



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DEPARTMENT OF PHYSICS AND ASTRONOMY "A. RIGHI"

SECOND CYCLE DEGREE

PHYSICS

**"SÌ, MA QUANTO HO PRESO?"
CARATTERISTICHE DEL FEEDBACK SCRITTO IN
DINAMICA ROTAZIONALE NEL CONTESTO DELLA
SCUOLA SENZA VOTO**

Supervisor

Prof. Andrea Maffia

Defended by

Daniele Riva

Co-Supervisor

Dott.ssa Francesca Riccioni

13 / 03 / 2026

Academic Year 2024/2025

Abstract

In questa tesi viene esplorato il ruolo del feedback scritto nella valutazione formativa in una classe di Fisica in un contesto di scuola secondaria “senza voto”. L’obiettivo è comprendere se, e in che modo, il feedback possa supportare l’apprendimento degli studenti quando il voto numerico viene rimosso. Dopo una rassegna della letteratura sulle esperienze di scuola senza voto, viene presentata l’esperienza di tirocinio condotta presso la CLasse degli Obiettivi e del Dialogo (CLOD) alle Scuole Manzoni di Bologna. I feedback delle prove di Fisica svolte al termine del tirocinio sono stati analizzati con lenti provenienti dalla Docimologia e della Didattica della Fisica, confrontando i risultati con le opinioni degli studenti raccolte tramite interviste. Dalle analisi, il feedback risulta solo parzialmente aderente alle indicazioni offerte dalla letteratura sul tema. Tuttavia, il risultato ottenuto risulta in contrasto con le opinioni delle studentesse, che si dichiarano in generale soddisfatte del feedback ricevuto. Per provare a sciogliere questa contraddizione, viene proposta l’ipotesi di una convergenza tra le aspettative del docente e delle studentesse riguardo la natura del feedback in Fisica. La tesi si conclude con possibili strategie per rendere il feedback più efficace

A Nespola, Pennetta e Brusin,
che si addormentano mentre fanno le fusa
pur ignorando cosa sia la Didattica della fisica.

Al chiaro di luna la torre era così bella, pendeva con tanta grazia, che il professore rimase lì estatico a rimirla e intanto pensava: «Ah, come sono belle, certe volte, le cose sbagliate!»

G. Rodari, Il libro degli errori

Sommario

Elenco figure	12
Elenco tabelle	13
Introduzione	15
1 La valutazione	17
1.1 Definizioni	17
1.2 Funzioni della valutazione	19
1.3 La valutazione formativa	20
1.4 La valutazione come forma di potere	22
1.5 Stereotipi e possibili obiezioni al voto	26
1.6 Uno sguardo alla normativa	28
1.7 Rassegna sistematica della letteratura in Didattica della Fisica	29
1.8 Punti critici e individuazione della domanda di ricerca	32
2 L'esperienza di tirocinio	35
2.1 Origine, storia e struttura del progetto	35
2.2 Caratteristiche della CLasse degli Obiettivi e del Dialogo (CLOD)	37
2.2.1 Motivazioni di adesione al progetto	38
2.2.2 Bisogni educativi delle studentesse della CLOD	39
2.2.3 Rapporto con la Fisica	40
2.3 Progettazione del percorso didattico:	41
2.3.1 Inquadramento generale del tirocinio	41
2.3.2 Scelta dell'argomento, competenze e griglia di valutazione	42
2.3.3 Calendario delle lezioni	44
2.3.4 Scelta del percorso concettuale	44
2.3.5 Nodi cognitivi nella letteratura di ricerca in Didattica della Fisica	48
2.3.6 Costruzione ed esiti del pre-test diagnostico somministrato alla CLOD	50
2.3.7 Accessibilità e strumenti compensativi	53
2.3.8 Criterio di riscrittura degli esercizi somministrati alle studentesse per esercitarsi a casa, a valle di un'analisi condotta tramite la dimensione della Semantic Gravity	54
2.3.9 Uso di oggetti ed esperienze concreti nel corso delle lezioni	58
2.3.10 Uso della valutazione in senso formativo	58

2.3.11 Struttura della prova scritta proposta al termine del percorso didattico	59
2.4 Raccolta dati nel corso del tirocinio	60
3 Costruzione delle lenti di analisi della valutazione e delle prove secondo alcuni modelli scelti dalla letteratura di ricerca	63
3.1 Modello dei quattro livelli di feedback	64
3.2 Informatività dei feedback	67
3.3 Caratteristiche del feedback formativo	68
3.4 Tipologie di errore.....	73
3.5 Classificazione processuale degli errori	74
3.6 Giochi epistemic.....	75
4 Analisi e discussione.....	81
4.1 Analisi dei livelli e dell'informatività del feedback.....	81
4.2 Analisi delle caratteristiche del feedback formativo.....	83
4.2.1 Descrivere la performance	83
4.2.2 Specificità del feedback	84
4.2.3 Chiarezza del feedback	85
4.2.4 Feedback e comparazione	86
4.2.5 Individualità.....	86
4.2.6 Comunicabilità	86
4.2.7 Quantità di informazioni	87
4.2.8 Terminologia	88
4.3 Analisi delle tipologie di errori	88
4.4 Analisi processuale degli errori	89
4.5 Analisi secondo il framework degli epistemic games	90
4.5.1 Esempio di applicazione dell'algoritmo per l'individuazione degli <i>epistemic games</i> ...	91
4.5.2 Risultati e mappatura degli epistemic games rilevati	93
4.6 Confronto dei risultati ottenuti con le opinioni delle studentesse	94
5 Proposte di sviluppo della valutazione formativa per il docente di Fisica del progetto CLOD...	99
6 Conclusioni, limitazioni e possibili sviluppi	105
6.1 Possibili sviluppi	106
Bibliografia	109
Appendice A	115
Appendice B	116

