrontati con delle esperienze ad hoc in laboratorio come la domanda 5, relativa al calore latente di fusione, e la domanda 9, relativa alla temperatura degli oggetti in una classe, era lecito aspettarsi risultati migliori di quelli ottenuti, sebbene entrambe le domande abbiano migliorato i risultati del pre-test rispettivamente di circa il 25% e 35%. Questa difficoltà nel trasferire l'esperienza pratica in comprensione teorica evidenzia come la sola esecuzione dell'esperimento non sia sufficiente, occorrerebbe infatti supportare in modo più efficace l'attività laboratoriale, per aiutare gli studenti a costruire connessioni più solide tra osservazione e teoria.

5.3 Lezione in Challenge-Based learning

5.3.1 Cinematica

La sperimentazione della lezione di cinematica in modalità challenge-based ha invece avuto risultati negativi: come è evidente dal grafico allegato (Grafico 40), le risposte corrette sono rimaste sostanzialmente le stesse nei tre test, con alcune eccezioni che verranno analizzate in seguito. Considerando entrambe le classi, infatti, si passa da una media di risposte corrette di 1,38 nel pre-test (17,3%), a 1,56 nel test post-lezione (19,5%) e a 1,41 nel test di fine anno (17,7%).

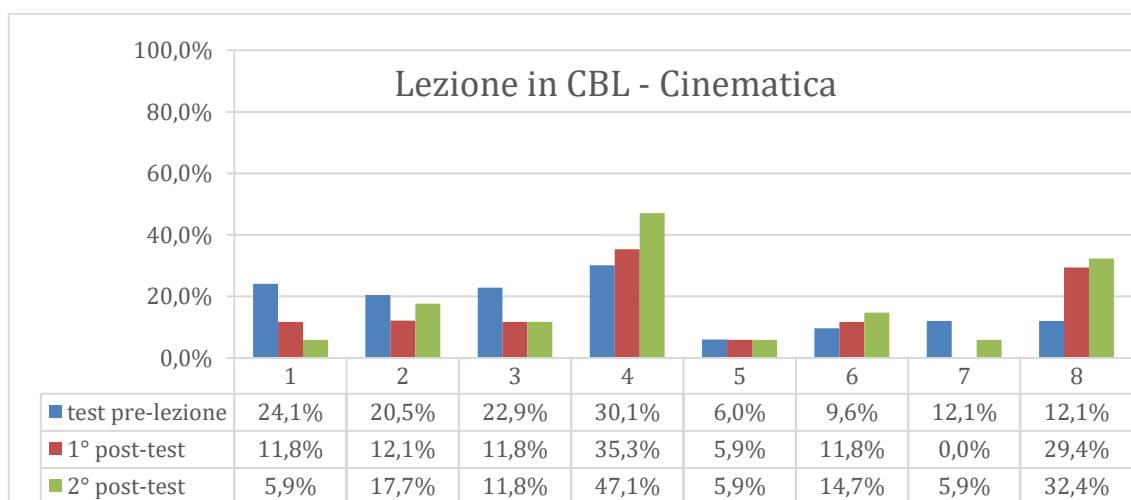


Grafico 40 - Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni in CBL di cinematica.

È particolarmente significativo il caso della II biennale, classe in cui si è registrato un progressivo peggioramento delle performance, con una media di risposte corrette che è scesa da 1,21 nel test iniziale a 1,10 nel test post-lezione, fino a 0,91 nel test di fine anno. Dai risultati aggregati delle due classi è comunque possibile ricavare il GE che, come ci si aspetterebbe, è molto basso: 2,7% per il questionario svolto dopo la challenge e solo 0,4% in quello di fine anno.

Questi risultati devono condurre ad una riflessione sull'efficacia di questa metodologia, che verrà messa a confronto con le altre nel capitolo 5.4. Quello che è possibile

affermare sin da ora è che i dati in diminuzione indicano che non solo gli studenti non hanno imparato nulla durante questo tipo di lezioni ma, al contrario, hanno avuto l'effetto di confondere ulteriormente i loro pensieri sulla cinematica, nonostante la richiesta di redazione di una relazione scientifica in cui i ragazzi avrebbero dovuto approfondire gli aspetti fisici della caduta dell'uovo. L'assenza totale di scaffolding sembra aver impedito agli studenti di superare efficacemente le loro misconcezioni e di sviluppare una comprensione dei concetti tale da poter aumentare la percentuale di risposte corrette. La scarsa qualità delle relazioni ne è la misura: nessuna di esse, infatti, può essere considerata completa, con una chiara spiegazione del fenomeno di caduta libera dell'uovo o con una terminologia corretta e utilizzata in modo pertinente; sono invece tutte approssimative, con spiegazioni carenti e, in alcuni casi, scorrette dal punto di vista fisico. Quando la fase di ricerca di informazioni non viene adeguatamente guidata e non include momenti di riflessione, si evidenzia una duplice problematica: da un lato gli studenti tendono a limitarsi a una raccolta superficiale di informazioni, spesso copiando dal web o utilizzando intelligenze artificiali senza un reale processo di comprensione e interiorizzazione. Dall'altro, nell'affrontare le sfide pratiche, si concentrano esclusivamente sull'obiettivo della vittoria e sulla costruzione dell'oggetto richiesto, procedendo in modo prevalentemente casuale e basandosi su esperienze quotidiane, anziché applicare principi scientifici alla progettazione. Per questi motivi è possibile affermare che l'apprendimento è stato carente sia per gli aspetti teorici, che sono rimasti frammentati e confusi, sia per le ripercussioni pratiche, che non sono state colte. Un'analisi più dettagliata di alcuni risultati, inoltre, evidenzia come l'esperienza pratica della challenge possa aver paradossalmente contribuito a rinforzare alcune misconcezioni.

Un secondo aspetto da considerare è che questi test, considerato che i risultati posteriori alla challenge sono molto simili a quelli precedenti, perdono completamente di rilevanza statistica, il t-test infatti rileva una probabilità che i dati siano frutto di fluttuazioni casuali del 52,57% nel questionario post-lezione (p-value di 0,5257) e addirittura del 92,52% nel questionario di fine anno (p-value di 0,9252).

L'analisi delle risposte evidenzia un netto peggioramento nella prima domanda del questionario: solo l'11,8% degli studenti nel post-test e il 5,9% nel test finale ha risposto correttamente che il tempo di caduta di oggetti di peso diverso è lo stesso, a fronte di una percentuale del 24,1% nel pre-test. Questo risultato è particolarmente significativo se si considera che la challenge richiedeva agli studenti di progettare un sistema per impedire la rottura di un uovo in caduta libera, e molti gruppi hanno optato per la costruzione di un paracadute per rallentarne la discesa. L'esperienza pratica di manipolare oggetti in caduta e osservare velocità diverse attraverso l'uso del paracadute

potrebbe aver interferito con la comprensione del principio dell'indipendenza della massa nella caduta dei gravi. Tale ipotesi risulta ulteriormente avvalorata dal confronto con quanto gli studenti hanno riportato nelle relazioni finali: in quasi tutte, infatti, è chiaramente affermato che "Questo è il principio fondamentale della caduta libera, secondo cui tutti gli oggetti, indipendentemente dalla loro massa, cadono alla stessa accelerazione verso il basso, nota come accelerazione di gravità (g)". Emerge, quindi, una evidente discrepanza tra la conoscenza teorica dichiarata dagli studenti e la loro effettiva comprensione del fenomeno, suggerendo una possibile difficoltà sia nell'acquisire conoscenze tramite la ricerca individuale, sia nel trasferire i concetti appresi in un contesto pratico.

La seconda domanda ha avuto un evidente ma instabile aumento nelle risposte corrette, che passano dal 20,5% nel pre-test, al 50,0% nel primo post-test e al 17,7% nel secondo. Tuttavia, la lettura di questi dati, unita a quelli della domanda precedente, rende difficile interpretare il risultato del primo post-test come un'effettiva comprensione da parte degli studenti del fatto che il peso delle due palle non influisca sulla distanza orizzontale percorsa. Tale conclusione risulta ancor più problematica se si analizzano i test delle due classi coinvolte singolarmente: mentre la II biennale ha raggiunto valori di risposte corrette intorno al 75%, la I triennale ha ottenuto risultati più bassi, attestandosi al 12,1%. Considerando che negli altri tre casi le risposte corrette si mantengono intorno al 15%, è plausibile ipotizzare che il picco anomalo sia dovuto a interferenze o suggerimenti durante lo svolgimento del questionario, piuttosto che a una reale acquisizione del concetto da parte degli studenti, pertanto, come in altre occasioni, non verrà tenuto conto di questo risultato (Grafico 41).

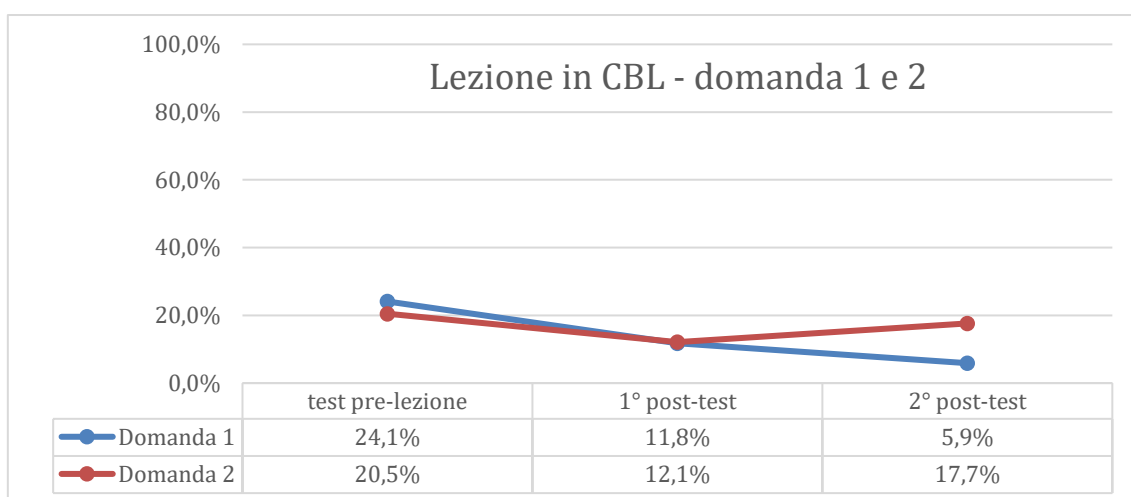


Grafico 41 - Comparazione delle risposte alle domande 1 e 2 di cinematica successive alla lezione in CBL.

Anche la terza domanda mostra una sostanziale stabilità nelle percentuali di risposte corrette, con un 22,9% nel test iniziale e un 11,8% in entrambi i post-test. Questo peggioramento potrebbe essere attribuito a un'errata interpretazione delle informazioni raccolte dagli studenti durante la fase di ricerca sulla caduta dei gravi. Il 67,8% degli studenti ha risposto che l'attrazione gravitazionale diventa più intensa man mano che la pietra si avvicina alla Terra, un'affermazione teoricamente vera ma irrilevante nel contesto del problema proposto, in cui la pietra cadeva dal tetto di un edificio di un solo piano (basti considerare che per distanze significative come 5000 metri di altitudine, il valore di g diminuisce solo di $0,04 \text{ m/s}^2$). L'informazione che l'accelerazione gravitazionale diminuisce con la distanza dal centro della Terra è facilmente reperibile online, e gli studenti potrebbero averla assimilata senza valutarne l'impatto pratico nel contesto specifico. A questa problematica si aggiunge la consueta confusione tra velocità e accelerazione tanto che, come sarà esplicitato in seguito, nei test successivi alla challenge sembra più evidente. Alcune risposte aperte supportano questa interpretazione, come ad esempio: "La velocità è crescente" nonostante il quesito si riferisse esplicitamente all'accelerazione, oppure "Perché grazie alla forza di gravità viene attratta verso il suolo e più è lungo il salto maggiore sarà l'accelerazione del corpo". Questi elementi suggeriscono che gli studenti hanno interiorizzato informazioni teoriche senza però sviluppare una piena comprensione delle loro implicazioni pratiche, evidenziando una difficoltà nel trasferire concetti astratti a situazioni concrete.

La quarta domanda del questionario, relativa alla palla di cannone, è l'unica a mostrare un miglioramento, con le risposte corrette che aumentano dal 30,1% nel pre-test al 35,3% nel post-test e al 47,1% nel test finale, tuttavia considerando i valori del t-test non è possibile parlare di avvenuto apprendimento.

Risultati opposti, come è visibile dal grafico (Grafico 42), si ottengono nell'altra domanda sui moti composti, relativa alla palla da bowling, i cui risultati non migliorano. Le risposte corrette, infatti, passano dal 6,0% iniziale al 5,9% in entrambi i test successivi alle lezioni.

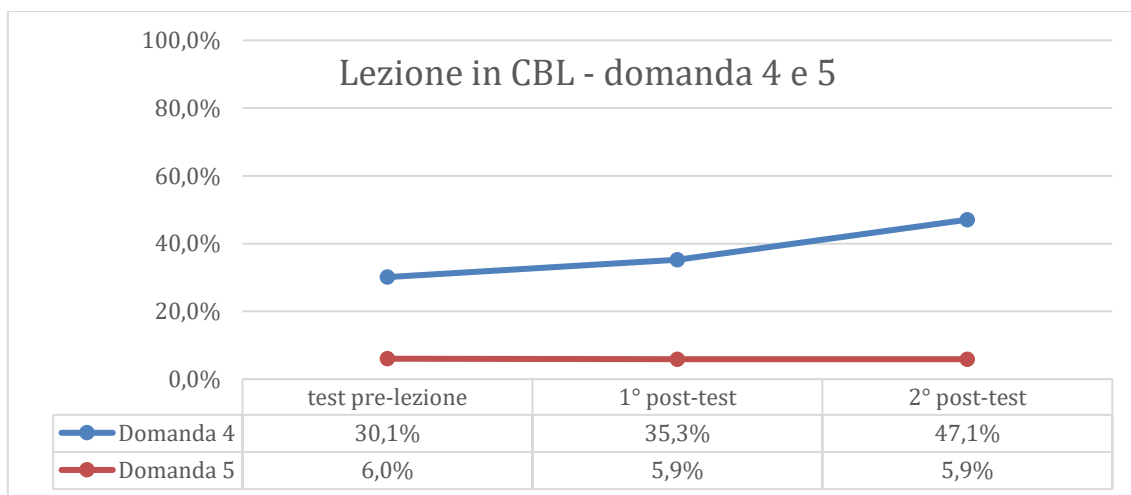


Grafico 42 - Comparazione delle risposte alle domande 4 e 5 di cinematica successive alla lezione in CBL.

Come nei casi affrontati in precedenza, le traiettorie più scelte sono state quella parabolica in direzione contraria al moto dell'aereo, con spiegazioni simili a: "La palla di cannone viene sparata quindi per un po' andrà dritta e poi si curva verso terra, invece la palla da bowling che cade dall'aereo va indietro rispetto all'aereo che va avanti", e la traiettoria verticale, con spiegazioni analoghe a: "la palla del cannone ha una spinta che è dovuta allo sparo del cannone in orizzontale, per poi calare con il suo peso, mentre la palla da bowling viene direttamente lanciata dall'aereo e non ha alcuna forza che la spinge a muoversi in orizzontale quindi precipita direttamente verso il basso per il peso". Nelle ultime tre domande risulta particolarmente evidente la confusione terminologica e concettuale relativa a velocità ed accelerazione, tanto che la risposta più scelta in tutti i questionari con percentuali vicine al 50% degli studenti, è quella che descrive il comportamento della velocità e non dell'accelerazione. In dettaglio, nella domanda sulla fase ascendente la risposta corretta è stata scelta dall'11,8% e dal 14,7% degli studenti nei due post-test, mentre "l'accelerazione è verso l'alto e diminuisce" è stata scelta nel 44,1% dei questionari di fine anno (47,1% in quelli post-lezione); nella domanda sulla moneta all'apice della traiettoria la risposta corretta è stata data nello 0% dei questionari post-lezione e nel 5,9% dei questionari di fine anno, mentre "l'accelerazione è zero" è stata scelta nel 47,1% dei questionari di fine anno (55,9% in quelli post-lezione); nella domanda sulla moneta durante la fase discendente la risposta corretta è stata scelta dal 29,4% degli studenti nel primo e dal 32,4% degli studenti nel secondo dei due test, mentre "l'accelerazione è verso il basso ed aumenta" è stata scelta dal 58,6% degli studenti dei questionari di fine anno (50,0% in quelli post-lezione). Questi dati fanno pensare che in tutte e tre le domande la maggior parte degli studenti abbia risposto pensando alla velocità e non all'accelerazione che nel primo caso è effettivamente verso l'alto in diminuzione, nel secondo è zero e nel terzo è verso il basso in aumento. Per un

migliore confronto tra la risposta corretta e quella che fa riferimento all'accelerazione in queste tre domande, è utile visualizzare i dati con un grafico (Grafico 43).

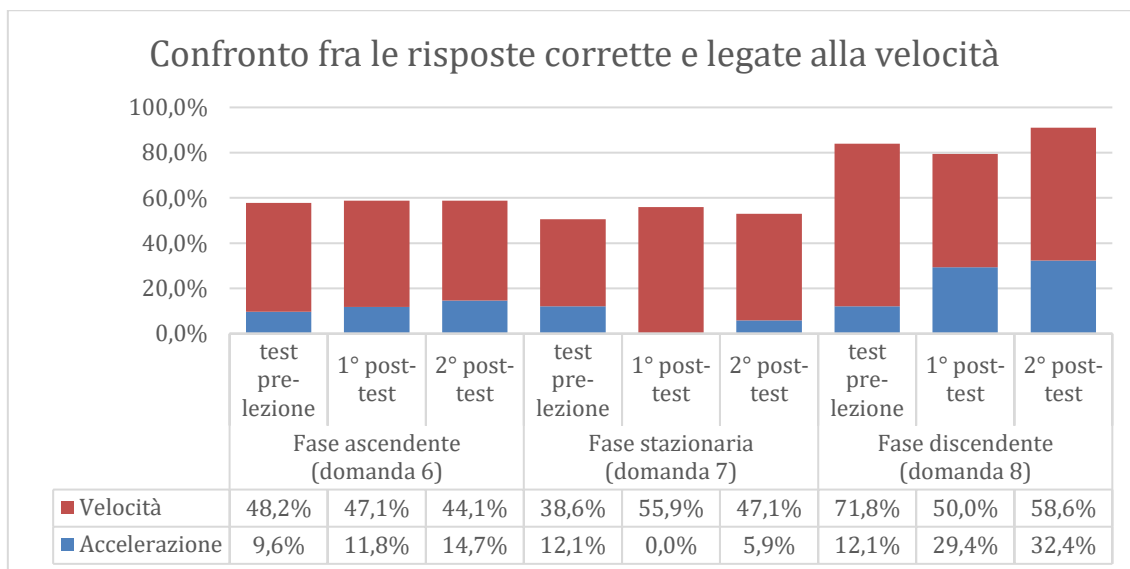


Grafico 43 - Confronto tra le risposte corrette ("Accelerazione") e quelle legate all'identificazione di questa grandezza con la velocità ("Velocità") dopo la lezione in CBL, divise in funzione della fase del lancio e del test a cui si riferiscono.