Appendice C.....	118
------------------	-----

Elenco figure

Figura 1: Grafico percentuale delle risposte date da studentesse e studenti alla domanda: Quali emozioni, sentimenti, sensazioni provi più di frequente in queste situazioni di vita? - A scuola. (Regione Emilia-Romagna, 2022).....	36
Figura 2: Distribuzione degli esiti per ciascun quesito del pre-test.	52
Figura 3: Distribuzione degli esercizi nei 6 livelli di Semantic Gravity.	56
Figura 4: Composizione percentuale di ciascuna delle 7 sezioni dell'eserciziario, in termini di Semantic Gravity.....	57
Figura 5: Composizione percentuale di ciascuna delle 7 sezioni dell'eserciziario, in termini di tipologia di esercizio.	57
Figura 6: Livelli di competenza per i tre obiettivi specifici dell'argomentazione, raggiunti nella verifica del modulo precedente a quello svolto durante il tirocinio.	58
Figura 7: Diagramma di flusso per l'analisi degli <i>epistemic games</i> presenti nelle verifiche scritte	80
Figura 8: Distribuzione dei feedback presenti nelle verifiche scritte secondo la classificazione nei quattro livelli proposti da Hattie e Timperley (2007)	82
Figura 9: Distribuzione dei feedback a livello del compito, in base agli indicatori	82
Figura 10: Distribuzione dei feedback di ciascuna verifica, secondo la classificazione utilizzata da Wisniewski e colleghi (2020).....	82
Figura 11: Frequenze assolute degli indicatori della capacità di un feedback di descrivere la performance	84
Figura 12: Frequenze assolute degli indicatori della specificità del feedback.....	84
Figura 13: Frequenze assolute degli indicatori della chiarezza del feedback.....	85
Figura 14: Frequenze assolute degli indicatori della presenza di comparazioni nel feedback.....	86
Figura 15: Frequenze assolute degli indicatori per individualità e comunicabilità del feedback..	86
Figura 16: Frequenze assolute degli indicatori della quantità di informazioni veicolate nel feedback	87
Figura 17: Frequenze assolute degli indicatori della terminologia presente nei feedback	87
Figura 18: Distribuzione degli errori per tipologia di errore, secondo la griglia presente in sez. 3.4	89
Figura 19: Distribuzione degli errori rispetto al momento del processo di problem solving in cui sono avvenuti, secondo la griglia in sez. 3.5.....	89
Figura 20: Trascrizione di uno svolgimento del primo esercizio della verifica scritta	92
Figura 21: Epistemic games giocati dalle studentesse in ciascun esercizio	93
Figura 22: Svolgimento dell'esercizio 1 da parte di una studentessa, trascritto	100
Figura 23: Svolgimento dell'esercizio 2 da parte di una studentessa, trascritto	101

Elenco tabelle

Tabella 1: Classificazione degli obiettivi di competenza nella Achievement Goal Theory.....	25
Tabella 2: La programmazione prevista per il modulo affrontato durante il tirocinio (Mancino, 2024).....	43
Tabella 3: La pianificazione delle lezioni.	44
Tabella 4: Griglia di analisi della Semantic Gravity degli esercizi di dinamica rotazionale proposti in Amaldi (2020)	55
Tabella 5: Griglia di analisi dei livelli del feedback	67
Tabella 6: Griglia di analisi dell'informativisi del feedback	68
Tabella 7: Griglia di analisi delle caratteristiche del feedback formativo	73
Tabella 8: Griglia di analisi delle tipologie di errore	74
Tabella 9: Griglia di analisi della dimensione processuale degli errori	75

Introduzione

Quando una docente o un docente riconsegnano una prova corretta, non ne stanno solo comunicando l'esito: dare una valutazione richiede di avere definito, esplicitamente o implicitamente, cosa conta come apprendimento, quali aspetti sono ritenuti rilevanti, quale ruolo viene attribuito all'errore e se e quali spazi siano concessi al recupero e al miglioramento.

In tal senso, è importante distinguere tra due tipi di valutazioni: quella sommativa, assegnata al termine di un percorso per quantificare i risultati ottenuti, e quella formativa, utile mentre l'apprendimento è in corso, perché ha un duplice scopo: dare informazioni alla o al docente per regolare l'insegnamento, e informare le studentesse e gli studenti riguardo dove si posizionano rispetto agli obiettivi da raggiungere.

Tipicamente, la valutazione è fortemente centrata sul voto numerico, e talvolta può essere costituita unicamente da esso. Il voto permette di sintetizzare la prestazione in un unico indicatore quantitativo e di classificare i risultati, confrontandoli e certificando quelli ottenuti. Tuttavia, una valutazione accompagnata da un numero o composta solamente da esso rischia di nascondere la complessità del processo di apprendimento, focalizzando l'attenzione solo sul risultato finale. Il voto risulta così termine dell'apprendimento: chi lo riceve prende atto del numero ottenuto, lo confronta con le proprie aspettative o con i risultati delle compagne e dei compagni, e il compito viene archiviato. Queste caratteristiche lo rendono uno strumento inadeguato per la valutazione formativa, che avviene *in itinere*, e non al termine del percorso di apprendimento.

Il modello di scuola per competenze, che prevede traguardi di lungo respiro, con tempistiche annuali o biennali, richiede che venga fatto largo uso della valutazione formativa. Da questo approccio nasce l'idea di una scuola "senza voto", dove la valutazione sommativa numerica viene limitata alle valutazioni periodica e finale al termine dei due quadrimestri, mentre tutte le rimanenti prove che vengono svolte durante l'anno ricevono una valutazione (in forma di feedback), senza essere accompagnate da un voto.