Le percentuali più alte di risposte corrette nell'ultima domanda sono spiegabili in questo modo: nella fase discendente della moneta sia la velocità che l'accelerazione sono rivolte verso il basso (non ci sono state risposte di nessun altro tipo nei questionari) per cui uno studente potrebbe aver risposto che "l'accelerazione è verso il basso ed è costante" anche ritenendo erroneamente che, come espresso in molte risposte aperte, i corpi in caduta libera raggiungano quasi subito una certa velocità che poi si mantiene costante. La maggior parte delle risposte aperte in cui era richiesta la spiegazione del moto della moneta sono state analoghe a: "La moneta parte dalla mano con accelerazione verso l'alto, arriva al punto più alto con accelerazione neutra e quando cade la moneta l'accelerazione è verso il basso", ma c'è stata una risposta che ha incuriosito perché dallo studente che ha risposto "L'accelerazione è verso il basso e costante per la gravità" era lecito aspettarsi le sei risposte alle tre domande tutte corrette, invece in tre casi ha dato la risposta errata, indicando sempre l'accelerazione verso il basso, ma in due casi in aumento (domanda 7 e 8 del post-test) ed in un caso in diminuzione (domanda 7 del test a fine anno).

5.3.2 Termologia

Anche per quanto riguarda la termologia, la sperimentazione in challenge-based non ha avuto gli effetti sperati, il grafico (Grafico 44) mostra infatti che le risposte corrette non sono aumentate in maniera consistente: rispetto al numero di risposte corrette del pre-test (2,04), è stato registrato un aumento di meno di mezza risposta nel primo post-test (2,46 risposte corrette) e di 0,2 risposte nel secondo (2,21 risposte corrette). Questo comporta il GE più basso per la termologia che si attesta al 7,2% per il questionario successivo alle lezioni e al 3,0% per quello somministrato a fine anno.

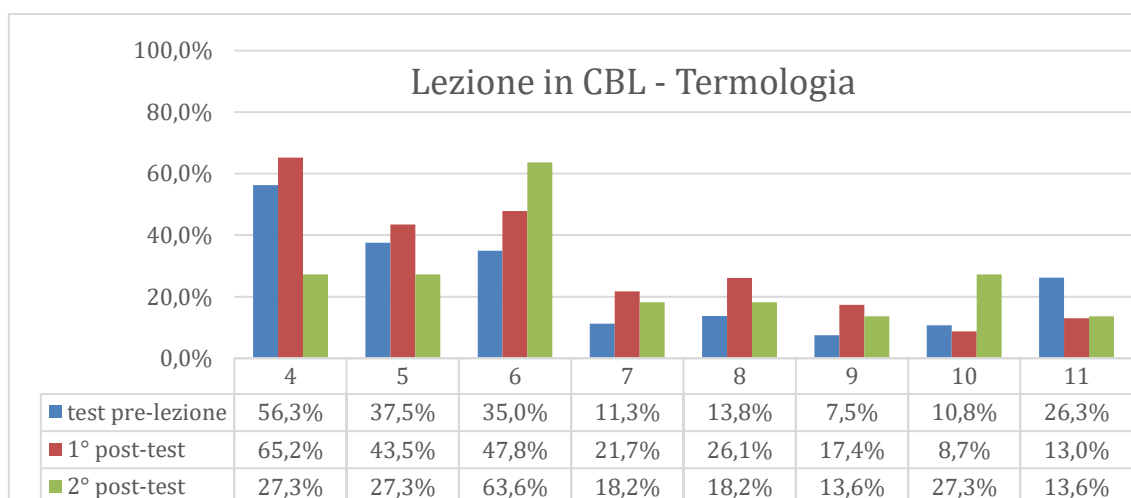


Grafico 44 - Confronto delle risposte del test pre-lezione e dei due post-test per le lezioni in CBL di termologia.

Avendo ottenuto risultati molto simili nei tre questionari, non sorprende che la probabilità di ottenere questi dati in modo casuale sia superiore al livello di significatività del 5% per il confronto di entrambi i questionari con quello iniziale, eseguendo il t-test infatti si ottiene una probabilità del 13,62% per il primo caso e 54,80% per il secondo. Alla luce di quanto emerso quindi è possibile concludere che questo tipo di lezione ha avuto una marginale ricaduta sull'apprendimento, ininfluente dal punto di vista statistico, soprattutto per quanto riguarda le conoscenze acquisite e mantenute dagli studenti a fine anno. Anche in questo caso la redazione delle relazioni non ha aggiunto significatività alla comprensione concettuale e dalla lettura degli elaborati è possibile individuare alcune caratteristiche utili a capirne il motivo. Le relazioni sono molto accurate nella spiegazione del procedimento utilizzato dai gruppi nella costruzione della scatola termica, si concentrano sulla scelta dei materiali utilizzati e sulle fasi operative ma sono carenti riguardo la spiegazione fisica del processo di fusione del ghiaccio che, quando presente, è riportata come se fosse un glossario di terminologia scientifica, con pochi riferimenti al lavoro pratico. La stessa terminologia utilizzata è difforme nelle due sezioni della

relazione: le parti descrittive del lavoro utilizzano termini colloquiali, evidenti errori grammaticali e di ragionamento, mentre le parti in cui è presente la spiegazione scientifica sono scritte con una proprietà di linguaggio e con concezioni fisiche che non sono coerenti con il livello di istruzione degli allievi né con le risposte fornite ai test. Questo suggerisce che gli studenti non abbiano capito a fondo i concetti che hanno riportato sulla relazione ma che siano il frutto di un lavoro di copiatura da fonti online senza un'adeguata rielaborazione concettuale dei processi fisici descritti. A conferma di questo vengono riportate alcune frasi che manifestano la discrepanza di ragionamento. In una relazione gli allievi scrivono che: "Durante la fusione, il cubetto di ghiaccio assorbe calore dall'ambiente circostante senza un aumento significativo della temperatura. Dopo che tutto il ghiaccio si è fuso, la temperatura del sistema inizia di nuovo a salire", ma qualche riga dopo, nella spiegazione di come è stata realizzata la loro scatola scrivono che è necessario "che il contenitore sia ben chiuso per evitare la dispersione del freddo", contraddicendo la concezione corretta scritta sopra riguardante l'assorbimento del calore da parte del ghiaccio. Un secondo esempio, in cui emergono evidenti misconcezioni degli studenti del gruppo, è il seguente: "Per sostenere il bicchiere e aumentare a sé le onde fredde emesse dal cubetto di ghiaccio abbiamo creato un sostegno del bicchiere in polistirolo", "il ghiaccio che abbiamo messo dentro la scatola aveva verosimilmente una temperatura da 0 ai 5 gradi", e "trascorsa un'altra ora la temperatura che si è creata all'interno della stanza del cubetto, era così bassa che stava per ghiacciare l'acqua circostante al cubetto, facendo questo passaggio di stato da solido a liquido per poi diventare di nuovo solido". Queste misconcezioni, se non vengono corrette durante una fase di spiegazione, rischiano di alimentare ragionamenti errati che contribuiscono a consolidare concetti sbagliati, compromettendo la capacità di analizzare fenomeni fisici in modo corretto.

Le risposte analizzate, tuttavia, rivelano un dato sorprendente: nella definizione di calore richiesta dal questionario la maggior parte delle risposte sono corrette o parzialmente corrette, le migliori di esse identificano il calore come una forma di energia (spesso viene specificato che si tratta di energia termica), che si trasferisce tra corpi a causa di una differenza di temperatura e le risposte meno precise, pur essendo incomplete, mostrano comunque una comprensione di base del concetto. Anche quando le definizioni non sono del tutto rigorose, come nel caso di "è un'energia che ti riscalda", emerge comunque l'intuizione fondamentale che il calore sia una forma di energia in grado di trasmettersi e produrre un riscaldamento. Meno della metà delle risposte sono completamente errate e riflettono le idee ingenuie di calore come forza, come temperatura o come energia contenuta, ad esempio: "Il calore è una forza che può provocare energia", "Il calore è una temperatura elevata che produce calore" oppure "È

un'energia del corpo". Questo risultato può essere attribuito a due fattori: durante la fase di stesura delle relazioni gli studenti hanno necessariamente dovuto approfondire il concetto di calore, il che ha facilitato la comprensione; dall'altro la possibilità che la definizione sia stata memorizzata durante le ricerche online.

Per quanto riguarda la definizione di temperatura, invece, le risposte sono simili a quelle del pre-test, in particolare è evidente la diffusione della misconcezione che la identifica come una misura del calore contenuto in un corpo, come dimostrano, ad esempio, risposte simili a "La temperatura è l'unità di misura che serve a misurare il calore". Molte definizioni risultano vaghe e non ne dimostrano la comprensione concettuale, come nel caso di: "È una misura naturale". Solo alcune risposte possono essere considerate parzialmente corrette, in quanto definiscono la temperatura come grandezza fisica o unità di misura, e le migliori tra queste hanno appropriati riferimenti allo stato termico del corpo.

Le risposte alla richiesta di spiegazione del principio di funzionamento del termometro a dilatazione mostrano che circa la metà degli studenti ritiene che a causa dell'aumento di temperatura il mercurio contenuto all'interno del termometro si dilati, sebbene alcune di queste risposte manchino di chiarezza o precisione. L'altra metà degli studenti ha fornito risposte inadeguate: alcuni si sono limitati a osservare che il mercurio "sale" senza offrire spiegazioni o fornendone di errate, altri hanno descritto solo l'utilizzo pratico dello strumento anziché il suo principio di funzionamento, scrivendo, ad esempio, che "serve a misurare la temperatura" senza ulteriori dettagli. Confrontando queste risposte con quelle del pre-test, si nota tuttavia un lieve miglioramento qualitativo: sono diminuite le risposte "non so" e gli studenti sembrano aver fatto uno sforzo per elaborare un proprio ragionamento, un segnale che indica l'attivazione del pensiero critico o quantomeno il desiderio di dimostrare la conoscenza della risposta corretta.

Le domande a risposta chiusa hanno generalmente ottenuto risultati inferiori rispetto ai test post-lezione relativi alle altre metodologie didattiche, anche se alcune specifiche domande hanno mostrato performance migliori, come verrà dettagliato nell'analisi puntuale delle risposte.

La quarta domanda, relativa alla temperatura del ghiaccio nel freezer, è una delle eccezioni: nel primo post-test infatti gli studenti hanno risposto correttamente nel 65,2% dei questionari, dato che però peggiora in modo consistente nel test di fine anno in cui le risposte corrette sono solo il 27,3%, inferiore anche al dato del pre-test che era 56,3% (cfr. il Grafico 45, in cui è possibile il confronto con la domanda successiva). Analizzando le risposte errate si può notare che tra i due post-test c'è un aumento relativo in particolar modo a due tipologie di errore: la tendenza a legare la temperatura del ghiaccio alle dimensioni del cubetto e la convinzione che la temperatura più probabile sia 0° C e non

-10° C. Alla luce della challenge che è stata fatta tra gli studenti, incentrata sullo scioglimento del ghiaccio, questa risposta è però particolarmente rilevante, ed il contrasto tra i buoni risultati del primo post-test e quelli nettamente inferiori del secondo, suggerisce che le conoscenze acquisite durante la costruzione della scatola termica, sebbene inizialmente solide, non solo vengono rapidamente dimenticate, ma sembrano anche generare confusione negli studenti. È plausibile che l'aumento delle risposte relative alle dimensioni del ghiaccio sia stato influenzato dall'esperienza della challenge, durante la quale si prestava particolare attenzione alle dimensioni dei cubetti, così come è possibile che durante la stesura delle relazioni, gli studenti abbiano erroneamente interiorizzato l'idea che il ghiaccio debba necessariamente trovarsi a 0° C. A supporto di questa interpretazione è possibile, infatti, riscontrare all'interno delle relazioni alcune frasi che suggeriscono una comprensione errata della temperatura del ghiaccio, come: "la temperatura iniziale [del ghiaccio] era di 0 gradi" o il già citato "il ghiaccio che abbiamo messo dentro la scatola aveva verosimilmente un temperatura da 0 ai 5 gradi".

La domanda sulla temperatura di scioglimento del ghiaccio era anch'essa molto vicina all'esperienza della challenge e anch'essa ha avuto percentuali inferiori rispetto alle altre tre modalità didattiche. Le risposte corrette, che erano inizialmente il 37,5%, passano al 43,5% nel primo post-test per poi diminuire al 27,3% nel secondo (Grafico 45).

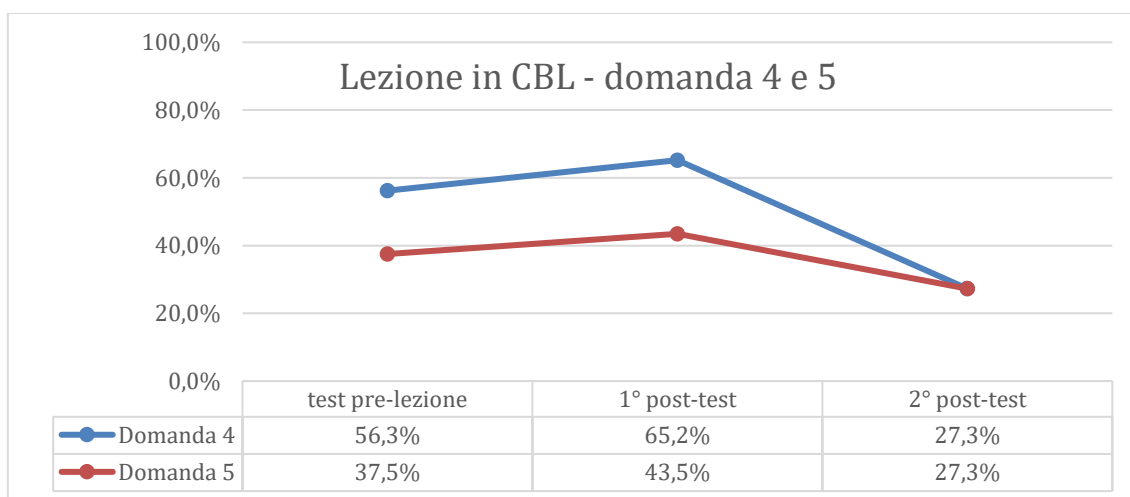


Grafico 45 - Comparazione delle risposte successive alla lezione in CBL alle domande 4 e 5 dei test di termologia.

Anche questo risultato è stato sorprendente, inferiore a quanto atteso proprio per l'analogia con l'esperienza pratica effettuata e potrebbe essere causato da interpretazioni non corrette del fenomeno, una frase come la seguente, scritta in una delle relazioni: "Non appena la temperatura aumenta e supera 0°C, inizia a fondere" può essere mal interpretata dagli studenti che potrebbero pensare che durante la fase di fusione la temperatura della miscela dell'acqua con il ghiaccio fondente debba essere

superiore agli 0° C ed averli quindi portati a rispondere 5° C (risposta che è stata data da circa il 65% degli studenti nel test di fine anno). Anche in questo caso, infatti, il risultato del test finale è stato inferiore a quello del test iniziale, segno che l'attività non solo non ha raggiunto lo scopo, ma ha invece contribuito ad aumentare la confusione negli studenti.

La sesta domanda, relativa alla temperatura di ebollizione dell'acqua, presenta due peculiarità nel test di fine anno: è l'unica in cui la percentuale di risposte corrette supera il 30% ed è anche l'unica in cui le risposte corrette superano quelle ottenute con altre metodologie didattiche. L'evoluzione delle risposte corrette mostra una tendenza positiva, partendo da un 35,0% nel pre-test, salendo al 47,8% nel primo post-test, per arrivare al 63,6% nel secondo post-test. Date le basse percentuali di risposte corrette nelle altre domande del test finale e l'elevata percentuale in questa, è stata condotta un'analisi approfondita per verificarne l'autenticità, esaminando i questionari individuali degli studenti. Da questa analisi sono emerse due situazioni differenti tra le due classi: in una, la percentuale di risposte corrette è rimasta stabile intorno al 50% tra i due post-test, quindi non c'è motivo di rigettare questi dati e nell'altra classe si è invece registrato un aumento con alcune caratteristiche significative; mentre le risposte errate che indicavano temperature specifiche (88°C e 110°C) sono rimaste costanti nei due post-test, è diminuito il numero di risposte "nessuna delle precedenti", con un aumento proporzionale del numero di risposte corrette, visibile anche considerando i dati aggregati delle due classi (Grafico 46).