Eliminando il numero, si intende spostare il baricentro della valutazione dalla classificazione (e dal giudizio sintetico) al dialogo su e per l'apprendimento. Ciò si traduce nell'esplicitare il posizionamento della prestazione rispetto ai traguardi di competenza, i suoi punti di forza, le criticità e le possibili strategie per recuperare e migliorare. In questo scenario, il feedback assume una funzione strutturale: non più elemento accessorio, ma principale strumento attraverso cui la valutazione prende forma. Quando non è adeguato, il feedback può risultare difficile da comprendere e da comunicare ad altri. Questa difficoltà viene riportata da vari articoli di letteratura scientifica sul tema.

Anche a Bologna è nato un progetto di scuola "senza voto": la Classe degli Obiettivi e del Dialogo (CLOD), presso le Scuole Manzoni, dove l'autore ha svolto un tirocinio al termine dell'Anno Scolastico 2024-2025. Al termine del tirocinio è stato analizzato il feedback scritto di una prova di dinamica rotazionale, sia con lenti provenienti dalla Docimologia, sia dalla Didattica della Fisica, al

fine di osservarne le caratteristiche e confrontare i risultati ottenuti con le opinioni delle studentesse e degli studenti della classe, raccolte tramite interviste.

Nel Capitolo 1 vengono presentate e approfondite le riflessioni, già in parte accennate finora, che hanno portato all'ideazione della scuola "senza voto", assieme ad un commento alle obiezioni più comuni che vengono poste alla proposta di rimozione del voto numerico, e discutendo come il quadro legislativo italiano permetta questo tipo di approccio. Una rassegna sistematica della letteratura sul tema, incentrata sull'individuare casi studio di scuola "senza voto" in Italia alla scuola secondaria di secondo grado dove fosse coinvolto anche l'insegnamento/apprendimento della Fisica, ha fatto emergere poche fonti, che riportavano una difficoltà comune nella comprensione del feedback da parte delle studentesse e degli studenti.

Nel Capitolo 2 viene presentata l'esperienza di tirocinio svolta, comprensiva di un resoconto del progetto nella sua forma generale, la composizione e le caratteristiche della classe e le scelte didattiche che sono state effettuate per introdurre l'argomento della dinamica rotazionale, delineando il quadro empirico entro cui si inserisce l'analisi.

Nel terzo capitolo vengono presentate le lenti teoriche, provenienti dalla Docimologia e dalla Didattica della Fisica, che hanno permesso nel Capitolo 4 di analizzare prima i feedback e poi lo svolgimento delle prove, per poi discuterne i risultati e confrontarli con le opinioni degli studenti e delle studentesse. Nel capitolo 5 vengono discusse alcune possibili modalità di potenziamento del feedback formativo, emerse a partire dall'analisi condotta. Infine, il sesto capitolo presenta le conclusioni del lavoro, mettendo in relazione i risultati con la domanda di ricerca iniziale e aprendo possibili sviluppi futuri.

1 La valutazione

Quando si parla di educazione e apprendimento, il modo in cui si valuta e si viene valutati è uno dei punti che deve necessariamente essere preso in considerazione. Lo studio di questo specifico ambito della didattica, chiamato docimologia, è estremamente ampio, complesso e ramificato. Nel corso di questo capitolo, pertanto, si intende riportare solamente i risultati necessari allo sviluppo della tesi e ad un inquadramento della pratica della scuola senza voto. Al fine di evitare possibili fraintendimenti, è preferibile chiarire fin d'ora che con l'espressione "scuola senza voto" non si intende una generale assenza di valutazione, ma la rinuncia all'uso del voto numerico nella valutazione formativa, a favore di pratiche valutative descrittive, dialogiche e orientate allo sviluppo dell'apprendimento.

Questo capitolo si svilupperà a partire da una breve analisi della definizione del termine *valutazione*, come spunto per esaminarne alcune delle principali caratteristiche e classificazioni; proseguirà poi entrando più in dettaglio nell'ambito della valutazione formativa; verranno poi riprese in seguito delle riflessioni sulla valutazione come dinamica di potere, che introdurranno le motivazioni che hanno portato all'introduzione della scuola senza voto, provando a rispondere alle principali obiezioni che vengono poste a tale pratica. Dopo avere riportato alcune esperienze di scuola senza voto già avvenute in passato o ancora in atto, verrà infine introdotta la domanda di ricerca.

1.1 Definizioni

Considerate l'importanza e la centralità del tema della valutazione in didattica, è frequente in letteratura trovarsi di fronte a definizioni diverse, ciascuna dipendente dalle caratteristiche che di volta in volta si desidera porre in evidenza. Vengono riportate di seguito due definizioni riscontrabili in letteratura, con l'intento non tanto di scegliere o sviluppare una definizione migliore, quanto piuttosto di utilizzarle come spunti per introdurre alcuni aspetti della valutazione in ambito scolastico.

La prima definizione, proposta da Jean-Marie Barbier, suggerisce una struttura per la pratica valutativa, che viene definita come "un duplice processo di rappresentazione, in cui il punto di partenza consiste in una rappresentazione fattuale di un oggetto [la raccolta dei *dati di riferimento*], e il punto di arrivo in una rappresentazione codificata di questo stesso oggetto [il *giudizio di valore*]" (Barbier, 1989 (ed. or. 1977), p. 76). Nella sua definizione, Barbier separa il processo valutativo in due momenti: la *fase rilevativa*, in cui si raccolgono i dati ritenuti utili per la valutazione, e la *fase di espressione del giudizio*, nella quale chi valuta interpreta i dati in base al proprio quadro valoriale, ovvero l'insieme dei cosiddetti *criteri di giudizio*.

I *dati* che vengono raccolti dipendono dagli aspetti che l'insegnante desidera valutare: se è interessata o interessato al processo di apprendimento o, piuttosto, ai risultati che ne

conseguono; se ricerca unicamente una dimensione cognitiva (conoscenze e abilità sviluppate dalla studentessa o dallo studente) o se considera anche quella extracognitiva, che comprende aspetti emozionali, sociali, metacognitivi e identitari; se inquadra gli apprendimenti in uno spazio disciplinare o è attenta o attento ad ampliare le competenze trasversali (Castoldi, 2015).

La raccolta dei dati di riferimento può avvenire sia in maniera ‘naturale’, grazie agli interventi delle studentesse e degli studenti, sia in modi più formalizzati, come le prove di verifica, per cui in seguito a uno stimolo (una domanda, una consegna, uno spunto di lavoro ecc.) la studentessa o lo studente eseguirà una prestazione che l’insegnante potrà analizzare e valutare.

La restituzione può avvenire in forme diverse: il giudizio, infatti, può essere espresso con voti numerici, aggettivi o avverbi, oppure simboli. Queste possono essere utilizzate come *variabili nominali* nel caso in cui la prova venga inserita in una tra due o più classi (ad esempio il classico “esame superato/non superato”), o come *variabili di tipo ordinale* se dispongono il risultato all’interno di una scala di livelli, come avviene tipicamente a scuola. Un’altra modalità di ordinazione è la *scala a intervalli*, che si distingue dalla scala ordinale perché, a differenza di quest’ultima, è costruita in modo tale che, prese due coppie di due livelli consecutivi qualsiasi all’interno della scala, questi saranno ugualmente distanti tra loro (Stevens, 1946; Domenici, 2003; Castoldi, 2015). Le valutazioni, in base al tipo di riferimento scelto, possono essere di natura intrapersonale, quando considerano le prestazioni precedenti del soggetto valutato; assolute, quando riguardano il raggiungimento di un obiettivo; oppure normative (confrontando la prestazione del soggetto con le prestazioni del resto del gruppo a cui appartiene, ovvero la norma) (Bacchi & Romagnoli, La classe senza voto, 2019).

È importante far notare che nelle modalità di espressione del giudizio, nessuno dei manuali consultati cita l’utilizzo di valutazioni descrittive. Questo perché la prospettiva docimologica “si basa sull’utilizzo di prove di valutazione oggettive, finalizzate a misurare i livelli di apprendimento e di sviluppo degli alunni nei diversi ambiti del curriculum scolastico” (Franceschini, 2017, p. 335). Non per questo l’utilizzo di valutazioni descrittive è da considerarsi secondario: al contrario, nel corso del capitolo risulterà evidente la grande rilevanza che queste ricoprono nella didattica.

La seconda definizione qui analizzata è quella proposta da Evelyn Owusu Oduro, che la ha concepita a partire da un’analisi e sintesi di altre definizioni presenti nella letteratura precedente. Oduro considera la valutazione come l’insieme di “*Tutte le attività che l’insegnante usa, sia in aula che fuori dall’aula, per misurare i risultati di apprendimento. Questo processo può essere intrapreso per perseguire una varietà di obiettivi*”¹ (Oduro, 2015, p. 30).

Questa definizione rimane di proposito estremamente generale, enfatizzando come la valutazione non sia legata solo al momento di verifica o agli scrutini, ma si ritrovi in qualunque attività (compito, gioco, discussione, ...), riprendendo il tema delle modalità di raccolta dati, già discusso a seguito della prima definizione. L’altro grande tema che viene ripreso nella definizione è dato dagli obiettivi, che si possono suddividere in interni ed esterni (Castoldi, 2015). La locuzione ad *uso interno* indica che i risultati vengono utilizzati come feedback per l’insegnante, che li userà per

¹ Traduzione a cura dell’autore.

aggiustare le scelte didattiche, valutare se intraprendere percorsi individualizzati per far recuperare eventuali lacune a studentesse e studenti che ne avessero bisogno. L'uso interno del feedback valutativo rende possibile una circolarità tra la progettazione delle lezioni, le attività in classe e le valutazioni. Tale circolarità consiste non tanto nel continuo ripetersi di queste tre fasi argomento dopo argomento, quanto piuttosto il loro continuo influenzarsi vicendevolmente. Al centro di questo approccio sta il concetto di *feedback*, ampiamente esplorato in (Hattie, 2016); (Hattie & Clarke, 2018). Riguardo questa circolarità scrivono Black e William:

“Partiamo dall’affermazione autoevidente che l’insegnamento e l’apprendimento devono essere interattivi. Gli insegnanti hanno bisogno di conoscere i progressi e le difficoltà di apprendimento dei loro studenti, in modo da poter adattare il proprio lavoro per venire incontro ai bisogni degli alunni.” (Black & Wiliam, 1998)

Oltre a questa funzione regolativa, utile all’insegnante, c’è anche un *uso esterno*, che coinvolge le studentesse e gli studenti, ma anche le famiglie. Questi devono essere considerati come soggetti attivi, *“protagonisti del proprio percorso di crescita e quindi interlocutori con cui condividere il giudizio al fine di comprenderne l’uso migliore in rapporto agli sviluppi futuri”* (Castoldi, 2015, p. 92). Anche Franceschini riporta quanto sia importante che gli esiti delle valutazioni non rimangano solo in possesso dell’insegnante: *“Occorre assicurare agli studenti e alle famiglie un’informazione tempestiva e trasparente sui criteri e sui risultati delle valutazioni effettuate nei diversi momenti del percorso scolastico, promuovendone con costanza la partecipazione e la corresponsabilità educativa, nella distinzione di ruoli e funzioni”* (Franceschini, 2017, p. 339). Questo uso esterno è tipico della valutazione formativa, che verrà introdotta nella prossima sezione.