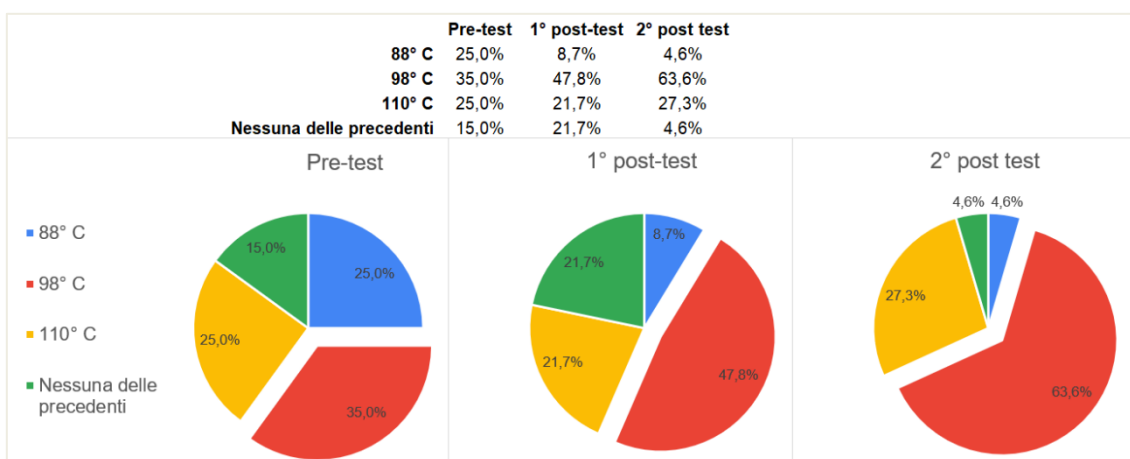


Grafico 46 - Comparazione delle risposte della domanda 6 relativo al test successivo alla lezione in CBL.

Questi risultati suggeriscono che gli studenti che hanno dato risposte errate hanno mantenuto la loro convinzione sia dopo le lezioni che a fine anno e che al contempo, gli studenti inizialmente incerti o che si aspettavano necessariamente 100°C hanno poi optato per la risposta corretta. A supporto di questa ultima affermazione viene riportato

il commento al test fornito da uno studente, che, anche se era esplicitato che andasse indicata la temperatura a cui “si avvicina” l’acqua in ebollizione, scrive che “l’acqua non può bollire ad una temperatura di 98° C”. Sulla base di questa analisi, vengono quindi considerate valide tutte le risposte.

La domanda successiva mostra un andamento più tipico: la percentuale di risposte corrette aumenta inizialmente dall'11,3% nel pre-test al 21,7% dopo le lezioni, per poi diminuire al 18,2% nel test finale. In tutti i test persiste la misconcezione secondo cui l’acqua in ebollizione per più tempo raggiunga temperature più elevate. Questa convinzione errata si riflette nella forte tendenza degli studenti a indicare temperature superiori a 98°C, con percentuali che raggiungono il 73,9% nei questionari post-challenge e addirittura l'81,8% in quelli di fine anno. Sebbene il concetto di calore latente fosse stato suggerito come elemento da includere nelle relazioni, e nonostante sia stato effettivamente inserito e talvolta spiegato correttamente, risulta evidente come la sola pratica della scrittura non sia stata sufficiente a garantirne l'effettivo apprendimento. Ad esempio, un gruppo scrive: “Una volta raggiunto il punto di fusione, il ghiaccio inizia a fondere. Durante la fusione, il cubetto di ghiaccio assorbe calore dall'ambiente circostante senza aumentare la temperatura. Dopo che tutto il ghiaccio si è fuso, la temperatura del sistema inizia di nuovo a salire”, ma tutti e tre i componenti del gruppo rispondono, in maniera errata, 110° C in entrambi i post-test.

L’ottava domanda, in cui era necessario scegliere la risposta che spiegava meglio il processo di raffreddamento di alcune uova messe nell’acqua fredda, ha avuto lo stesso tipo di andamento, le percentuali di risposte corrette vanno da 13,8% a 26,1% per poi calare al 18,2%. Il fatto che anche il trasferimento di calore è stato citato e spiegato da quasi tutte le relazioni in maniera corretta è una conferma del fatto che per provocare apprendimento negli studenti non sia sufficiente far scrivere loro delle relazioni, che hanno un lieve effetto sui distrattori più ingenui ma non portano gli studenti alla piena comprensione. La risposta errata che riguarda la tendenza degli oggetti a scaldarsi diminuisce infatti dal 37,5% del pre-test al 26,1% nel primo post-test e al 22,7% nel secondo, così come quella che identifica il freddo come ente che si trasferisce da un oggetto ad un altro che passa dal valore iniziale di 28,8% al 13,0% nel primo post-test e al 18,2% nel secondo. Aumentano invece le risposte che denotano confusione fra i concetti di calore, energia e temperatura: le risposte secondo cui al trasferimento di calore corrisponde un trasferimento di temperatura e non di energia aumentano infatti dal valore del pre-test del 20,0% al 34,8% nel primo post-test e al 40,9% nel post-test di fine anno, concetti che evidentemente le relazioni non hanno contribuito a chiarire (Grafico 47).

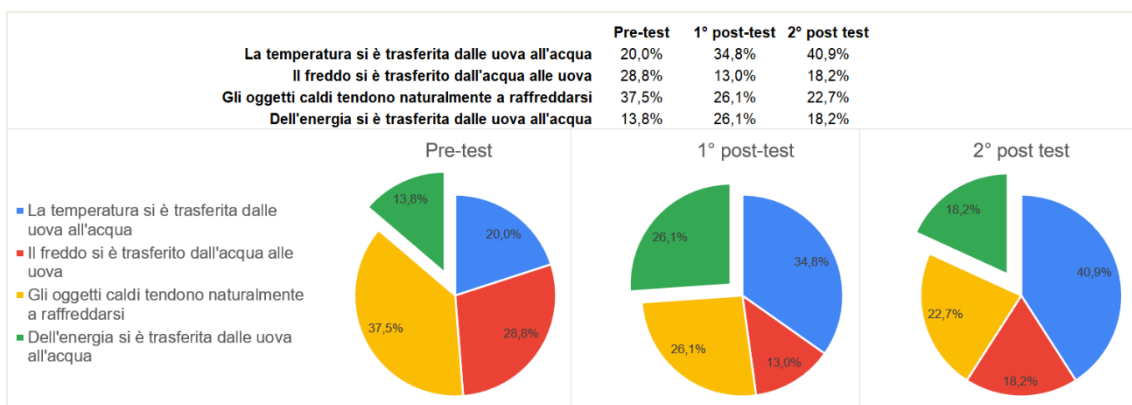


Grafico 47 - Comparazione delle risposte della domanda 8 relativo ai test successivi alla lezione in CBL.

Le domande 9 e 10 erano relative alla diversa percezione di calore di oggetti posti nello stesso ambiente ma composti di materiali diversi e hanno avuto andamenti differenti: la prima di queste due domande ha avuto il solito calo di risposte corrette a fine anno dopo un aumento nel test post-challenge, il valore iniziale di risposte corrette era di 7,5%, il primo post-test di 17,4% ed il secondo di 13,6%; la decima domanda mantiene invece risposte corrette quasi costanti tra il valore iniziale, 10,8%, e il primo post-test, 8,7%, per poi registrare un incremento fino al 27,3% (Grafico 48).

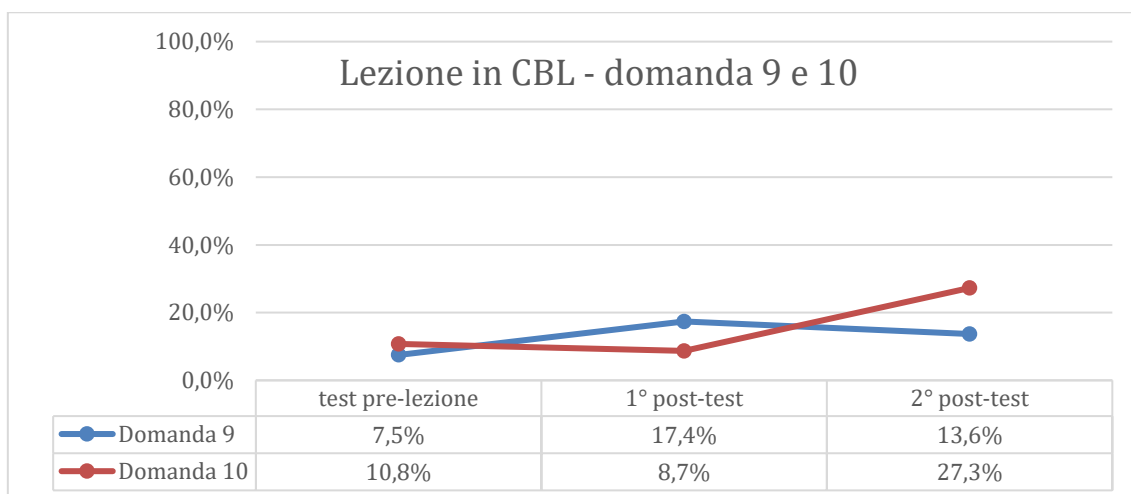


Grafico 48 - Comparazione delle risposte successive alla lezione in CBL alle domande 9 e 10 dei test di termologia.

Questo andamento particolare è stato determinato principalmente da una delle due classi che ha mostrato un inaspettato miglioramento di risposte corrette, in questo caso è possibile mantenere i dati poiché questo miglioramento si riflette sulle spiegazioni fornite alle differenti sensazioni termiche di materiali diversi ad uguale temperatura. Nel primo post test, infatti, le migliori risposte erano solo parzialmente corrette e attribuivano la diversa sensazione alla conduttività termica del materiale ma senza spiegarne l'effetto durante il contatto con la mano; nel secondo post-test, invece, le risposte sono risultate

più complete con riferimenti specifici alla maggiore rapidità di assorbimento del calore da parte dei materiali conduttori. Nonostante questo miglioramento, è importante rilevare che in entrambi i test persiste un utilizzo errato del termine "freddo", come nell'espressione "il metallo assorbe il freddo", segno che, coerentemente con le risposte precedenti, la comprensione del trasferimento di calore non è ancora adeguata. Nella seconda classe invece, in linea con le aspettative, si possono considerare migliori le risposte del primo post-test, confermando la tendenza degli studenti a dimenticare alcuni concetti chiave della terminologia.

L'analisi delle risposte dell'ultima domanda, quella riguardante il riscaldamento delle bambole sotto le coperte, rivela risultati particolarmente critici e stabili nel tempo. Questa domanda ha registrato non solo il tasso più basso di risposte corrette tra tutte le domande e le modalità didattiche nel questionario finale, ma ha mostrato anche un significativo peggioramento rispetto alla situazione iniziale. Da una percentuale del 26,3% di risposte corrette nel pre-test, si è passati a un marcato declino nei test successivi, con solo il 13,0% di risposte corrette dopo la challenge e il 13,6% a fine anno. Un'ipotesi per spiegare questo risultato particolarmente negativo potrebbe essere l'eccessiva attenzione che gli studenti hanno dedicato alla scelta dei materiali per il mantenimento della temperatura all'interno della scatola durante la challenge. Questa enfasi sui materiali da utilizzare potrebbe infatti aver ostacolato la corretta comprensione del motivo per cui le persone si scaldano sotto le coperte ma le bambole no, portando a una confusione concettuale che si è manifestata nei risultati dei test successivi che li ha portati ad indicare la causa del mancato riscaldamento al materiale di cui sono fatte le bambole (69,6% nel primo post-test e 72,7% nel secondo) (Grafico 49).

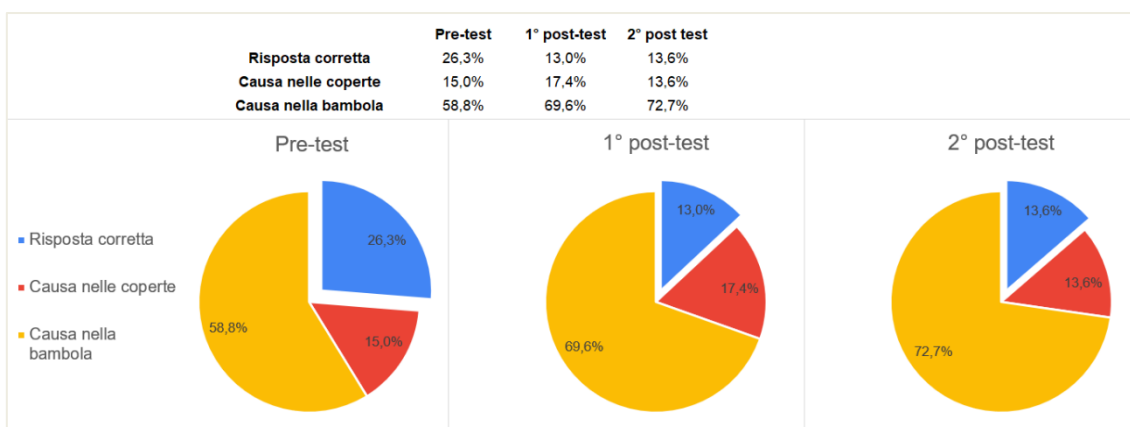


Grafico 49 - Analisi delle risposte relative alla domanda 11 dei test di terminologia successivi alla lezione in CBL. Nel grafico a torta è possibile vedere a quale elemento gli studenti attribuiscono la causa del mancato riscaldamento della bambola.

Le motivazioni date dagli studenti al mancato riscaldamento rispecchiano la carenza della comprensione concettuale: nei test dopo la challenge un solo studente ha

individuato correttamente che “Le bambole non si riscaldavano perché erano fatte di plastica e non c’era nessuna fonte di calore dato che le bambole non producono energia”, ed un secondo ha scritto che “Perché quando l’ha messa sotto la coperta ha preso con sé la temperatura ambiente quindi è rimasta a temperatura ambiente e non si è scaldata”, ragionamento corretto per quanto riguarda il motivo per cui non si è scaldata ma errato per la confusione che dimostra tra calore e temperatura; nel test di fine anno si riscontra una sola risposta soddisfacente “la bambola non emette energia né tantomeno è composta da organi viventi per riscaldare le coperte”. Tutte le altre risposte scritte, coerentemente con le risposte chiuse scelte, attribuiscono il mancato riscaldamento al materiale delle coperte che non “trattiene il calore” o alle bambole che “non si riscaldano”.

In conclusione, l’argomento che ha avuto maggior riscontro positivo è la definizione del calore, con definizioni migliori e più complete. Guardando invece i risultati dei test, si hanno esiti lievemente migliori nelle domande in cui era necessario indicare le temperature del ghiaccio e dell’acqua in ebollizione (domande 4, 5 e 6), mentre in quelle riguardanti la comprensione concettuale degli altri argomenti i punteggi sono piuttosto bassi. Una possibile interpretazione è che nella ricerca di informazioni per la realizzazione della scatola termica, gli studenti abbiano compreso meglio le nozioni che non necessitavano di una rielaborazione, come le temperature relative ai passaggi di stato, mentre abbiano fatto più fatica o addirittura non abbiano compreso i concetti più complessi in cui era necessario collegare più nozioni o attivare maggiormente il pensiero critico, come le percezioni sensoriali e i processi termodinamici.

5.4 Confronto tra metodi didattici

Dopo aver analizzato in modo approfondito i risultati dei questionari in relazione alle diverse attività didattiche adottate, risulta molto utile confrontarli per valutare se esistano argomenti, contesti o situazioni in cui un metodo si dimostra più efficace rispetto a un altro. L'analisi comparativa delle metodologie didattiche si baserà sul confronto dei risultati del test iniziale sia con il test successivo alle lezioni sia con quello di fine anno.

5.4.1 Confronto di cinematica

Per quanto riguarda le lezioni di cinematica, i dati indicano che la lezione in modalità Challenge-Based Learning ha prodotto risultati significativamente inferiori rispetto alle lezioni frontali e laboratoriali in entrambi i post-test su quasi tutte le domande del questionario, fa eccezione la seconda domanda del secondo post-test e l'ultima domanda di entrambi i test. Per facilitare il confronto, nei seguenti grafici vengono riportati i dati relativi alle risposte corrette del test post-lezione (Grafico 50) e del test di fine anno (Grafico 51).

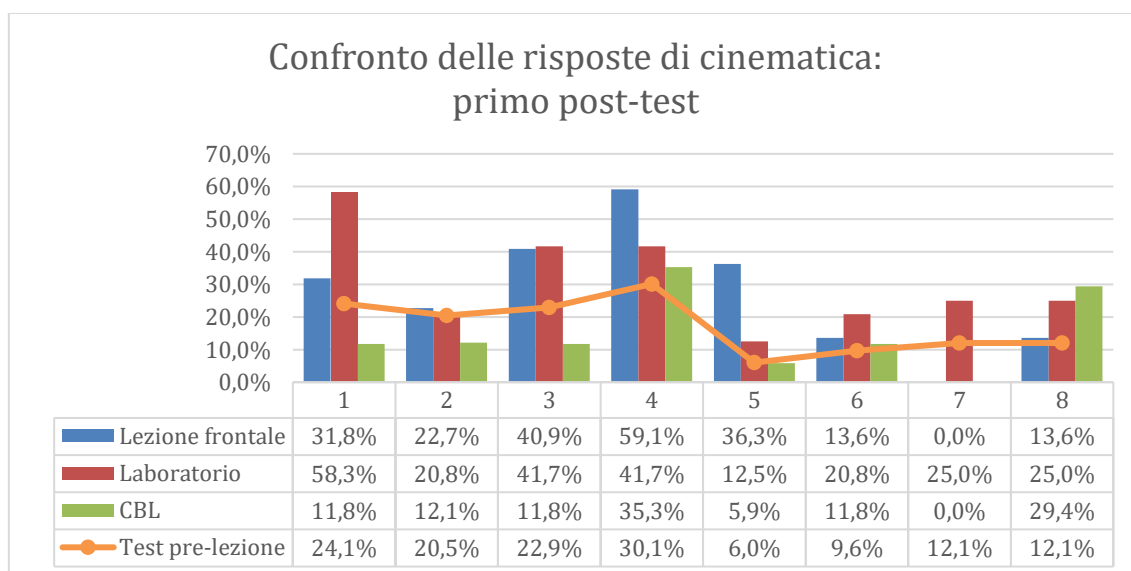


Grafico 50 – Confronto delle risposte del primo post-test di cinematica in funzione della metodologia didattica adottata, è possibile confrontare i risultati con quelli del pre-test.