Si conclude questa prima disamina sulla valutazione riportando alcune caratteristiche che concorrono a fornire una valutazione di qualità. Secondo Frabboni sono da tenere in considerazione la sua *validità*, ovvero la *“corrispondenza fra ciò che viene misurato (la manifestazione «esterna» visibile dell’apprendimento) e ciò che si intende valutare (gli obiettivi di conoscenza previsti dalla programmazione didattica dell’insegnante)”* e l'*attendibilità* (Frabboni, 2000, p. 208). Quest’ultima viene definita da Castoldi come *“la costanza nella lettura della prestazione fornita dal soggetto, indipendentemente dal momento in cui la si valuta o da chi la valuta”* (Castoldi, 2015, p. 90). Lo stesso autore riporta due ulteriori qualità da ricercare per una buona valutazione: la *trasparenza*, ovvero *“l’esplicitazione delle scelte compiute dall’insegnante (...) non soltanto nel giudizio espresso, bensì anche nei criteri in base ai quali è formulato e nelle evidenze empiriche su cui si fonda”* (Castoldi, 2015, p. 91), e la *condivisione* delle modalità di valutazione tra i diversi docenti che operano con i medesimi studenti.

1.2 Funzioni della valutazione

Come già anticipato nella precedente sezione, la natura della valutazione può assumere caratteri estremamente vari, sia in base all’oggetto della valutazione, sia in base agli scopi che si prefigge chi si occupa di assegnare quella valutazione. La letteratura tradizionalmente classifica le

valutazioni scolastiche in base alla loro funzione, dividendole in cinque macrocategorie (Vertecchi, 2003); (Castoldi, 2015)):

- Valutazione predittiva o orientativa;
- Valutazione diagnostica;
- Valutazione formativa;
- Valutazione sommativa;
- Valutazione certificativa.

La valutazione predittiva ha l'obiettivo di provare a prevedere quali potrebbero essere le caratteristiche del percorso formativo che meglio si adatteranno al soggetto; per esempio, rientrano in questa tipologia i test a scopo orientativo eseguiti al termine della scuola secondaria di primo e secondo grado.

Le successive tre classi (diagnostica, formativa e sommativa) rientrano in momenti diversi del processo formativo. Viene definita diagnostica quella valutazione che avviene all'inizio del processo, con lo scopo di conoscere quali "basi" (preconoscenza) possieda la studentessa o lo studente, e può essere utile, ad esempio, per aiutare la/il docente a strutturare le successive lezioni. La valutazione formativa, invece, viene utilizzata mentre l'apprendimento sta ancora avvenendo, ed è utile alla/al docente per capire il grado di acquisizione di conoscenze, abilità e competenze della classe, aggiustare le proprie scelte didattiche, risolvere gli inevitabili fraintendimenti e predisporre eventuali strategie di recupero sulla base di quanto emerge. La studentessa o lo studente può invece sfruttare questa valutazione per avere indicazioni sul proprio livello di comprensione, segnalare eventuali difficoltà e indirizzare meglio i propri sforzi. La valutazione sommativa, tipicamente posta alla fine di un singolo modulo, di un semestre o di un Anno Scolastico, e quindi al termine del processo formativo, svolge il compito di valutare i risultati raggiunti dalla studentessa o dallo studente (Caronna, 2021). D'Amore ne sottolinea il carattere misurativo (Frabboni & D'Amore, 2005).

Infine, la valutazione certificativa viene utilizzata in seguito al processo di apprendimento e ha il solo ruolo di attestare ufficialmente il conseguimento di determinati risultati da parte del soggetto. Ne sono un esempio le certificazioni linguistiche, gli esami di stato e gli esami universitari.

È importante precisare che questa classificazione si basa solo sulla funzione: non si tratta di *"diversi tipi di valutazione, quanto piuttosto l'uso che viene fatto delle informazioni che si ottengono in base all'accertamento valutativo"* (William & Black, 1996, in (Weeden, Winter, & Broadfoot, 2009, p. 35)).

1.3 La valutazione formativa

Per gli scopi di questa tesi, appare utile soffermarsi su una delle tipologie di valutazione riportate nella sezione precedente: la valutazione formativa. Questa è infatti la forma di valutazione più

frequente (per lo meno nella teoria didattica), ed è proprio nell'ambito della valutazione formativa che viene intesa la pratica della scuola senza voto.

Nel sesto capitolo del loro manuale, Ciani e colleghi hanno riportato cinque strategie di intervento che rendono efficace la valutazione formativa, già presenti in (Leahy, Lyon, Thompson, & Wiliam, 2005); (Ciani, Ferrari, & Vannini, 2020):

- Chiarire e condividere traguardi di competenza, obiettivi di apprendimento specifici e criteri di massima padronanza e qualità;
- Favorire attività che suscitino evidenze di apprendimento;
- Fornire un feedback che indichi le tappe successive di apprendimento;
- Attivare gli studenti come risorse didattiche per gli altri (*peer education*);
- Attivare gli studenti come esperti del proprio apprendimento (autovalutazione).

La prima strategia permette di capire, sia alla o al docente che alla studentessa o allo studente, dove si sta orientando l'apprendimento di quest'ultima/o. L'insegnante si occupa di condividere traguardi di competenza e obiettivi specifici, coinvolgendo anche la classe all'inizio di ciascuna unità di apprendimento nella scelta degli stessi. Se tali obiettivi vengono presentati sottoforma di scale di livelli, queste risultano utili a studentesse e studenti per auto-osservarsi e riconoscere il proprio livello rispetto all'obiettivo, rendersi conto che esistono degli step intermedi prima di padroneggiare perfettamente l'obiettivo e facilitare la visualizzazione dei passi successivi che dovranno compiere. Mostrare i criteri di massima padronanza invece può essere utile per capire invece a cosa aspirare.