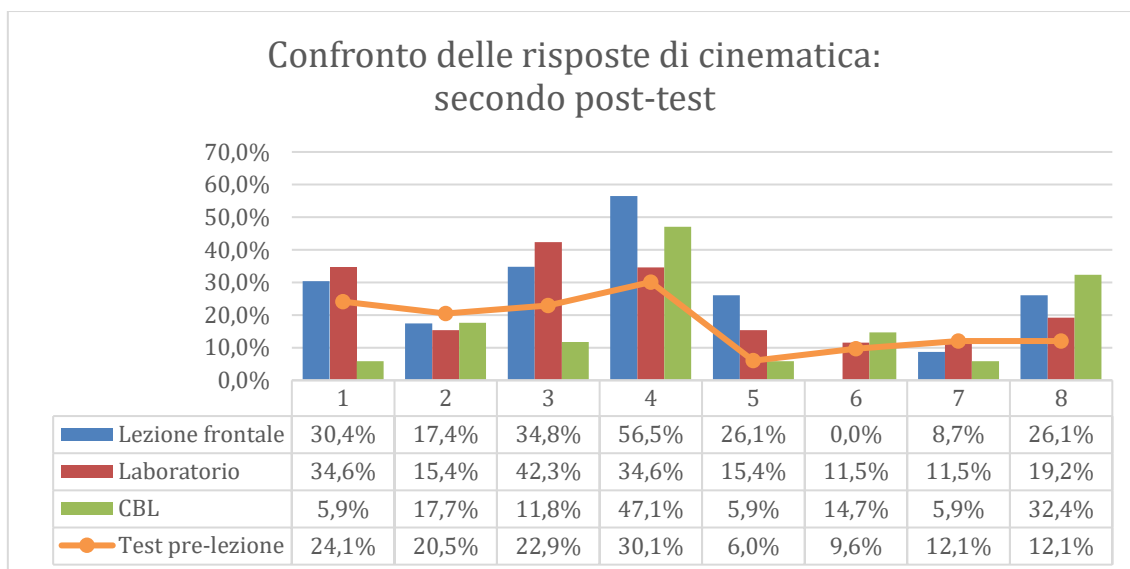


Grafico 51 - Confronto delle risposte del secondo post-test di cinematica in funzione della metodologia didattica adottata, è possibile confrontare i risultati con quelli del pre-test.

La lezione frontale e la lezione in laboratorio mostrano prestazioni sostanzialmente analoghe, con una differenza media di poco superiore al 3% a favore della lezione laboratoriale nel test post-lezione e del 2% a favore della lezione frontale nel test di fine anno. Tuttavia, quando si raggruppano le domande in base alla comprensione concettuale a cui sono riferite, è possibile notare una correlazione tra alcune risposte in funzione della modalità didattica utilizzata. Ad esempio, la prima domanda, focalizzata sulla misconcezione relativa all'influenza della massa sulla caduta libera, ha registrato una differenza nel test post-lezione a favore della lezione laboratoriale di circa 27 punti percentuali, divario attenuato nel test finale in cui hanno esito simile e la differenza si riduce al 4%.

Nella seconda domanda i risultati dei due test sono analoghi, con risultati molto simili. Nella terza domanda, invece, riguardante la costanza dell'accelerazione di gravità nella caduta libera, i risultati immediati del test post lezione sono simili, ma mostrano una lieve differenza nel test di fine anno, con la lezione in laboratorio che sembra aver consolidato in maniera più significativa l'apprendimento, determinando un divario di circa 8 punti percentuali. Questi risultati possono essere interpretati alla luce delle specifiche attività svolte in laboratorio: riguardo le prime due domande, è ipotizzabile che l'esperimento con la pallina da calcio balilla abbia facilitato la comprensione immediata ma non duratura del concetto di indipendenza della massa nella caduta libera; nel secondo caso invece il valore costante di g risultava evidente in tutti i grafici ottenuti con il software di analisi video "Tracker" nelle diverse configurazioni di caduta della pallina, contribuendo a un apprendimento più profondo e duraturo del concetto.

La differenza più accentuata si ottiene considerando i risultati delle domande 4 e 5, relative alla composizione dei moti e all'utilizzo di diversi sistemi di riferimento. In questo caso la lezione frontale ha ottenuto delle percentuali di risposte corrette notevolmente superiori sia nel test post-lezione (differenza media di oltre 20%) sia nel test di fine anno (differenza media di circa 16%) (Grafico 52).

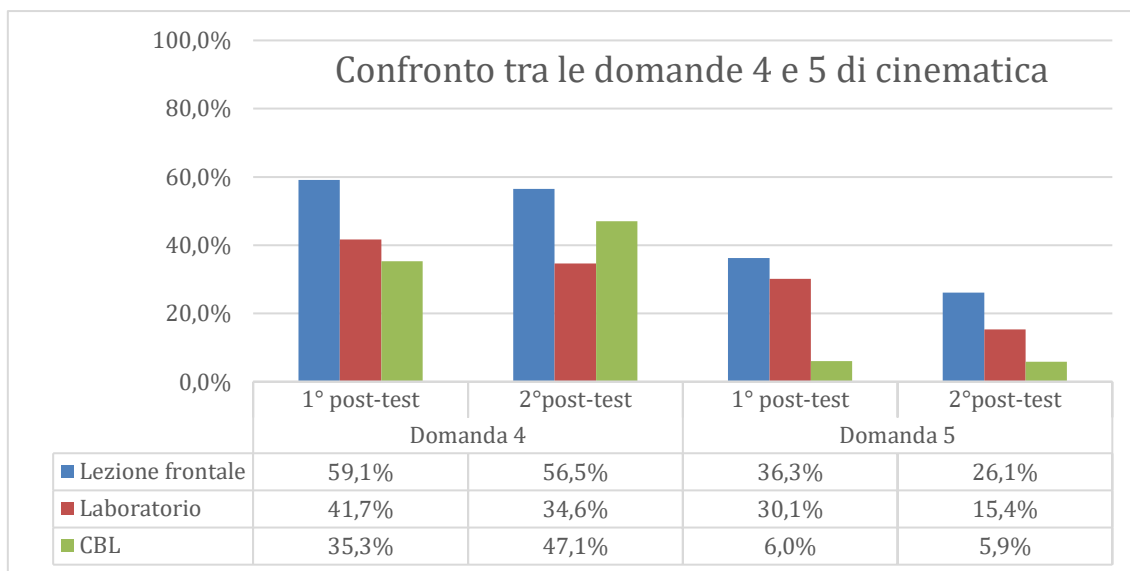


Grafico 52 – Confronto delle domande 4 e 5, in entrambi i post-test, in funzione della modalità didattica adottata.

Tale divario potrebbe derivare dalla maggiore copertura del programma resa possibile dalla lezione frontale, meno vincolata alle esperienze pratiche e quindi più ampia nei contenuti trattati.

Le ultime tre domande erano invece relative alla differenziazione concettuale dei concetti di velocità ed accelerazione e nel test post-lezione ha ottenuto risultati migliori quella di tipo laboratoriale, con una differenza di oltre il 14% mentre nel test a fine anno la differenza si è ridotta a circa il 5%. È plausibile che l'approccio pratico delle lezioni laboratoriali e la costruzione di grafici in diverse situazioni, favorisca una maggiore efficacia nella distinzione tra queste due grandezze con un impatto più duraturo nel tempo. Questa interpretazione è supportata da un altro dato: quello, esplicitato nei paragrafi precedenti, riguardante le risposte relative alla velocità. Calcolando le medie delle risposte corrette delle tre domande considerate per ognuno dei post-test, e confrontando questo valore con le medie delle risposte legate alla velocità negli stessi tre test, dati che si possono consultare nel grafico seguente (Grafico 53), si può notare come effettivamente la lezione in laboratorio abbia non solo migliorato la percentuale di risposte corrette, ma anche causato una diminuzione delle risposte errate causate dalla confusione tra le due grandezze. Per quanto riguarda la challenge-based, occorre tenere conto dell'elevato p-value che non consente di considerare questo dato statisticamente

attendibile, per cui, sebbene questa modalità abbia ottenuto il valore più alto nella domanda relativa alla fase discendente, non è possibile tenerne conto.

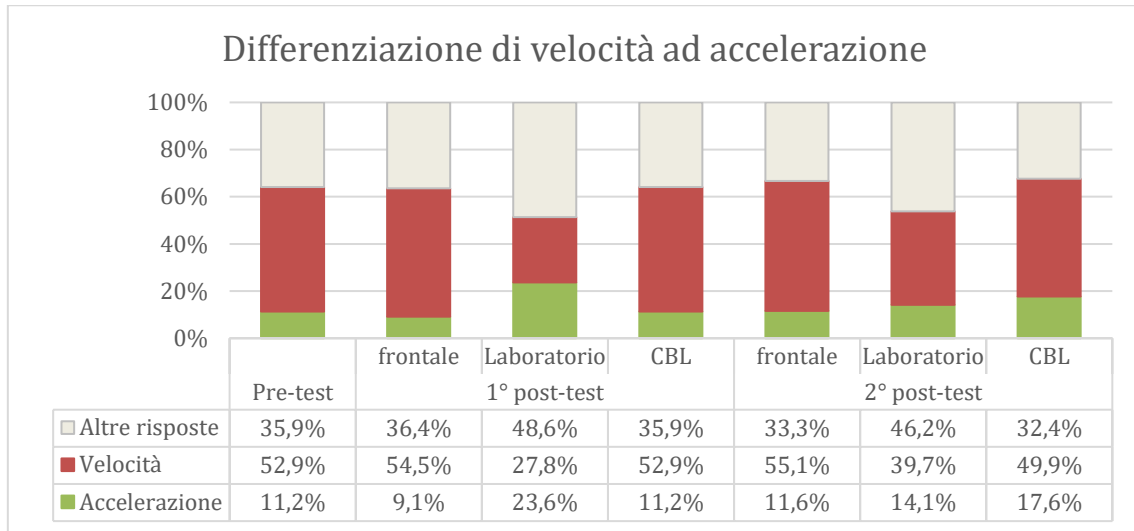


Grafico 53 - Confronto tra le medie delle risposte corrette (“Accelerazione”) e quelle legate all’identificazione di questa grandezza con la velocità (“Velocità”), divise in funzione della tipologia di lezione adottata e del test a cui si riferiscono.

5.4.2 Confronto di terminologia

Svolgendo la stessa analisi sui test di terminologia, appare subito chiaro che anche in questo caso la lezione in modalità CBL non si avvicina alle percentuali di risposte giuste delle altre due modalità didattiche né nel test post-lezione (Grafico 54), né in quello di fine anno (Grafico 55).

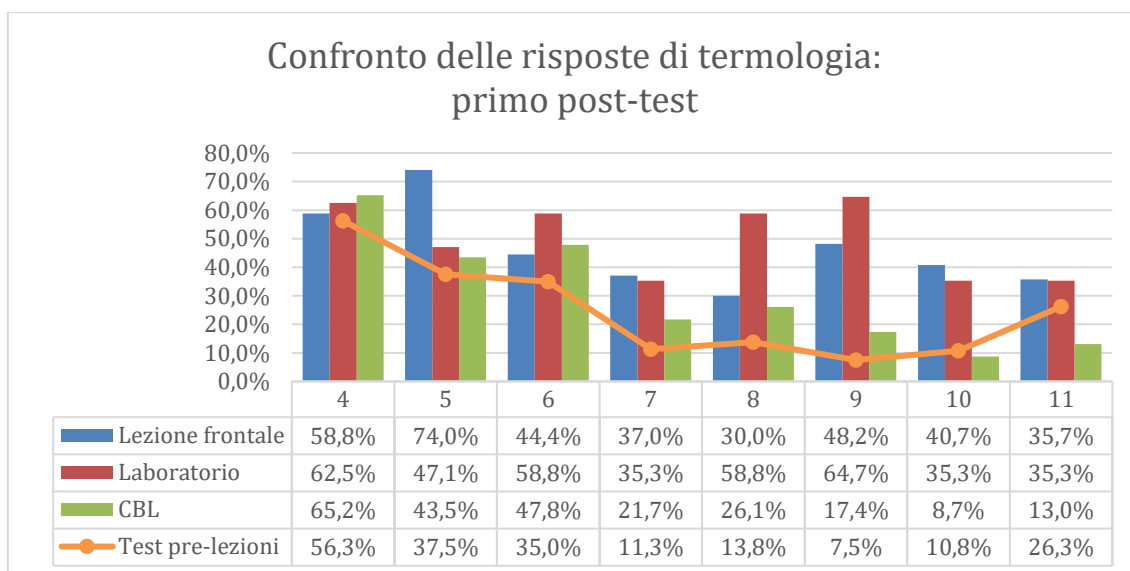


Grafico 54 - Confronto delle risposte del primo post-test di terminologia in funzione della metodologia didattica adottata, è possibile confrontare i risultati con quelli del pre-test.

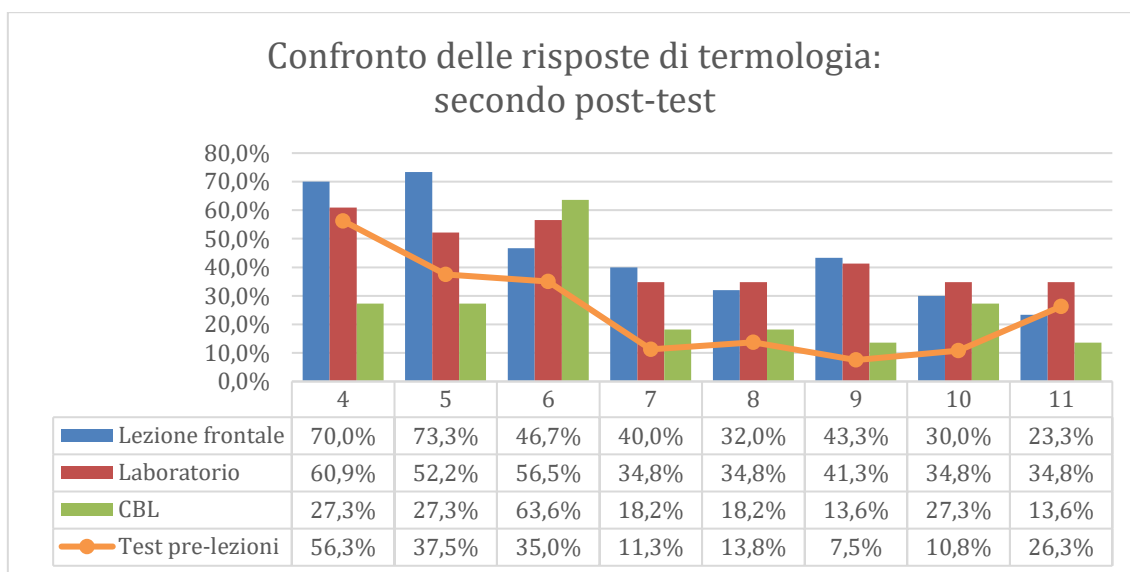


Grafico 55 - Confronto delle risposte del secondo post-test di terminologia in funzione della metodologia didattica adottata, è possibile confrontare i risultati con quelli del pre-test.

Merita sicuramente una menzione la prima delle domande a risposta chiusa, la numero 4, che forse a causa della specificità della challenge è stata recepita meglio dagli studenti nel primo dei post-test ma con risultati non duraturi nel tempo, e la numero 6, che nel

secondo post-test ha avuto una buona percentuale di risposte corrette. Ad eccezione di questi due casi, tutte le risposte relative alle altre domande hanno sempre punteggio inferiore alle altre modalità (fa eccezione la domanda 6 del primo post-test in cui il punteggio del CBL è inferiore al laboratorio ma superiore, seppur di poco, alla lezione frontale), ma come nel caso precedente, questi casi possono solo fornire un'indicazione poiché l'alto valore dei p-value non consente di poterne dare rilevanza statistica.

È invece particolarmente interessante il confronto fra la lezione frontale ed il laboratorio, che rispecchiano quanto avvenuto per la cinematica: nel test post-lezione la didattica in laboratorio ha ottenuto risultati leggermente migliori, pari a circa il 4%, mentre nel test di fine anno si inverte la tendenza a favore della lezione frontale, anche in questo caso con differenze minime, circa l'1%.

Per avere un quadro più preciso del miglioramento concettuale significativo degli studenti, è utile anche in questo caso confrontare i test di fine anno di questi due metodi sulla base dell'argomento a cui fanno riferimento le domande. Le prime due fanno riferimento al ghiaccio, alla temperatura a cui è possibile trovarlo e al calore latente di fusione durante il passaggio dalla fase solida alla fase liquida, argomenti che sono stati il fulcro delle esperienze in laboratorio ma che hanno avuto risultati migliori nelle classi in cui sono stati affrontati in aula in modo frontale pur ottenendo risultati molto alti in entrambe le sperimentazioni (per tutte le domande si supera infatti il 50% delle risposte corrette). Se consideriamo invece la fase di ebollizione dell'acqua (domanda 6) ed il relativo calore latente (domanda 7), non ci sono grandi differenze percentuali nelle risposte corrette, che significa che i due metodi hanno la stessa efficacia. Volendo però approfondire l'analisi, è possibile un'altra interpretazione: è possibile suddividere queste domande in modo che ne vengano individuate due più nozionistiche, che riguardano la temperatura in cui si mantiene il ghiaccio (domanda 4) e la temperatura di ebollizione dell'acqua (domanda 6), e due sul calore latente (domanda 5 sul calore latente di fusione e domanda 7 su quello di ebollizione). In questo modo è possibile rilevare che la differenza dei risultati delle due modalità non è sulla conoscenza delle temperature caratteristiche delle fasi dell'acqua, in quanto, tra i due metodi in queste due domande, c'è una differenza media di circa mezzo punto percentuale, ma sulla comprensione del concetto di calore latente che evidentemente è stato compreso meglio con la spiegazione di tipo tradizionale (la differenza media di percentuali è di circa 10%). Un buon risultato si è registrato anche sulle domande relative all'equilibrio termico di oggetti posti nello stesso ambiente (domande 9 e 10) che non hanno tuttavia mostrato sostanziali differenze in funzione alla modalità didattica. È rilevabile, inoltre, che per gli studenti non è facile la comprensione concettuale che gli scambi di calore sono scambi di energia tra i corpi (domanda 8) e che nessuno dei metodi proposti è riuscito a dare

loro un'interpretazione sufficientemente chiara da poter essere considerata come una conoscenza acquisita nel test di fine anno, sebbene il risultato del primo post-test della lezione laboratoriale avesse fatto supporre un notevole miglioramento. In tutte le modalità didattiche utilizzate, la domanda più difficile post-istruzione (anche se in alcuni casi alla pari con altre domande) è stata l'ultima del test, relativa all'isolamento termico. Nonostante questo tema fosse centrale nella challenge, è possibile notare un forte calo delle risposte corrette relative a questa modalità, dimezzate rispetto al pre-test. Anche utilizzando gli altri metodi didattici la situazione non è migliore in quanto registrano un punteggio piuttosto basso, in particolar modo la lezione frontale, anche in questo caso, con percentuali a fine anno leggermente inferiori a quelle del pre-test. L'unica modalità in cui si è ottenuto un punteggio a fine anno superiore a quello del pre-test risulta quindi la lezione in laboratorio, in cui tuttavia l'aumento percentuale di risposte corrette è di soli 8 punti, suggerendo quindi la necessità di rivedere le strategie didattiche per questo specifico argomento.