La seconda strategia è utile alla/al docente per capire in che punto del percorso di apprendimento si trovi ciascuna/o studentessa/studente. In particolare, l'insegnante può predisporre delle prove o momenti di osservazione che permettano di ottenere delle evidenze sulla distanza di studentesse e studenti rispetto agli obiettivi prefissati. Nell'ottica di ottenere delle evidenze valide e utili è centrale il momento della correzione, che deve far emergere tali informazioni. Per aiutarsi, la/il docente può utilizzare delle griglie dove vengono riportati, in maniera il più possibile specifica, gli errori, i punti di forza e i punti di debolezza di ciascuno. La raccolta delle evidenze può anche avvenire tramite una serie di tecniche dette di *valutazione formativa veloce*, che, pur non sostituendo dei momenti valutativi più ampi, permettono alla o al docente di avere in tempi ben più rapidi un'idea generale di ciò che è stato acquisito dalla classe (ad esempio un breve quiz a cui si risponde per alzata di mano).

La terza strategia si attua quando la/il docente predispone le informazioni e le evidenze già raccolte in seguito ad una prova per permettere alla studentessa o allo studente di ottenere indicazioni utili per procedere nel proprio percorso di apprendimento. Le caratteristiche che contraddistinguono un buon feedback verranno approfondite nel terzo capitolo di questa tesi.

Queste tre strategie si sposano con una classe che lavora in una prospettiva di cooperazione e un clima partecipativo, reattivo e attento, in cui ogni studentessa e studente segue il proprio percorso personale, ma considerando anche la dimensione collettiva. In questo consiste la quarta strategia, che invita a far uso di momenti di lavoro di gruppo e discussioni e a organizzare attività in cui le

studentesse e gli studenti si supportino, collaborino, si monitorino e si valutino vicendevolmente. Tali pratiche, però, richiedono un clima di classe adeguato, con competenze socioaffettive e comportamentali che non possono essere date per scontato. L'insieme classe deve pertanto esservi introdotto in modo graduale e guidato, nel rispetto dei tempi e tenendo conto di eventuali fragilità degli studenti.

L'ultima strategia proposta è quella dell'autovalutazione, dimensione con la quale la studentessa o lo studente viene coinvolta/o in qualità di osservatrice o osservatore del proprio impegno e apprendimento. Tale osservazione e analisi può svolgersi sia in maniera meno approfondita in tempi rapidi, tramite tecniche di *valutazione formativa veloce*, sia prendendo più spazio, stimolando riflessioni e pensiero critico. L'autovalutazione, infatti, non deve essere limitata alla sola ricerca degli errori; al contrario, può comprendere la ricerca delle motivazioni dietro tali errori, un'analisi del proprio posizionamento rispetto ai traguardi di competenza e agli obiettivi, e l'identificazione di strategie di miglioramento.

Queste cinque strategie possono essere eseguite separatamente, ma aumentano la loro efficacia qualora vengano utilizzate in maniera coerente.

1.4 La valutazione come forma di potere

Di tutti gli aspetti trattati finora, non è stata ancora discussa la dimensione sociale della valutazione, intesa come il rapporto che si viene a creare tra la studentessa o lo studente e l'insegnante. Il rapporto non è equilibrato: la valutazione è una forma di gestione del potere (Corsini, 2023). È l'insegnante a scegliere gli obiettivi e le strategie di apprendimento, i tempi e le modalità di valutazione, gli indicatori di cui servirsi nella correzione della prova e a decidere come condividere gli esiti di tale valutazione. Soprattutto, è la/il docente che, pur all'interno del Consiglio di classe, decide della bocciatura o promozione della studentessa o dello studente all'anno successivo.

“Questo potere è esercitato unilateralmente: in nessun momento dell'atto di valutazione, il soggetto che viene valutato dispone da parte sua per mettere in questione l'identità del suo esaminatore (...). Al contrario il soggetto valutato è certamente colui che produce informazioni su se stesso, impegna la sua identità attraverso le sue azioni e si espone al giudizio dell'esaminatore.” (Barbier, 1989 (ed. or. 1977), p. 142)

Anche quando non viene attivamente esercitata, questa asimmetria di potere attiva delle dinamiche tra chi è valutato e chi valuta, che permeano tutta la relazione didattica, ma soprattutto lo specifico momento della valutazione (Castoldi, 2015). A partire da queste riflessioni, è possibile riclassificare le valutazioni in base all'uso che l'insegnante fa del potere che possiede, dividendole tra quelle che seguono una *logica di controllo* e quelle che seguono una *logica di sviluppo*. (Castoldi, 2015) Nella logica di controllo, che Castoldi sintetizza come “valutazione dell'apprendimento”, l'insegnante considera la valutazione come uno strumento per accertare e

rendicontare i risultati, e tende a vedere come separati il momento della formazione da quello della valutazione. Nella logica di sviluppo, invece, la valutazione viene percepita come strumento di retroazione; viene considerata come un modo per aumentare la consapevolezza e per migliorare l'esperienza di apprendimento di studentesse e studenti. Per questo Castoldi la sintetizza come "valutazione per l'apprendimento". Bisogna precisare che anche all'interno di una logica di sviluppo, esperienze che rendono attivi studentesse e studenti (ad esempio l'autocorrezione e autovalutazione) non tolgono il potere all'insegnante: secondo Barbier infatti "si svolgono sotto lo stretto controllo dell'insegnante che le promuove", e non hanno valore fintanto che non vengono validate dalla o dal docente (Barbier, 1989 (ed. or. 1977), p. 143). Ciò non significa, comunque, che debbano allora essere considerate equivalenti: chi detiene il potere può decidere di tenerlo per sé e utilizzarlo a proprio vantaggio, oppure può scegliere di dividerlo, anche solo parzialmente. A tal proposito Corsini, pur essendo consapevole che una classificazione netta non è possibile, ha provato a raggruppare le modalità di valutazione in base al livello di condivisione del potere che prevedono, dividendole in quattro categorie (Corsini, 2023).