5.5 Engagement

Un ulteriore aspetto da considerare è il livello di coinvolgimento emotivo che ha accompagnato gli studenti durante questa sperimentazione. Si è trattato, per le classi coinvolte, di argomenti di fisica che non vengono affrontati normalmente nel loro percorso di studi. Anche la lezione frontale si è quindi svolta, ai loro occhi, in modo innovativo poiché, seguendo le indicazioni della ricerca in didattica e quanto riportato nel cap. 4.1, si è fatto largo uso di simulazioni, video e approcci che raramente è possibile adottare in classi della formazione professionale.

Al termine del questionario post-lezioni, è stata richiesta agli studenti una valutazione qualitativa dell'esperienza didattica attraverso una scala da 1 a 5. Gli aspetti sottoposti a valutazione sono stati: l'argomento trattato, il metodo didattico adottato, la facilità di comprensione dell'argomento, quanto è stato interessante e quanto è stata stimolata la loro curiosità. Per completare il quadro valutativo, agli studenti è stata inoltre offerta l'opportunità di esprimere un commento personale sull'esperienza formativa nel suo complesso.

Come si può vedere dalla tabella riportata (Tabella 2), nelle lezioni di cinematica quasi tutti i punteggi relativi alle valutazioni richieste, pur essendo molto simili tra loro, sono in ordine crescente tra la lezione tradizionale, il laboratorio e challenge-based, con quest'ultima sopra i 4 punti per molti indicatori, segno che questa modalità, per natura più coinvolgente, è riuscita ad appassionarli in misura maggiore.

CINEMATICA - Come giudichi:	TRADIZIONALE	LABORATORIO	CBL
L'argomento trattato	3,68	3,92	4,11
Il modo in cui è stata fatta la lezione	3,91	4,08	4,22
Quanto è stato facile capire l'argomento	3,14	3,17	3,44
Quanto è stato interessante l'argomento	3,50	3,79	4,22
Quanto avresti voglia di saperne di più	3,36	3,71	3,56
Quanto di ciò che hai imparato è davvero utile	3,41	3,58	3,67
Media	3,50	3,71	3,87

Tabella 2 – Valori di engagement raccolti al termine del primo post-test dopo le lezioni di cinematica.

Un commento aggiuntivo è doveroso per quanto riguarda la facilità di comprensione: il valore attribuito dagli studenti alla loro comprensione, come è stato analizzato in precedenza, non corrisponde con gli esiti dei test concettuali. Gli studenti, quindi, hanno avuto l'impressione di comprendere maggiormente i concetti di cinematica proprio nell'utilizzo della modalità che è risultata meno efficace. L'unico indicatore che non riflette questo andamento riguarda la curiosità suscitata e la voglia di approfondimento, che la lezione di tipo laboratoriale ha sviluppato in misura maggiore. Questi risultati suggeriscono che il laboratorio strutturato ha generato una maggiore curiosità negli studenti grazie alla sua capacità di integrare efficacemente l'esperienza pratica con l'acquisizione di nuove conoscenze teoriche.

Dall'analisi dei commenti degli studenti emerge un quadro generalmente positivo delle lezioni, con alcune differenze legate alla metodologia utilizzata. La lezione frontale si è rivelata un metodo efficace per la trasmissione dei contenuti, in particolare gli studenti hanno apprezzato gli esercizi teorici che sono stati utili per la comprensione e il collegamento costante degli argomenti affrontati in aula con la vita quotidiana, sono emerse però alcune difficoltà iniziali di comprensione e soprattutto è significativa la richiesta di maggiore sperimentazione pratica. Nella lezione laboratoriale gli studenti hanno riconosciuto di essersi sentiti maggiormente coinvolti, l'utilizzo di esperimenti pratici ha reso l'apprendimento più concreto ed interessante e la presenza del docente che forniva loro lo scaffolding necessario è stato valutato positivamente soprattutto nel chiarire i dubbi e nella comprensione dei concetti più complessi. È interessante notare che alcuni studenti hanno riportato una confusione che inizialmente hanno manifestato come noia ma che si è poi tramutata in interesse durante gli esperimenti grazie all'approccio pratico. Il Challenge-Based Learning ha introdotto una dimensione innovativa nell'apprendimento. Gli studenti hanno apprezzato l'autonomia concessa e la possibilità di lavorare in gruppo, elementi che hanno reso la lezione più rilassata e produttiva. La ricerca autonoma delle informazioni, sebbene inizialmente impegnativa, ha stimolato in alcuni studenti il desiderio di approfondire ulteriormente la materia, come evidenziato da commenti che propongono lezioni aggiuntive di cinematica.

Le lezioni di terminologia hanno invece avuto un andamento diverso: tutti gli indicatori riportano punteggi più alti per la lezione di tipo laboratoriale, con un sostanziale equilibrio tra la challenge-based e la lezione tradizionale, che tuttavia ha punteggi lievemente superiori. Questo risultato è sorprendente perché riporta che gli studenti hanno manifestato una preferenza per un approccio più strutturato, con esperienze guidate invece di una modalità completamente non guidata caratterizzata dalla libera ricerca di informazioni, a cui hanno addirittura preferito la lezione frontale. Come si vede dalla tabella riportata in seguito, quasi tutti gli indicatori della lezione in laboratorio sono

superiori a 4 punti (e l'unico inferiore è 3,94), segno che questa modalità è stata giudicata la migliore (Tabella 3).

TERMOLOGIA – Come giudichi:	TRADIZIONALE	LABORATORIO	CBL
L'argomento trattato	3,81	4,24	3,61
Il modo in cui è stata fatta la lezione	3,89	4,24	3,65
Quanto è stato facile capire l'argomento	3,22	4,12	3,09
Quanto è stato interessante l'argomento	3,67	4,35	3,70
Quanto avresti voglia di saperne di più	3,48	3,94	3,48
Quanto di ciò che hai imparato è davvero utile	3,41	4,24	3,43
Media	3,58	4,19	3,49

Tabella 3 - Valori di engagement raccolti al termine del primo post-test dopo le lezioni di termologia.

I bassi risultati ottenuti dal CBL di termologia possono essere stati causati da diversi fattori, legati alla natura della sfida e alla difficoltà concettuale percepita dagli studenti. La sfida della scatola termica è stata probabilmente meno coinvolgente rispetto a quella di cinematica, perché dopo aver inserito il ghiaccio nella scatola era necessario attendere per osservare cosa sarebbe successo e quale gruppo avesse realizzato il progetto migliore. Al contrario, nella challenge dell'uovo, le fasi di lancio del paracadute sono state più dinamiche e gli studenti erano più curiosi di vedere se dopo ogni lancio il loro uovo o quello degli altri gruppi si fosse danneggiato. È probabile che i periodi di inattività durante la challenge di termologia, dedicati all'analisi dei lavori degli studenti, abbiano ridotto il livello di coinvolgimento emotivo di questo tipo di lezione, trasformandola, agli occhi degli studenti, in un'esperienza assimilabile alla lezione frontale. Anche le difficoltà nella comprensione dei concetti termodinamici potrebbero aver influito sullo scarso livello di engagement: l'isolamento termico, l'energia in transito e la variazione di temperatura richiedono infatti un maggiore livello di astrazione, che porta la sfida ad essere meno visualizzabile da parte degli studenti. Infine, l'analisi delle relazioni prodotte dagli studenti suggerisce una comprensione superficiale e una difficoltà nel collegare la pratica con la teoria: le relazioni, spesso carenti nella spiegazione fisica del processo di fusione del ghiaccio e con incongruenze concettuali, non hanno aiutato gli studenti a dare motivazioni teoriche al loro lavoro pratico e per questo motivo l'attività potrebbe essere stata meno coinvolgente.

I commenti degli studenti riportano che la lezione frontale è stata particolarmente apprezzata per lo stile delle lezioni, diverso da quello consueto per la commistione di teoria e pratica attraverso l'uso di video e simulazioni. Gli studenti hanno infatti particolarmente apprezzato le spiegazioni meno legate agli aspetti matematici e più basati sulle esperienze quotidiane, esprimendo come questo approccio abbia facilitato

la comprensione di concetti complessi. Hanno inoltre sottolineato come questo approccio abbia aumentato il loro interesse sulla materia, tanto che alcuni di loro hanno scoperto il motivo di alcuni fenomeni di cui non sapevano spiegarsi le cause. La lezione laboratoriale ha confermato la sua efficacia attraverso l'uso di esperimenti pratici sul ghiaccio e sulla variazione della temperatura e gli studenti hanno evidenziato come l'approccio sperimentale abbia non solo reso le lezioni più coinvolgenti, ma abbia anche aiutato a chiarire i concetti teorici ed il significato fisico di alcune parole di utilizzo comune, come calore e temperatura, consolidando così l'apprendimento teorico attraverso l'esperienza diretta. Il Challenge Based Learning ha rivelato un duplice aspetto: alcuni studenti hanno apprezzato particolarmente l'innovatività dell'approccio mentre altri si sono trovati smarriti davanti ad un compito da realizzare senza alcuna indicazione puntuale.

5.6 Confronto e considerazioni sulle tre metodologie

A conclusione di questo studio è opportuno presentare alcune considerazioni di carattere generale, focalizzando l'attenzione sulle tendenze emerse dall'analisi comparativa delle tre modalità didattiche, prescindendo dagli specifici contenuti fisici affrontati. Questa analisi trasversale permetterà di formulare osservazioni più ampie sull'efficacia delle diverse metodologie didattiche, individuando pattern e dinamiche che trascendono la particolarità dei singoli argomenti trattati.

I dati mostrano alcune tendenze comuni, ad esempio, come si può facilmente intuire, si osserva un generale declino nei risultati al crescere della distanza temporale dalla lezione: i punteggi più elevati si registrano nei test post-lezione e si riscontra un calo nelle valutazioni di fine anno. Questo fenomeno riflette una tendenza naturale dell'apprendimento, ovvero il fatto che le informazioni sono più accessibili alla memoria nell'immediato periodo successivo alla loro acquisizione indipendentemente dalla metodologia didattica impiegata. Tuttavia, poiché uno degli obiettivi fondamentali di questa sperimentazione era valutare non solo l'efficacia immediata delle diverse metodologie didattiche, ma anche la loro capacità di promuovere un apprendimento significativo, è stata dedicata particolare attenzione all'analisi dei risultati dei test di fine anno, considerati indicatori più significativi dell'effettiva assimilazione dei concetti.

Guardando solo le percentuali medie di risposte corrette (Tabella 4) si può notare che il CBL ha ottenuto risultati inferiori delle altre metodologie, sia nel test post lezione sia in quello di fine anno.

	Pre-test	1° post-test	2° post-test
Cinematica	17,2%		
Lezione frontale		27,3%	25,0%
Laboratorio		30,7%	23,1%
CBL		19,5%	17,7%
Termologia	24,8%		
Lezione frontale		46,1%	44,8%
Laboratorio		49,7%	43,8%
CBL		30,4%	26,1%

Tabella 4 – Resoconto dei valori medi delle risposte corrette nei test, divisi in base alla modalità didattica adottata.

Questo suggerisce che il CBL possa essere la meno efficace delle tre metodologie, sono infatti rari i casi in cui le classi che hanno seguito la lezione in modalità CBL abbiano ottenuto prestazioni superiori nelle singole domande dei test. Inoltre, il risultato del questionario di fine anno, in termini percentuali molto simile a quello iniziale, ha comportato un guadagno educativo estremamente basso (0,44% in cinematica e 2,99% in termologia), suggerendo che questa metodologia non abbia prodotto cambiamenti sostanziali nella comprensione concettuale dei fenomeni studiati. Inoltre, come già affermato in precedenza, l'attendibilità statistica di questi risultati è messa in discussione dall'elevato valore del p-value, dovuto alla marcata similitudine tra i dati raccolti nei questionari, che non permette di escludere che le variazioni osservate siano dovute a fluttuazioni casuali (Tabella 5).

	1° post-test		2° post-test	
	G.E.	p-value	G.E.	p-value
Cinematica				
Lezione frontale	12,3%	0,0228	9,6%	0,0744
Laboratorio	20,3%	0,0017	9,9%	0,0502
CBL	2,7%	0,5257	0,4%	0,9252
Termologia				
Lezione frontale	26,4%	0,0025	25,3%	0,0053
Laboratorio	31,5%	0,0001	23,9%	0,0002
CBL	7,2%	0,1362	3,0%	0,5480

Tabella 5 – Confronto fra il guadagno educativo ed il p-value del t-test in entrambi i post-test in base alla diversa modalità didattica adottata.

Sarebbe tuttavia riduttivo concludere che questa metodologia sia priva di validità didattica: i risultati dell'engagement, i commenti degli studenti e l'andamento delle lezioni suggeriscono infatti che questa metodologia eccelle nello sviluppo di competenze trasversali fondamentali, come la capacità di ricerca autonoma delle informazioni e il lavoro collaborativo. Il CBL si configura quindi come uno strumento complementare nel processo di apprendimento, particolarmente efficace per lo sviluppo di soft skills, mentre per promuovere una profonda comprensione concettuale potrebbero essere più indicate le altre metodologie didattiche testate.

Sebbene le classi che hanno seguito le lezioni frontali abbiano ottenuto un punteggio medio più alto nel post-test di fine anno, il test statistico ha rivelato maggiore significatività per le classi che hanno svolto le attività laboratoriali. Questa apparente contraddizione può essere spiegata osservando la diversa distribuzione dei risultati nei due gruppi: nel gruppo del laboratorio, l'intervento didattico sembra aver prodotto un miglioramento più omogeneo tra gli studenti, con una minore dispersione dei risultati ed

un progresso più generalizzato dell'intera classe. Nel gruppo che ha partecipato alla lezione frontale, invece, si è osservata una maggiore variabilità dei risultati: alcuni studenti hanno ottenuto risultati eccellenti nel post-test di fine anno, mentre altri ne hanno beneficiato meno, ottenendo risultati inferiori. Questa eterogeneità si traduce in un punteggio medio più elevato, ma anche in una maggiore dispersione dei dati, che hanno reso il test statistico meno significativo. Una possibile spiegazione di questa differenza risiede nel maggiore engagement generato dalla lezione laboratoriale rispetto a quella frontale: quando gli studenti percepiscono la lezione come più coinvolgente, interessante e interattiva, è probabile che la loro attenzione aumenti anche tra coloro che tendono a distrarsi durante le lezioni tradizionali. Questo maggiore coinvolgimento è la causa di una performance migliore e più uniforme, poiché anche gli studenti solitamente meno partecipi traggono beneficio dall'approccio pratico e collaborativo del laboratorio. Comparando i risultati dei test relativi alla lezione frontale e alla lezione laboratoriale (Grafico 56), è possibile formulare alcune considerazioni interessanti.

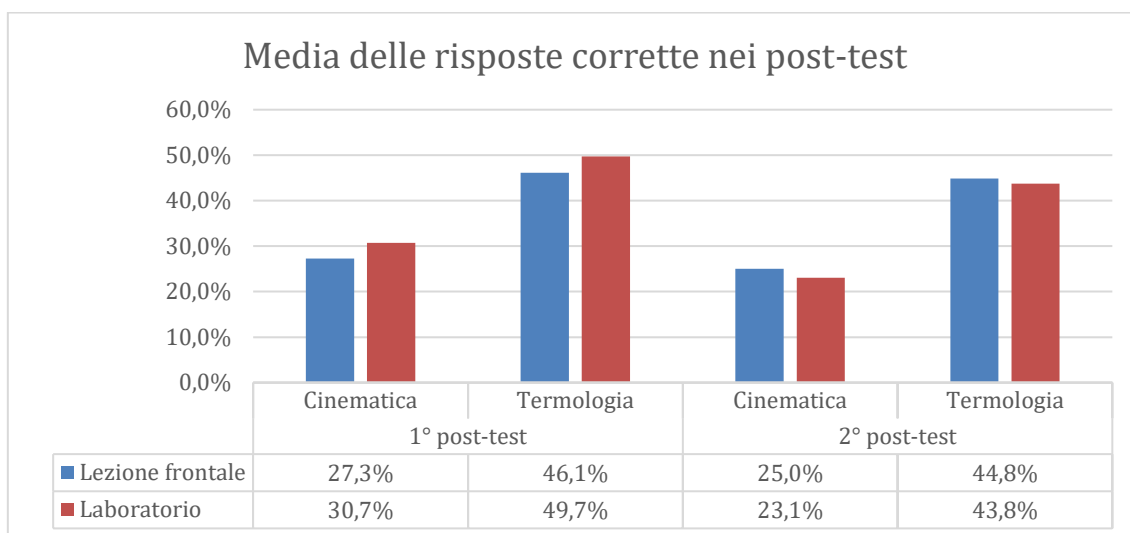


Grafico 56 – Confronto dei valori medi di risposte corrette nella lezione frontale e nella lezione in laboratorio di cinematica e termologia.

In entrambi i casi, i dati evidenziano che la lezione laboratoriale ha prodotto risultati migliori nei test immediati, mentre la lezione frontale si è dimostrata più efficace nel test di fine anno. Tuttavia le differenze tra i due approcci sono contenute, nell'ordine di pochi punti percentuali, il che suggerisce una tendenza generale da interpretare con cautela, soprattutto per quanto riguarda la significatività statistica. La coerenza di questo andamento, per entrambi gli argomenti analizzati, è comunque rilevante e può essere spiegata attraverso fattori legati alle caratteristiche delle due modalità didattiche e ai processi psicologici dell'apprendimento: le classi che hanno seguito le lezioni in modalità laboratoriale tendono ad ottenere risultati migliori nei test immediati probabilmente a causa dell'approccio attivo di questo tipo di lezione, in cui gli studenti sono coinvolti in

prima persona attraverso esperimenti ed attività pratiche. Queste attività, svolte in gruppo, favoriscono una comprensione più immediata dei concetti, poiché gli studenti li vivono in modo concreto e partecipativo. D'altra parte, le lezioni frontali, pur essendo più passive e meno emotivamente coinvolgenti, sono caratterizzate da una migliore esposizione teorica e da una strutturazione più chiara dei concetti e questa struttura più solida, sebbene richieda più tempo per consolidarsi nella memoria a lungo termine, potrebbe risultare più resistente grazie alla ripetizione dei contenuti, agli esercizi numerici e alla distribuzione delle lezioni su un arco temporale più ampio, a differenza delle attività laboratoriali che spesso si concentrano in una singola giornata. Le esperienze vissute in prima persona durante i laboratori, associate a ricordi sensoriali ed emotivi intensi, vengono così richiamate con facilità subito dopo l'esperienza, ma tendono a svanire più rapidamente con il passare del tempo. Le spiegazioni teoriche fornite durante le lezioni frontali, invece, favoriscono una comprensione graduale e costante dei principi, aiutando gli studenti a costruire un quadro mentale più solido e coerente. Questo approccio, basato su una progressione logica e ripetuta, si rivela più efficace nel lungo periodo, favorendo una migliore assimilazione delle conoscenze.

Un ulteriore aspetto da considerare riguarda gli studenti assenti durante la giornata di laboratorio, che hanno comunque sostenuto il test post-lezione in un secondo momento pur non avendo partecipato alle attività pratiche. Questa scelta, sebbene penalizzi i risultati relativi alla lezione laboratoriale, è stata adottata in linea con l'obiettivo dello studio: valutare quale modalità didattica sia più efficace da applicare a livello di classe e non sul singolo studente. Nella realtà scolastica, infatti, non sarebbe pratico né sostenibile ripetere le esperienze di laboratorio ogni volta che un alunno è assente, né si può presumere che la presenza degli studenti sia sempre totale e costante, pertanto, è stato ritenuto opportuno includere queste variabili nel confronto tra i metodi didattici, in modo da riflettere in modo più realistico le dinamiche e le sfide che si presentano nell'ambito dell'insegnamento quotidiano. Questo approccio contribuisce a fornire una valutazione più autentica dell'efficacia delle due modalità, tenendo conto anche delle inevitabili imperfezioni e imprevisti che caratterizzano il contesto scolastico reale.

Analizzando le singole domande del test si può notare una tendenza particolarmente interessante ed inaspettata: sarebbe stato ragionevole supporre che le domande più strettamente legate alle esperienze svolte in laboratorio avrebbero ottenuto percentuali di risposte corrette molto maggiori nei test delle classi che hanno beneficiato della lezione laboratoriale. In alcuni casi specifici questa previsione si è verificata ma con differenze percentuali minime, ad esempio nella differenziazione dei concetti di velocità ed accelerazione (domande 6, 7 e 8 del test di cinematica) o riguardo la costanza dell'accelerazione di gravità (domanda 3 dello stesso test). In altri casi, invece, le

domande strettamente legate alle attività di laboratorio hanno addirittura ottenuto risultati peggiori nei test post-laboratorio rispetto a quelli post-lezione frontale, un esempio è la domanda 4 del test di cinematica, in cui gli studenti dovevano indicare la traiettoria di una palla di cannone sparata orizzontalmente da una rupe, uno scenario analogo all'esperienza di laboratorio in cui una pallina cadeva dopo aver rotolato su un piano: nonostante l'analogia, la comprensione del fenomeno è risultata migliore tra gli studenti che avevano seguito la lezione frontale (Grafico 57).

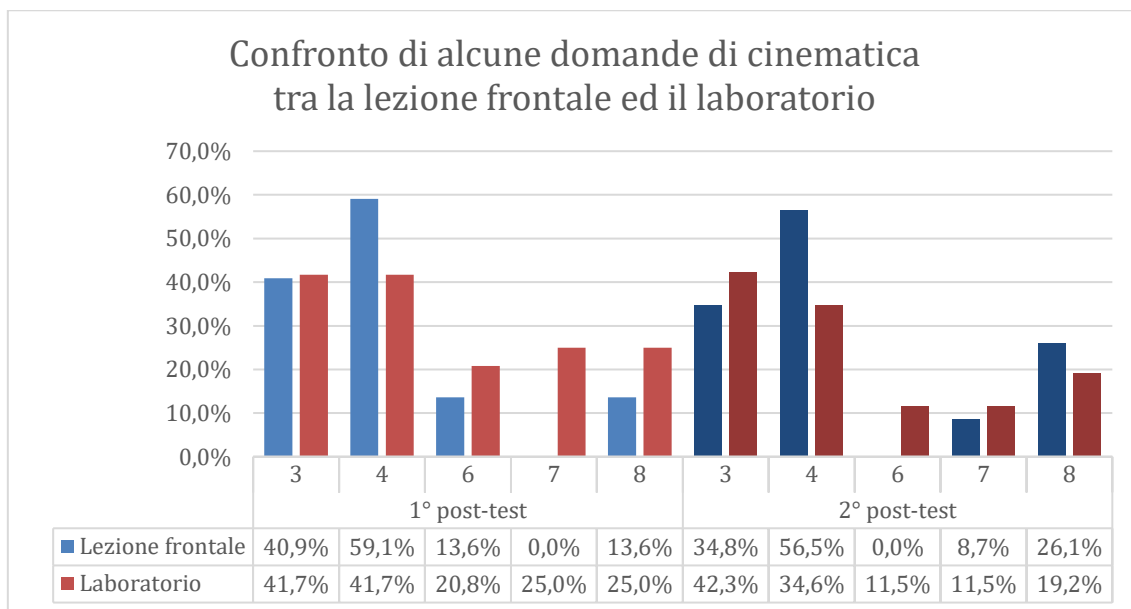


Grafico 57 – Confronto delle domande numero 3, 4, 6, 7 e 8 nei due diversi post-test in base alla modalità didattica adottata. Per facilitare la visualizzazione, la parte di grafico relativa al secondo post-test utilizza tinte più scure.

Lo stesso si è verificato nella domanda 5 del test di termologia, in cui era richiesto di indicare la temperatura dell'acqua durante lo scioglimento del ghiaccio, una situazione riprodotta in laboratorio ma compresa in modo più efficace attraverso la spiegazione teorica della lezione frontale (Grafico 58).

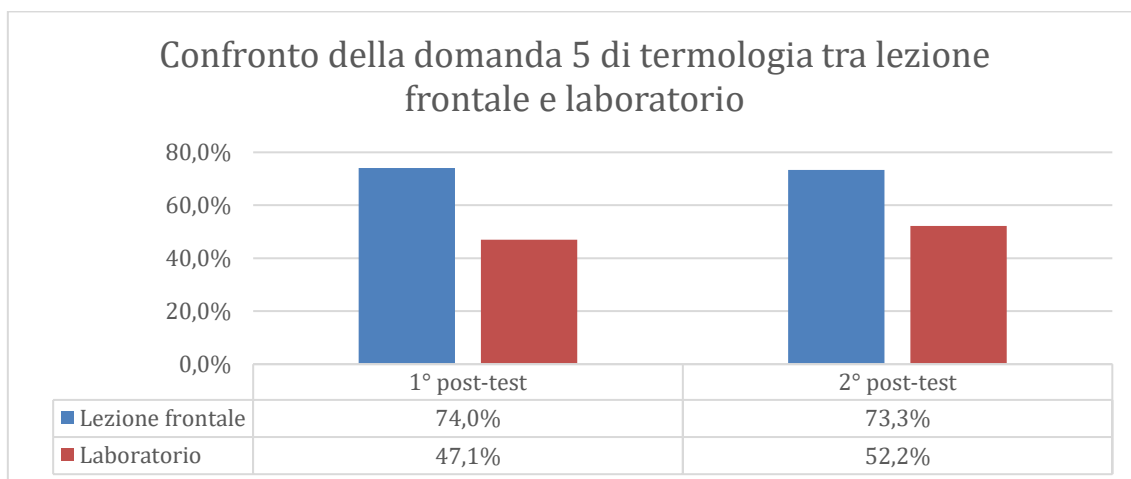


Grafico 58 – Confronto della domanda numero 5 di termologia nei due diversi post-test in base alla modalità didattica adottata.

A livello più generale si può invece considerare che, come risulta evidente nel resoconto delle lezioni, la lezione frontale a parità di tempo è riuscita a coprire una maggior quantità di programma con un migliore livello di approfondimento rispetto alla lezione laboratoriale ed inoltre è stato possibile riprendere gli argomenti più volte, fare più esempi e più digressioni, stimolando la curiosità degli studenti e collegando i concetti teorici a situazioni quotidiane. La lezione in laboratorio, a causa della natura più pratica ed operativa delle attività, ha invece portato l'insegnante a limitare gli approfondimenti e gli esempi relativi alla quotidianità, soprattutto nelle esperienze di cinematica. Questa maggiore copertura del programma non solo rappresenta un vantaggio in termini di gestione del tempo – aspetto sempre critico nel contesto scolastico – ma può influire positivamente sull'efficacia dell'insegnamento in diversi modi. L'aspetto più importante è che permette di trattare la teoria in modo più ampio e approfondito, fornendo agli studenti una base concettuale solida e indispensabile per una comprensione autentica degli argomenti. Senza una tale base teorica, infatti, si rischia di incorrere in fenomeni di apprendimento superficiale, in cui gli studenti eseguono esercizi in modo meccanico, applicando formule senza cogliere il significato fisico sottostante, o accettano passivamente ciò che viene spiegato senza averne una reale comprensione, approccio che non favorisce un cambiamento concettuale duraturo. Un altro aspetto cruciale riguarda la comprensione globale della fisica. Avere più tempo a disposizione per fare esempi, collegamenti e approfondimenti (o per ripetere concetti non compresi) permette agli studenti di cogliere come i diversi argomenti siano interconnessi, mostrando che la fisica non è un insieme di concetti isolati, ma un sistema coerente e integrato. Questa visione d'insieme, unita a una trattazione dettagliata e organica dei contenuti, contribuisce a migliorare le prestazioni degli studenti nel lungo termine, poiché sviluppano una comprensione più completa e strutturata dei fenomeni fisici.

6 - Conclusioni

I risultati dell'analisi svolta nel capitolo precedente non consentono di stabilire con certezza che un metodo sia sempre migliore di un altro, in quanto ognuna delle modalità didattiche sperimentate presenta caratteristiche distintive, vantaggi specifici e criticità da tenere in considerazione: la lezione frontale, quando strutturata utilizzando i suggerimenti della ricerca in didattica, può essere più efficace della "lezione tradizionale" e risultare più interattiva, partecipata ed interessante. Il suo punto di forza risiede nella capacità di costruire un'impalcatura teorica solida attraverso una presentazione sistematica e ben organizzata dei concetti. Un aspetto rilevante di questo approccio è la sua flessibilità: l'insegnante, monitorando costantemente il livello di attenzione e comprensione della classe, può modulare dinamicamente la presentazione dei contenuti, calibrando l'introduzione di nuovi argomenti, approfondimenti ed esercitazioni per mantenere un coinvolgimento attivo e inclusivo dell'intero gruppo classe.

La didattica laboratoriale offre un contesto ideale per lo sviluppo di una modalità di apprendimento in cui gli studenti diventano protagonisti attivi del proprio percorso formativo attraverso l'esperienza diretta. Questo approccio si rivela particolarmente efficace sia nell'introduzione di nuovi argomenti sia nell'approfondimento di concetti già affrontati, sebbene possa mostrare alcuni limiti se utilizzato come metodologia esclusiva. Un aspetto significativo emerge dalle dinamiche del lavoro di gruppo che, attraverso il confronto costruttivo e lo sviluppo di competenze collaborative nella risoluzione dei problemi, tende a innalzare il livello generale di apprendimento della classe. Infatti, l'esperienza laboratoriale riesce a coinvolgere attivamente tutti gli studenti, anche quelli solitamente meno partecipi, grazie all'interazione diretta con i compagni e con gli strumenti sperimentali. Questo coinvolgimento diffuso, basato sulla condivisione pratica delle esperienze, contribuisce alla crescita collettiva della comprensione dei fenomeni studiati, anche se con un'intensità mediamente minore rispetto all'approccio frontale.

Il challenge-based rappresenta un importante strumento per sviluppare l'autonomia degli studenti e le loro capacità di ricerca e attraverso questo approccio gli studenti sono incoraggiati ad affrontare i problemi in modo innovativo, sviluppando competenze di problem solving e pensiero critico. Tuttavia, nel contesto della scuola superiore e in

particolare della formazione professionale, gli studenti potrebbero non possedere ancora sufficienti competenze per lavorare in completa autonomia e senza un'adeguata guida, potrebbero infatti incontrare difficoltà non solo nel raggiungere la soluzione del problema, ma anche nel comprendere le implicazioni fisiche che ne sono alla base. Sebbene questa metodologia non sia da scartare, dato il suo carattere orientato al promuovere il confronto e l'autonomia, non può essere utilizzata come sostituto completo della lezione tradizionale, ma piuttosto come suo complemento. È fondamentale sottolineare che, in assenza di una adeguata fase di sistematizzazione teorica, le attività completamente libere rischiano paradossalmente di rafforzare preconcizioni e misconcezioni degli studenti, anziché facilitarne il superamento.

L'analisi complessiva suggerisce che la strategia ottimale potrebbe essere l'integrazione dei tre approcci: la lezione frontale può essere utile per fornire le basi teoriche necessarie e per la sistematizzazione delle conoscenze; la lezione laboratoriale può sia consolidare l'apprendimento attraverso l'esperienza diretta favorendo lo sviluppo del problem solving e del pensiero critico, sia fungere da stimolo iniziale per introdurre nuovi argomenti in modo coinvolgente; il challenge-based learning può invece sviluppare l'autonomia e le capacità di ricerca degli studenti, specie se utilizzato alla conclusione di un argomento, dopo che gli studenti hanno già sviluppato le basi teoriche necessarie, per stimolare il loro ragionamento critico e favorire il collegamento dei concetti teorici con le sfide quotidiane.

Tuttavia, i risultati del questionario relativi ad alcuni item strettamente connessi alle attività laboratoriali non hanno raggiunto le percentuali di risposte corrette attese e questo dato impone una riflessione approfondita sulla struttura delle esperienze di laboratorio proposte: è possibile che una definizione più precisa delle attività sperimentali avrebbe potuto stimolare maggiormente l'apprendimento degli studenti, evitando quelle incomprensioni che hanno portato a risposte errate.

Nel curriculum di fisica, inoltre, ci sono alcuni argomenti che risultano più efficaci se trattati in classe, altri in laboratorio e sarebbe pertanto interessante condurre uno studio specifico per testare diverse esperienze didattiche rispetto a diversi argomenti, valutando sia i margini di miglioramento nell'apprendimento sia il coinvolgimento emotivo degli studenti. In questa sperimentazione, è emerso chiaramente come la terminologia abbia suscitato maggiore entusiasmo e interesse, come dimostrato sia dai punteggi di engagement sia dall'atteggiamento più serio e attento degli studenti durante le lezioni.

È importante sottolineare, tuttavia, un limite metodologico della sperimentazione relativo al challenge-based learning: la scelta di proporre una singola sfida non ha consentito agli studenti di familiarizzare adeguatamente con la metodologia, che necessita di sottoporre gli studenti a sfide ripetute e progressive per ottenere risultati significativi. In

quest'ottica, sarebbe interessante verificare se un'implementazione più estesa nel tempo e maggiormente strutturata di questa metodologia possa produrre risultati più efficaci nell'apprendimento della fisica.

Le assenze degli studenti rappresentano una variabile da non sottovalutare durante il processo di apprendimento, con impatti potenzialmente diversi a seconda della metodologia didattica utilizzata: nelle lezioni frontali, uno studente assente può recuperare la spiegazione teorica persa attraverso un ripasso mirato nella lezione successiva o mediante lo studio individuale; diversa è la situazione per le lezioni di laboratorio in cui le esperienze pratiche perse difficilmente possono essere recuperate in un secondo momento, creando così disparità nell'apprendimento tra gli studenti. Questa considerazione rafforza l'idea che la didattica laboratoriale debba integrare, ma non sostituire, la lezione frontale. La metodologia challenge-based presenta invece una maggiore flessibilità nella gestione delle assenze, grazie alla sua natura collaborativa e autonoma. Il lavoro di gruppo prosegue indipendentemente dalle assenze dei singoli membri, i quali hanno la responsabilità di tenersi informati sulle decisioni prese dal gruppo. Un ulteriore vantaggio di questo approccio risiede nella possibilità di suddividere i compiti in modo che gli studenti possano lavorare autonomamente anche da casa, minimizzando così l'impatto delle assenze sul progresso del lavoro collettivo.

Sarebbe particolarmente interessante estendere questa sperimentazione a un campione più ampio di studenti in diverse tipologie di scuole secondarie di secondo grado, in particolare potrebbe essere interessante proporlo ai licei e agli istituti tecnici, che hanno una maggiore esposizione allo studio della fisica nel loro curriculum. Questo confronto permetterebbe di valutare come il diverso background formativo e le differenti attitudini allo studio influenzino l'efficacia delle varie metodologie didattiche, oppure se esistono correlazioni significative tra il livello di preparazione pregressa in fisica e la capacità di trarre vantaggio da approcci didattici più innovativi come il challenge-based learning. Un campione più ampio permetterebbe anche di poter valutare se l'età degli studenti possa influire con la modalità didattica che viene utilizzata: per esempio l'utilizzo della challenge, che prevede un lavoro più autonomo e organizzato da parte degli studenti, potrebbe essere più efficace con studenti più adulti.

Ringraziamenti

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza alcune persone che, pur non avendo preso parte alla sperimentazione, mi hanno dato la possibilità di poterla realizzare.