La "*monarchia assoluta*" è il primo livello, dove il potere viene totalmente trattenuto nelle mani di chi valuta, e la valutazione coincide con il voto. Non vengono esplicitati né l'oggetto di valutazione, né gli obiettivi, né i criteri di giudizio, facilitando l'accentuarsi delle distorsioni tipiche delle valutazioni (che verranno riportate al termine della sezione successiva). Il voto funge da premio e punizione, divenendo termine e scopo del lavoro scolastico, che si struttura secondo lo schema Initiate–Respond–Evaluate (IRE). Il livello successivo, la "*monarchia costituzionale*", si distingue dal precedente perché vengono chiarite finalità, obiettivi e modalità di valutazione, dando la possibilità a studentesse e studenti di ricevere alcuni elementi per autoregolare il proprio apprendimento. Non solo: dovere esplicitare tali punti significa doverli chiarire a sé stessi e alla classe, favorendo quindi una riflessione al riguardo. Il terzo livello di condivisione del potere è quello della "*democrazia rappresentativa*": chi agisce secondo questo tipo di valutazione fa in modo che coloro che apprendono possano prendere parola sulla scelta dei contenuti e sui tempi, così come anche sulle modalità con cui tale valutazione deve avvenire. Nel quarto livello, raramente utilizzato nelle classi, detto "*democrazia partecipativa*", stanno le valutazioni operate direttamente dalle studentesse e dagli studenti, sia tramite l'autovalutazione (o meglio, valutazione interna su indicazione esterna), sia tramite la valutazione tra pari. Questi tipi di valutazioni, per non ridursi a "*uso del giudizio come difesa del sé da minacce esterne, vere o presunte che siano*" (Corsini, 2023, p. 20), richiedono una "*cultura valutativa*", e quindi necessitano in precedenza di riflessioni che esplichino il ruolo educativo della valutazione.

Si nota come la democratizzazione della valutazione vada di pari passo con la condivisione delle responsabilità, e la coesistenza di queste due pratiche si accompagna ad un ruolo più attivo delle studentesse e degli studenti. Gli studi in letteratura mostrano che le pratiche più democratiche risultano anche essere tra le più efficaci dal punto di vista dell'apprendimento: in particolare, Hattie riporta un Effect Size (E.S.)² di 1.44 per la pratica dell'autovalutazione (il valore più grande

² L'Effect Size è un numero utile per stimare l'efficacia associata ad un certo intervento didattico: per calcolarlo è necessario svolgere il rapporto: $E.S. = \frac{\text{media}(\text{post-test}) - \text{media}(\text{pre-test})}{\text{media della distribuzione (dev. std)}}$. Hattie afferma che la

tra tutti quelli riportati), ottenuto a partire da 6 lavori di metanalisi. Non viene riportato invece un E.S. per la valutazione tra pari, anche se pratiche quali insegnamento reciproco e tutoring tra pari sono associate rispettivamente ad un E.S. di 0,74 e 0,55. Inoltre, per quanto riguarda la valutazione tra pari, da alcuni studi è stato possibile osservare che *“a parità di portata informativa, i riscontri tra chi apprende tendono ad avere un’efficacia più elevata rispetto a quelli forniti da chi insegna”* (Wisniewski, Zierer, & Hattie, 2020) in (Corsini, 2023, p. 23))

Riprendendo quanto affermato in precedenza, il potere viene dunque esercitato tramite la valutazione; pertanto, per chi tale potere non lo esercita ma lo subisce (ovvero le studentesse e gli studenti) la valutazione può venire percepita con un senso di minaccia. Sono molti e vari gli studi che si sono occupati di analizzare gli effetti negativi del voto, che oltre a essere la più diffusa modalità di espressione del giudizio, per le sue caratteristiche strutturali tende ad accentuare questo senso di minaccia. Infatti, il voto si presta (per la sua natura ordinale) ad essere utilizzato per classificare e misurare, e si presta bene a compiere confronti (Vertecchi, 2003); (Corsini, 2023); (Kohn, 2013).

Butera e colleghi (2011) si sono occupati di selezionare e far sintesi di alcuni studi sul tema, di cui alcuni risultati vengono riportati di seguito. Secondo i ricercatori il voto può avere effetti sulla reputazione scolastica, favorendo l’attribuzione di etichette da parte di insegnanti e compagni, come, ad esempio, “bravo studente”, “studentessa svogliata”, “secchiona”, “perdente”. Dal confronto degli andamenti possono nascere divisioni in gruppi come “chi va bene” e “chi va male”, che non sempre vanno d’accordo. Il voto può anche influire sul trattamento che l’insegnante sceglie di riservare ad una studentessa o uno studente che percepisce come “meno portato”, investendo meno sul piano didattico, nonché sul rapporto con i genitori, che potrebbero ricorrere a punizioni per forzare un impegno dei figli (Butera, Buchs, & Darnon, 2011) in (Bacchi & Romagnoli, La classe senza voto, 2019); (Mattioli, 1990)).

Le studentesse e gli studenti, consci dell’influenza dei voti che ricevono, scelgono di evitare per quanto possibile problemi sfidanti e “rischi intellettuali”, come scegliere un libro più lungo od optare per un progetto su argomenti a loro meno familiari, preferendo il successo all’apprendimento (Kohn, 2013).