La prima dell'elenco non può che essere Tiziana, mia moglie, che ha saputo riempire i miei vuoti meglio di come avrei potuto fare io, dividendosi tra lavoro e responsabilità familiari e che mi ha sostenuto ed incoraggiato anche nei momenti più complessi ed impegnativi. Merita inoltre un secondo ringraziamento per il lavoro svolto durante la fase di redazione, in cui, nonostante il poco tempo a sua disposizione, ha letto la mia tesi e controllato pazientemente gli errori grammaticali ed ortografici pur trattandosi di una materia ed un argomento che non è proprio nelle sue corde.

Altre due persone che hanno avuto il merito (ed in alcuni casi anche l'onere) di sopportarmi durante questi mesi, sono state le mie figlie: Caterina e Valeria. Con quella commistione di forza, delicatezza e gioia che solo in fanciullezza si può avere, sono riuscite a darmi coraggio anche nei momenti più difficili del mio percorso universitario e hanno saputo gestire la mia assenza facendo tesoro del tempo in cui potevo essere completamente dedicato a loro. Mi auguro di essere stato per loro un esempio di quanto lo studio possa essere importante e di quanto il tempo impiegato per la formazione personale sia un investimento per il futuro.

Chiudo i ringraziamenti familiari con i miei genitori, per avermi mostrato con il loro esempio quello che io ora, seppur in modo imperfetto, cerco di trasmettere alle mie figlie e per avermi spinto a completare il percorso universitario in fisica dopo tanti anni.

Un doveroso ringraziamento va all'Engim e agli studenti del settore elettrico. Il CFP mi ha permesso di effettuare questa sperimentazione all'interno del contesto scolastico in cui lavoro ed i ragazzi hanno accolto, a loro modo, le lezioni con entusiasmo e serietà.

Last but not least, un ringraziamento particolare al professor Malgieri, per avermi seguito nella sperimentazione a scuola, per avermi indicato la giusta via da seguire e per aver corretto il mio lavoro. Sarebbe però riduttivo ringraziarlo "solo" per il lavoro finale della tesi: la capacità e la passione con cui ha tenuto i corsi di "Didattica della fisica" e di "Preparazione di esperienze didattiche" hanno alimentato il mio interesse non solo per la fisica, ma anche per il modo di insegnarla nel miglior modo possibile.

Bibliografia

Pubblicazioni

- Abell, S. K. (Ed.). (2000). Science teacher education: An international perspective. Kluwer.
- Abraham, J., & Pavelich, M. J. (1999). The role of inquiry in the teaching of laboratory science. *Journal of College Science Teaching*, 28(3), 278-282.
- Apple Inc. (2009-2012). Apple Education White Papers.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston of Canada Ltd.
- Baillargeon, R., Needham, A., & Devos, J. (1992). The development of young infants' intuitions about support. *Infant and Child Development: Prenatal, Childhood, Adolescence, Emerging Adulthood*, 1(3), 211-239.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company.
- Beichner, R. J. (1994a). Testing student understanding of motion. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.
- Beichner, R. J. (1994b). The Effect of Instruction on Students' Understanding of Graphs in Kinematics. *American Journal of Physics*, 62(3), 262-268.
- Besson, U. (2015). *Didattica della fisica*. Carocci Ed.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A model of teacher preparation aimed at favouring the diffusion of research-based teaching practice. In M.F. Tasar & G. Cakmakci (Eds.), *Contemporary science education research: Pre-service and in-service teacher education* (pp. 23-44). Pegem Akademi.
- Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2003). Developing relevant teaching strategies during in-service training. *Physics Education*, 38(6), 545-552.
- Bowden, M. D., Duffy, D. J., & McDermott, L. C. (1992). The Effect of Instruction on Students' Understanding of Acceleration. *American Journal of Physics*, 60(11), 1039-1042.
- Brookes, D., & Etkina, E. (2015). The definitions of heat and temperature: A critical review of the literature. *Physics Education Research Conference*.

- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, 210(4466), 1139-1141.
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1981). Naive belief in "sophisticated" subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9(2), 117-123.
- Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné. La Pensée Sauvage.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175–218.
- Colley, H., Hodkinson, P., & Malcolm, J. (2003). Learning Careers and Unlearning Learning. *Journal of Adult and Continuing Education*, 9(1), 44-61.
- De Jong, O. (2003). Exploring Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1157-1169.
- Di Savino, A. (2019). Comprendere l'irreversibilità: una proposta didattica per la scuola secondaria. Università degli Studi di Pavia.
- Erickson, G. L. (1980). A Study of Students' Misconceptions in Thermodynamics. *Physics Education*, 15(6), 387.
- Erickson, G. L., & Tiberghien, A. (1985). Students' Conceptions of Heat and Temperature. *Physics Education*, 20(3), 136.
- Etkina, E. (2010). Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 020110.
- Galilei, G. (1632). Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo. Firenze.
- Ghergo, F. (2009). Storia della formazione professionale in Italia, 1947-1977. Volume I. Dal dopoguerra agli anni '70. CNOS-FAP (Ed.).
- Ghergo, F. (2013). Storia della formazione professionale in Italia, 1947-1997. Volume III. Gli anni '90. CNOS-FAP (Ed.).
- Giancoli, R. N. (2005). *Physics: Principles with Applications*. Prentice Hall.
- Goldberg, F. M., & Anderson, J. H. (1989). The Effect of Instruction on Students' Understanding of Graphs in Kinematics. *American Journal of Physics*, 57(2), 130-137.
- Grossman, P. L. (1991). What are we talking about anyhow: Subject matter knowledge for secondary English teachers. *Advances in Research on Teaching*, Vol. 2: Subject Matter Knowledge.

- Gunstone, R. F. (1995). *Predict-Observe-Explain (POE) strategies in science education*. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 77–93). Academic Press.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common Sense Concepts about Motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), 151–183.
- Hestenes, D., & Swackhammer, G. (1992). Project-Based Learning in Physics. *American Journal of Physics*, 60(8), 732-754.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Hirn, C., & Viennot, L. (2000). Transformation of didactic intention by teachers: the case of geometrical optics in grade 8 in France. *International Journal of Science Education*, 22(5), 483-501.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Johns Hopkins University Press.
- Igelsrud, H. (1998). The role of the laboratory in physics education: A study of laboratory work in physics courses. *Physics Education*, 33(1), 53.
- Jara-Guerro, J. (1993a). Misconceptions in Thermodynamics: A Study of Students' Understanding. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Jara-Guerro, J. (1993b). Conceptions of students in thermodynamics in proceedings of the International Conference on Physics Education.
- Jiang, S., & McComas, W. F. (2015). Difficulties in communication during inquiry-based learning. *Journal of Science Education and Technology*, 24(3), 324–336.
- Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why unguided learning does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*.
- Krajcik, J. S., McNeill, K. L., & Reiser, B. J. (2007). Learning through inquiry: The role of the teacher in supporting student learning. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for science, mathematics, and technology education* (pp. 287–316). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Lagowski, J. J. (1990). The role of the laboratory in physics education. *Physics Teacher*.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press.

- Lewis J. S., Linn R., (1994), Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 657-677.
- Linder C. J., Erickson G. L., (1989), A study of student's conceptions of heat and temperature, in "Journal of Research in Science Teaching".
- Loverude M. E., Kautz C. H., Heron P. R. L., (2002), Student understanding of the first law of thermodynamics: A study of students' misconceptions in "American Journal of Physics".
- Luna, B., Padmanabhan, A., & O'Hearn, K. (2010). What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? *Brain and Cognition*, 72(1), 101-113.
- Magnusson S., Krajcik J., Borko H., (1999), Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Masek A., Yamin S., (2011), The Effect of Problem Based Learning on Critical Thinking Ability: A Theoretical and Empirical Review, in "International Review of Social Sciences and Humanities".
- McCloskey, M. (1983), Intuitive Physics in "Learning and Motivation in the Classroom".
- McDermott L. C., (1996), *Physics by Inquiry: An Introduction to Physics and the Physical Sciences*. John Wiley & Sons.
- McDermott L. C., Rosenquist M. L., van Zee E. H., (1987), Student difficulties in connecting graphs and physical phenomena in introductory physics, in "American Journal of Physics".
- Meltzer D. E., (2004), The Relationship Between Students' Conceptual Understanding and Problem-Solving Performance in Physics in "American Journal of Physics".
- Nguyen D., Meltzer D. E., (2003), Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses, in "American Journal of Physics".
- Osborne R., (1984), Childrens' dynamics, in "The physics teacher".
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). Science education in Europe: Critical reflections. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1623–1638.
- Pinto R. (2005), Introducing curriculum innovation in science: identifying teachers' transformations and the design of related teacher education, in "Science Education".

- Posner G. J., Strike K. A., Hewson P. W., Gertzog W. A., (1982), Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change, in "Science Education".
- Psillos D., Spyrtou A., Kariotoglou P., (2005), Science teacher education: issues and proposals, in K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong, H. Eijkelhof (eds.), Research and the quality of science education, Springer.
- Reif F., Allen S., (1992), Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration, in "American Journal of Physics".
- Reynolds M. A., Cohen E., (2001), Teaching Thermodynamics, in "Journal of Chemical Education".
- Romer R., (2001), The nature of heat and its implications for teaching, in "American Journal of Physics".
- Saltiel E., Malgrange J. L., (1980), Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics, in "European Journal of Physics".
- Schnotz W., (2002), Towards an Integrated View of Learning from Text and Visual Displays, in "Educational Psychology Review".
- Schulz K. M., Molenda-Figueira H. A., Sisk C. L., (2009), Testosterone Effects on Cognitive Processing, in "Endocrine Reviews".
- Séré M. G., (1985). The Understanding of Thermal Physics in Children and Adolescents, in Driver R., Guesne E., Tiberghien A. (Eds.), Children's Ideas in Science, Open University Press.
- Shulman L. S., (1986), Those who understand: knowledge growth in teaching, in "Educational Researcher".
- Sozibilir M., (2001), Misconceptions in Thermodynamics: A Study of Students' Understanding, in "Journal of Research in Science Teaching".
- Spelke E. S., (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory, in S. Carey & R. Gelman (Eds.), The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition.
- Sperandeo-Mineo R. M., (2004) The pre-service physics teacher education model implemented by the FFC research project involving eight Italian universities, in M. Michielini (ed.), Quality development in teacher education and training, Forum.
- Taber K. S., (2013), Misconceptions in Chemistry Education, In Chemical Misconceptions – Prevention, Diagnosis and Cure: Theoretical Background (Vol. 1), Royal Society of Chemistry.
- Thomaz E., Ferreira A., Lima A., (1995), An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature, in "Physics Education".

- Thornton R. K., Sokoloff D. R., (1998), Learning Motion Concepts Using Real-Time Microcomputer-Based Laboratory Tools, in "American Journal of Physics".
- Tombolato, M. (2016). Il costrutto di ostacolo epistemologico per un'interpretazione in chiave didattica del rapporto fra conoscenza ingenua e conoscenza formale in fisica. *Pedagogia più Didattica*, 2(1).
- Trowbridge D. E., McDermott L. C., (1980), Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension, in "American journal of physics".
- Trowbridge D. E., McDermott L. C., (1981), Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension, in "American journal of physics".
- Tytler R., (2005), School innovation in science: change, culture, complexity, in K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong, H. Eijkelhof (eds.), *Research and the quality of science education*, Springer.
- Viennot L., (1979), Spontaneous reasoning in elementary dynamics, in "European journal of science education".
- Vosniadou S., (1994), Capturing and modelling the process of conceptual change, in "Learning and instruction".
- Vosniadou S., Brewer W. F., (1992), Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood, in "Cognitive Psychology".
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). The role of the teacher in the development of students' understanding of science. *International Journal of Science Education*, 14(3), 241–254.
- Wittmann M. C., (2006), Cognitive and Learning Sciences Approaches in Physics Education, in "Physical Review Special Topics - Physics Education Research".
- Zemansky M. W., (1970), Heat and Temperature, in "University Physics".
- Zimmerman B. J., Martinez-Pons M., (2015), Student Differences in Self-Regulated Learning, in *Journal of Educational Psychology*.

Siti Web

- INDIRE - Istituto Nazionale Documentazione Innovazione Ricerca Educativa. Consultato il 7 dicembre 2024, da https://www.indire.it/lucabas/lkmw_file/licei2010/indicazioni_nuovo_impaginato/_decreto_indicazioni_nazionali.pdf
- Murialdo.org. *Tappe della sua storia*. Consultato il 10 dicembre 2024, da <https://www.murialdo.org/ita/content/tappe-della-sua-storia>

- Phet.colorado.edu. *Simulazioni interattive per Scienze e Matematica - University of Colorado*. Consultato il 7 dicembre 2024, da <https://phet.colorado.edu/it/>
- Regione Piemonte. Consultato il 10 dicembre 2024, da <https://www.regione.piemonte.it/>
- Tknika. *Scuola professionale Tknika di Bilbao, modello Ethazi*. Consultato l'8 dicembre 2024, da <https://tknika.eus/en/cont/proyectos/ethazi-3/>
- UNEVOC. *Promising practices in vocational school*. Consultato l'8 dicembre 2024, da <https://unevoc.unesco.org/home/Promising+Practices+in+TVET/lang=en/id=6382#detail>
- Ministero dell'Istruzione e del Merito. *Scuola secondaria di secondo grado*. Consultato il 7 dicembre 2024, da <https://www.miur.gov.it/web/guest/scuola-secondaria-di-secondo-grado>
- Physlets.org. *Sito web da cui è possibile scaricare il software "Tracker"*. Consultato il 5 dicembre 2024, da <https://physlets.org/tracker/>

Video da fonti web

- BBC. Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe - episode 4: "A Place in Space and Time". YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>
- Rai Scuola. *LA DILATAZIONE TERMICA Rai Scuola*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=0DucixdDgKo>
- Roscket Tasartir. *Space Shuttle Thermal Tile Demonstration*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Pp9Yax8UNoM>
- Shneps M., Sadler P. (1988). *A private universe: misconceptions that block learning*. Vimeo. <https://vimeo.com/113349804>
- Zanichelli. *TEORIA Fusione e solidificazione AMALDI ZANICHELLI*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Hj1Ai9GUD8A>

Appendice A: Questionario di cinematica



La caduta dei corpi

Cognome e Nome: _____

Di che classe sei?

- 1 Triennale elettrico
- 2 Triennale elettrico
- 3 Triennale elettrico
- 1 Biennale elettrico
- 2 Biennale elettrico
- 4 anno Tecnico elettrico

Quando stai facendo questo test?

- Prima delle lezioni di questo argomento
- L'argomento è stato affrontato poco tempo fa
- L'argomento è stato affrontato più di un mese fa

Impegnati sul serio a fare questo test, il voto finale sarà composto sia dalla quantità di risposte corrette sia dalla serietà con cui affronti il test.

PUOI AVERE UN BUON VOTO SE TI IMPEGNI (ANCHE SE SBAGLI LE RISPOSTE)

- Ho capito, mi impegno

Ok, adesso via alle domande!

1. Due palle metalliche hanno le stesse dimensioni ma una pesa il doppio dell'altra. Le palle sono lasciate cadere dal tetto di un edificio di un solo piano e nello stesso istante. Il tempo che le due palle impiegano per raggiungere il suolo sarà:

- (A) per la palla più pesante circa la metà di quanto impiegato dalla palla più leggera.
- (B) per la palla più leggera circa la metà di quanto impiegato dalla palla più pesante.
- (C) circa lo stesso per entrambe le palle.
- (D) molto meno per la palla più pesante, ma non necessariamente la metà.
- (E) molto meno per la palla più leggera, ma non necessariamente la metà

2. Le due palle metalliche del problema precedente cascano da un tavolo orizzontale dopo esserci rotolate sopra con la stessa velocità. In tale situazione:

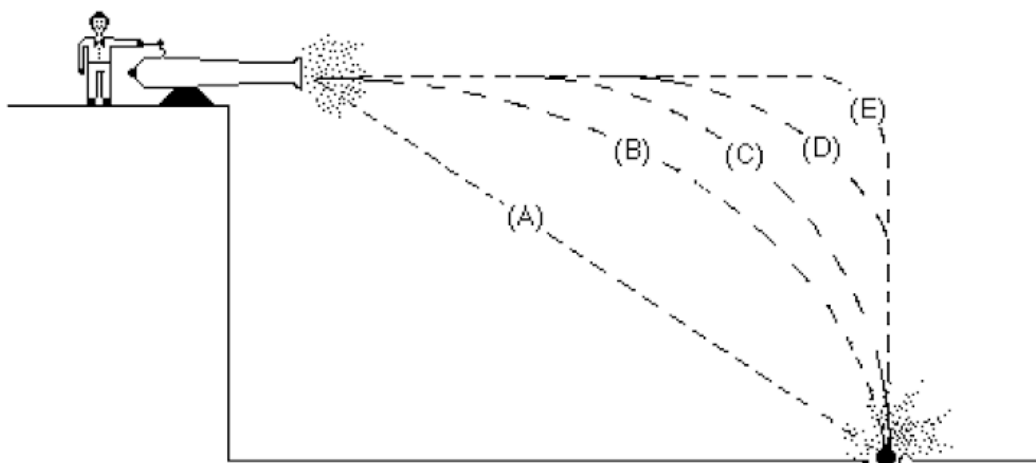
- (A) entrambe le palle toccano il suolo approssimativamente alla stessa distanza orizzontale dalla base del tavolo.
- (B) la palla più pesante tocca il suolo ad una distanza orizzontale dalla base del tavolo che è circa la metà di quella dove casca la palla più leggera.
- (C) la palla più leggera tocca il suolo ad una distanza orizzontale dalla base del tavolo che è circa la metà di quella dove casca la palla più pesante.
- (D) la palla più pesante tocca il suolo in un punto molto più vicino alla base del tavolo di quanto faccia la palla più leggera, ma non necessariamente ad una distanza che ne sia la metà.
- (E) la palla più leggera tocca il suolo in un punto molto più vicino alla base del tavolo di quanto faccia la palla più pesante, ma non necessariamente ad una distanza che ne sia la metà.

3. Una pietra lasciata cadere dal tetto di un edificio di un solo piano:

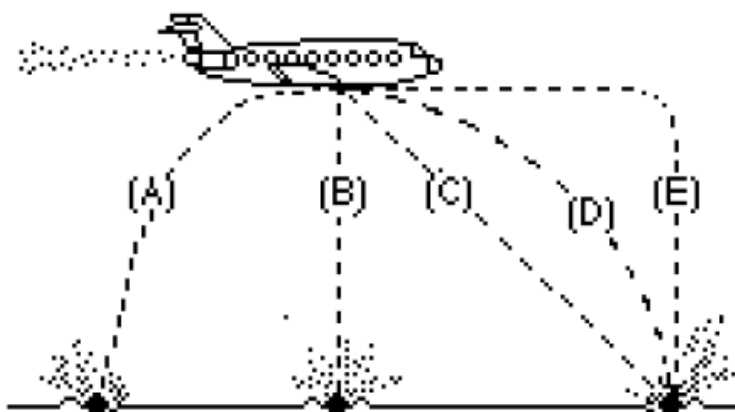
- (A) raggiunge la massima velocità quasi subito dopo il rilascio e da quel momento in poi cade a velocità costante.
- (B) la sua velocità cresce durante la caduta poiché l'attrazione gravitazionale diventa considerevolmente più intensa mano a mano che la pietra si avvicina alla Terra.
- (C) la sua velocità cresce a causa di una forza di gravità quasi costante che agisce su di essa.
- (D) cade a causa della tendenza naturale di tutti i corpi di fermarsi sulla superficie della Terra.
- (E) cade a causa della combinazione degli effetti della forza di gravità che la spinge verso il basso e della forza dell'aria che la spinge anch'essa verso il basso.

3a. Spiega la tua risposta alla domanda precedente

4. Una palla viene sparata da un cannone situato su di una altura, come mostrato nella figura sottostante. A quale delle traiettorie si avvicina maggiormente il percorso seguito dalla palla?



5. Una palla da bowling cade accidentalmente fuori dal deposito bagagli di un aereo mentre esso vola in direzione orizzontale. A quale delle seguenti traiettorie si avvicina maggiormente il percorso seguito dalla palla da bowling, visto da una persona ferma a terra?



5a. Spiega le eventuali differenze nella traiettoria della palla di cannone e della palla da bowling nelle domande 4 e 5

6. Immagina una moneta lanciata in aria. Dopo essere stata rilasciata, si muove verso l'alto, raggiunge il punto più alto e ricade di nuovo. Indica l'accelerazione della moneta durante ciascuna delle fasi del movimento descritte di seguito.

Quando la moneta si sta muovendo verso l'alto (ha già lasciato la mano del lanciatore):

- L'accelerazione è verso il basso e costante
- L'accelerazione è verso il basso ed aumenta
- L'accelerazione è verso il basso e diminuisce
- L'accelerazione è zero
- L'accelerazione è verso l'alto e costante
- L'accelerazione è verso l'alto ed aumenta
- L'accelerazione è verso l'alto e diminuisce
- Nessuna di queste

7. Immagina una moneta lanciata in aria. Dopo essere stata rilasciata, si muove verso l'alto, raggiunge il punto più alto e ricade di nuovo. Indica l'accelerazione della moneta durante ciascuna delle fasi del movimento descritte di seguito.

Quando la moneta è nel suo punto più alto:

- L'accelerazione è verso il basso e non sta cambiando
- L'accelerazione è verso il basso e sta aumentando
- L'accelerazione è verso il basso e sta diminuendo
- L'accelerazione è zero
- L'accelerazione è verso l'alto e non sta cambiando
- L'accelerazione è verso l'alto e sta aumentando
- L'accelerazione è verso l'alto e sta diminuendo
- Nessuna di queste

8. Immagina una moneta lanciata in aria. Dopo essere stata rilasciata, si muove verso l'alto, raggiunge il punto più alto e ricade di nuovo. Indica l'accelerazione della moneta durante ciascuna delle fasi del movimento descritte di seguito.

Quando la moneta sta scendendo verso il basso:

- L'accelerazione è verso il basso e costante
- L'accelerazione è verso il basso ed aumenta
- L'accelerazione è verso il basso e diminuisce
- L'accelerazione è zero
- L'accelerazione è verso l'alto e costante
- L'accelerazione è verso l'alto ed aumenta
- L'accelerazione è verso l'alto e diminuisce
- Nessuna di queste

8a. Spiega in modo più dettagliato possibile il moto della moneta e le accelerazioni a cui è sottoposta da quando viene lanciata a quando cade per terra*

FACOLTATIVA: Spiega (se lo ritieni opportuno) la tua risposta in qualcuna delle domande precedenti, specificando a quale (o quali) domande ti riferisci

Un ultimo sforzo...

Per queste domande dai una valutazione da 1 a 5

Come giudichi:

	1	2	3	4	5
L'argomento trattato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Il modo in cui è stata fatta la lezione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quanto è stato facile capire l'argomento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quanto è stato interessante l'argomento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quanto avresti voglia di saperne di più	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Quanto di ciò che hai imparato è davvero utile	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Appendice B: Questionario di terminologia



Il calore e la temperatura

Cognome e Nome: _____

Di che classe sei?

- 1 Triennale elettrico
- 2 Triennale elettrico
- 3 Triennale elettrico
- 1 Biennale elettrico
- 2 Biennale elettrico
- 4 anno Tecnico elettrico

Quando stai facendo questo test?

- Prima delle lezioni di questo argomento
- L'argomento è stato affrontato poco tempo fa
- L'argomento è stato affrontato più di un mese fa

Impegnati sul serio a fare questo test, il voto finale sarà composto sia dalla quantità di risposte corrette sia dalla serietà con cui affronti il test.

PUOI AVERE UN BUON VOTO SE TI IMPEGNI (ANCHE SE SBAGLI LE RISPOSTE)

- Ho capito, mi impegno

Ok, adesso via alle domande!

Per aiutarti a visualizzare ogni situazione, pensa a un gruppo di amici in una cucina o in un bar. Immagina che vedano alcuni fenomeni avvenire e che provino a spiegare cosa succede.

1. Spiega (con parole tue) che cos'è il calore

2. Spiega (con parole tue) che cos'è la temperatura

3. Spiega (con parole tue) come funziona un termometro a dilatazione (vedi foto)



4. Qual è la temperatura più probabile dei cubetti di ghiaccio che sono dentro il cassetto di un freezer?

- 10° C
- 0° C
- 5° C
- Dipende dalla dimensione dei cubetti di ghiaccio

5. Marco prende molti cubetti di ghiaccio dal freezer e li mette dentro un bicchiere con poca acqua. Dopo un po' di tempo i cubetti si sono quasi sciolti completamente e la parte rimasta galleggia nel bicchiere sopra l'acqua (che nel frattempo è aumentata). A che temperatura si avvicina di più l'acqua del bicchiere?

- 10° C
- 0° C
- 5° C
- 10° C

6. Sul fornello della cucina c'è una pentola d'acqua. L'acqua inizia velocemente a bollire. A che temperatura secondo te si avvicina di più l'acqua?

- 88° C
- 98° C
- 110° C
- Nessuna delle risposte precedenti

7. 5 minuti più tardi l'acqua sta ancora bollendo. A che temperatura secondo te si avvicina di più l'acqua adesso?

- 88° C
- 98° C
- 110° C
- 120° C

8. Dopo aver cucinato delle uova nell'acqua bollente, Silvia le raffredda mettendole in una ciotola di acqua fredda. Quale delle seguenti frasi spiega meglio il processo di raffreddamento?

- La temperatura si è trasferita dalle uova all'acqua
- Il freddo si è trasferito dall'acqua alle uova
- Gli oggetti caldi tendono naturalmente a raffreddarsi
- Dell'energia si è trasferita dalle uova all'acqua

9. Andrea dice ai suoi compagni di classe che non gli piace sedersi sulle sedie di metallo che ci sono in classe "perché sono più fredde di quelle di plastica". Cosa gli risponderesti?

- "sono più fredde perché il metallo è in maniera naturale più freddo della plastica"
- "non sono più fredde, sono alla stessa temperatura"
- "non sono più fredde, ti sembrano più fredde quelle di metallo perché sono più pesanti"
- "sono più fredde perché il metallo ha meno calore da perdere della plastica"
- non risponderei in nessuno di questi modi

9a. Andrea ti chiede perché hai risposto in quel modo. Prova a spiegarglielo con parole tue.

10. Alessia prende dei ghiaccioli dal freezer e dice a tutti che il legnetto del bastoncino ha una temperatura più alta della parte ghiacciata. Con chi sei più d'accordo?

- Sara dice: "hai ragione perché il bastoncino di legno non diventa freddo come il ghiaccio"
- Mattia dice: "hai ragione perché il ghiaccio contiene più freddo del legno"
- Rosa dice: "ti sbagli, li senti solo a temperature diverse perché il legno contiene più calore"
- Eric dice: "ti sbagli, sono alla stessa temperatura perché stanno insieme"

11. Quattro ragazzi stanno raccontando come giocavano da bambini. Marta dice: "io spesso avvolgevo le mie bambole nelle coperte, ma non ho mai capito perché non si riscaldassero". Con quale risposta sei d'accordo?

- Marco risponde: "forse è perché le coperte che usavi non erano buoni isolanti"
- Lia risponde: "forse è perché le coperte che usavi non erano buoni conduttori"
- John risponde: "forse è perché le bambole erano fatte di materiale che non tratteneva bene il calore"
- Kevin risponde: "forse è perché le bambole erano fatte di materiale che richiede molto tempo per scaldarsi"
- Jessica risponde: "secondo me vi sbagliate tutti"

11a. Prova a spiegare a Marta il perché le bambole non si riscaldavano (puoi aiutarti con la risposta che hai dato alla domanda precedente)

FACOLTATIVA: Spiega (se lo ritieni opportuno) la tua risposta in qualcuna delle domande precedenti, specificando a quale (o quali) domande ti riferisci

Un ultimo sforzo...

Per queste domande dai una valutazione da 1 a 5

Come giudichi:

	1	2	3	4	5
L'argomento trattato	0	0	0	0	0
Il modo in cui è stata fatta la lezione	0	0	0	0	0
Quanto è stato facile capire l'argomento	0	0	0	0	0
Quanto è stato interessante l'argomento	0	0	0	0	0
Quanto avresti voglia di saperne di più	0	0	0	0	0
Quanto di ciò che hai imparato è davvero utile	0	0	0	0	0



Appendice C: Schede di laboratorio

Scheda di laboratorio di cinematica

Il seguente lavoro è diviso a gruppi, si prevede una durata di 2 ore per ogni esperienza così suddivise:

- 15' spiegazione dell'esperienza
- 15' previsione di ogni gruppo (prima individuale e poi con discussione all'interno del gruppo)
- 60' realizzazione pratica dell'esperienza ed analisi finale (dove prevista)
- 30' discussione finale in classe

-- intervallo --

In questa esperienza sarai chiamato a studiare la caduta degli oggetti. Utilizzeremo una pallina da calcio balilla, i vostri cellulari ed un software chiamato "Tracker".

1 - CADUTA LIBERA

Prima di iniziare a fare gli esperimenti soffermati a fare delle previsioni su cosa succederà, in modo da poter confrontare le tue aspettative con il risultato sperimentale. Immagina una pallina lasciata cadere dalla mano di un tuo compagno di classe e scrivi nel modo più dettagliato possibile come secondo te si muoverà la pallina. Per aiutarti usa questa traccia:

- spiega (o disegna) quale potrebbe essere la traiettoria della pallina
- spiega se e come varierà la velocità della pallina
- spiega se e come varierà l'accelerazione della pallina
- prova a costruire un grafico spazio-tempo, uno velocità-tempo e uno accelerazione-tempo

REALIZZAZIONE

Per poter usare in maniera corretta il software è necessario impostare molto bene l'esperimento: è necessario posizionare il telefono in un punto fisso e ad una distanza adatta a vedere il moto intero, fissare al muro una misura di riferimento e decidere da che altezza lasciar cadere la pallina. Con il cellulare si registra il moto della pallina. Se il video viene bene si può caricare il filmato in tracker e farne l'analisi.

Ricavare dal software i grafici spazio-tempo, velocità-tempo ed accelerazione-tempo.

ANALISI DEI RISULTATI

Confronta i tuoi grafici iniziali con quelli generati dal software: sono simili? cosa è successo? come spieghi le eventuali differenze?

Discussione in classe dei risultati

2- COMPOSIZIONE DEI MOTI

In questo caso immagina la pallina che rotola su un piano orizzontale, al termine del quale cade. Scrivi nel modo più dettagliato possibile come secondo te si muoverà la pallina dal momento in cui finisce il piano in poi. Per aiutarti usa questa traccia:

- spiega quale potrebbe essere la traiettoria della pallina (disegnala)
- spiega se e come varierà la velocità della pallina (distingui due velocità: una orizzontale ed una in verticale) e disegna il grafico.
- spiega se e come varierà l'accelerazione della pallina (distingui due accelerazioni: una orizzontale ed una in verticale) e disegna il grafico.
- prova a costruire un grafico spazio-tempo, uno velocità-tempo e uno accelerazione-tempo (distingui la direzione orizzontale e quella verticale)
- la pallina tocca terra nello stesso istante del caso precedente se le faccio partire dalla stessa altezza? Perché?

REALIZZAZIONE

Impostando l'esperimento come nel caso precedente, è necessario utilizzare un tavolo o un supporto per fare in modo da non interferire con la pallina prima che cada. Con il cellulare si registra il moto della pallina. Se il video viene bene si può caricare il filmato in tracker e farne l'analisi. Ricavare dal software i grafici spazio-tempo, velocità-tempo ed accelerazione-tempo nella direzione orizzontale e verticale.

ANALISI DEI RISULTATI

Confronta i tuoi grafici iniziali con quelli generati dal software: sono simili? cosa è successo? come spieghi le eventuali differenze?

Discussione in classe dei risultati

3- MOTO DEL PROIETTILE

Immagina la pallina sparata con un'inclinazione di 45° . Scrivi nel modo più dettagliato possibile come secondo te si muoverà la pallina dal momento in cui viene sparata in poi. Per aiutarti usa questa traccia:

- spiega quale potrebbe essere la traiettoria della pallina (disegnala)

- spiega se e come varierà la velocità della pallina (distingui due velocità: una orizzontale ed una in verticale)
- spiega se e come varierà l'accelerazione della pallina (distingui due accelerazioni: una orizzontale ed una in verticale)
- in tre punti della traiettoria che hai disegnato (uno all'inizio, uno nel punto più alto e uno verso la fine) prova a disegnare con colori diversi i vettori velocità e accelerazione della pallina (distingui la direzione orizzontale e verticale)
- prova a costruire un grafico spazio-tempo, uno velocità-tempo e uno accelerazione-tempo (distingui la direzione orizzontale e quella verticale)

REALIZZAZIONE

Impostando l'esperimento come nel caso precedente, è necessario utilizzare una piccola rampa per dare alla pallina l'inclinazione giusta. Con il cellulare si registra il moto della pallina. Se il video viene bene si può caricare il filmato in tracker e farne l'analisi. Ricavare dal software i grafici spazio-tempo, velocità-tempo ed accelerazione-tempo nella direzione orizzontale e verticale.

ANALISI DEI RISULTATI

In tre punti della traiettoria generata dal software (gli stessi che hai scelto nella prima parte dell'esperienza) prova a disegnare con colori diversi i vettori velocità e accelerazione della pallina (distingui la direzione orizzontale e verticale)

Confronta i tuoi grafici iniziali con quelli generati dal software: sono simili? cosa è successo? come spieghi le eventuali differenze?

Discussione in classe dei risultati

Scheda di laboratorio di termologia

Queste esperienze di laboratorio sono, per loro natura, più osservative. Per questo motivo non sarà sempre possibile che tutti facciate in prima persona tutte le esperienze, quando non sarà possibile, le faremo insieme ma voi vi occuperete della preparazione, di prendere le misure e registrare eventuali osservazioni. In alcuni casi sarà possibile realizzare in maniera parallela la stessa esperienza dividendo la classe in più macrogruppi.

1- LA PERCEZIONE DEL CALORE

Preparate 3 contenitori d'acqua: uno di acqua fredda, uno di acqua a temperatura ambiente (viene misurata la temperatura) e uno di acqua calda. Uno di voi metterà la mano per un minuto nell'acqua fredda, ed un altro nell'acqua calda. Dopo un minuto, entrambi contemporaneamente immergerete la mano nell'acqua a temperatura ambiente e direte ai compagni cosa sentite. Si può ripetere il procedimento con altri studenti.

Al termine, discussione in classe: l'acqua a temperatura ambiente è calda o fredda? perché qualcuno la sente calda e qualcuno fredda?

2- I PASSAGGI DI STATO

Prendete dell'acqua a temperatura ambiente e misuratene la temperatura. Provate a disegnare un grafico di come cambia la temperatura dell'acqua nel tempo se ci fosse del ghiaccio dentro. Ora inserite nell'acqua una buona quantità di cubetti di ghiaccio e misurate la temperatura ogni minuto fino a quando il ghiaccio fonde completamente (e si prosegue ancora per qualche minuto). Riportate i dati in un grafico temperatura-tempo. Cosa notate? Il grafico è uguale al vostro?

Discussione in classe.

3- LA TEMPERATURA DI EQUILIBRIO

Metterete in contatto masse d'acqua uguali con temperature diverse:

1. Una massa a temperatura ambiente e una calda;
2. Una massa a temperatura ambiente ed una fredda;

Misurate le temperature iniziali e prima di misurarla, provate a stimare la temperatura finale: chi si è avvicinato di più?

Ripetete l'esperienza con masse d'acqua diverse, una il doppio dell'altra. Anche in questo caso, dopo le misure iniziali provate a stimare la temperatura finale: chi si è avvicinato di più?

Secondo voi c'è una formula che permette di prevedere la temperatura finale?

Discussione in classe.

4- LA DILATAZIONE TERMICA

Prova ad avvitare metà di una vite in un pannello di legno, questa vite verrà scaldata e successivamente finirai di avvitarla. Al termine della prova rispondi alla seguente domanda: hai notato una differenza mentre avvitali la vite prima o dopo averla scaldata?

Secondo te a cosa è dovuto?

Ora prendi la barra di ferro, misurala nel modo più preciso che riesci. Metti la barra nel forno e scaldala fino ad una temperatura che decidi tu. Dopo qualche minuto, estraila dal forno e misurala nuovamente. Cosa noti?

Discussione in classe.