Un altro studio, condotto su 91 bambine e bambini di quinta elementare divisi in gruppi, ha osservato che, in seguito alla lettura di un testo, il gruppo che sapeva che avrebbe ricevuto un voto ha svolto un test con risultati simili a quelli del gruppo che sapeva che avrebbe solo dovuto rispondere a delle domande; la settimana successiva invece, il secondo gruppo avrebbe ottenuto risultati superiori (Grolnick & Ryan, 1987). Ancora, si osserva come ambienti competitivi e che danno grande attenzione al voto portino ad un aumento dell’eventualità di copiare (Anderman, 2006).

Uno studio (Pulfrey, Buchs, & Butera, 2011) ha analizzato lo stretto legame tra i voti, la motivazione di chi apprende e gli obiettivi che si pone; per comprenderlo appieno è però

maggior parte degli interventi ha un E.S. positivo, e che il valor medio ottenuto a partire dalle oltre 900 metanalisi considerate nel suo lavoro è 0,40; ragion per cui ogni pratica avente un E.S. superiore al valor medio può essere considerata efficace.

necessario aprire una breve parentesi terminologica e concettuale. All'interno del quadro concettuale della *Achievement Goal Theory*, gli obiettivi di competenza sono classificati (come si vede in Tabella 1) in obiettivi di padronanza, incentrati sulla volontà di acquisire una data competenza, e obiettivi di prestazione, che mirano invece a dimostrare l'acquisizione -reale o meno- della competenza; ciascuna classe viene ulteriormente suddivisa in obiettivi di approccio e di elusione. In breve, gli obiettivi di approccio alla padronanza sono gli obiettivi di chi intende approfondire e apprendere il più possibile, mentre gli obiettivi di elusione della padronanza sono quelli di chi impara perché teme di fallire nell'apprendere tutto quello che viene insegnato (Elliot & McGregor, 2001); gli obiettivi di approccio alla prestazione consistono nella volontà di mostrarsi migliori degli altri; si parla infine, di obiettivi di elusione della prestazione quando si tenta di non essere considerati peggiori degli altri (Elliot & Harackiewicz, 1996); (Elliot & Church, 1997)).

Obiettivi di padronanza		Obiettivi di prestazione	
O. di approccio alla padronanza	O. di elusione della padronanza	O. di approccio alla prestazione	O. di elusione della prestazione

TABELLA 1: CLASSIFICAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI COMPETENZA NELLA ACHIEVEMENT GOAL THEORY.

Per quanto riguarda invece i tipi di motivazione, secondo la *Self Determination Theory*, vari tipi di motivazione si dispongono su uno spettro continuo: la motivazione può essere controllata o autonoma. Quella controllata si suddivide in estrinseca con regolazione introiettata (paura di una punizione) o con regolazione interna (senso di vergogna); quella autonoma si divide, invece, in estrinseca con identificazione regolata (obiettivi personali o valori) e motivazione intrinseca (interesse o piacere nel suo svolgimento) (Deci & Ryan, 1985).

Alla luce di questa nomenclatura, lo studio di (Pulfrey, Buchs, & Butera, 2011) riporta che di fronte a compiti che verranno valutati tramite dei commenti accompagnati o meno da un voto, non si evidenziano differenze nell'adottare obiettivi di approccio alla prestazione, mentre il "compito senza voto" sembra indurre livelli più bassi di elusione della prestazione. Inoltre, tra un compito a cui è stato assegnato solo un voto, ed uno in cui in aggiunta al voto è stato assegnato anche un breve commento, non si rilevano differenze nei livelli di perseguimento di obiettivi di elusione della prestazione, risultando entrambe significativamente maggiori rispetto a quelli di una prova che è stata riconsegnata affiancata solo da un commento. A quest'ultime sono inoltre associati livelli più alti di motivazione autonoma (Pulfrey, Buchs, & Butera, 2011). In altre parole, si può affermare che la presenza di voti diminuisce l'interesse per gli argomenti studiati (Kohn, 2013); e che l'affiancamento di feedback non modifica gli effetti negativi del voto, che agisce da distrattore. (Sutton, 2010)

Sempre per quanto riguarda il legame tra feedback e motivazione, si riporta un ulteriore risultato, frutto di una metanalisi: *"I risultati non indicano che gli effetti del feedback sulla motivazione siano bassi, ma che gli effetti di forme non informative di feedback [lodi, rimproveri, voti sintetici] sulla motivazione sono basse o perfino negative."* (Wisniewski, Zierer, & Hattie, 2020, p. 12).

Questi risultati mostrano che non tutte le modalità di restituzione degli esiti sono equivalenti: in particolare, il voto numerico sembra avere effetti negativi, soprattutto quando considerato nell'ambito della valutazione formativa, perché, come afferma Hattie, *"troppo spesso gli studenti*

vedono nel voto la «fine» dell'apprendimento" (Hattie, 2016, p. 224). Questo perché l'apprendimento non avviene dopo che il compito è stato svolto, e in tal modo il voto risulta un feedback povero, una valutazione sommativa del lavoro compiuto. Le studentesse e gli studenti "guardano il loro voto e poi guardano quelli presi dai compagni" (Hattie, 2016, p. 224), e i commenti aggiunti dall'insegnante servono solo in un'ottica giustificativa del voto assegnato, mentre sono scarse le evidenze che dimostrino "cambiamenti nei comportamenti apprendi ivi" delle studentesse e degli studenti, perché ai loro occhi "il «lavoro» è fatto e finito". (Hattie, 2016, p. 224)

1.5 Stereotipi e possibili obiezioni al voto

Ci si può domandare allora, quali siano le ragioni di chi sostiene che il voto andrebbe mantenuto. In questo paragrafo vengono riportate e discusse le principali argomentazioni riportate da alcuni saggi sul tema. Butera riporta le "4 M del dibattito sui voti" (Butera, Buchs, & Darnon, 2011):

- *Motivazione: i voti motivano gli studenti.* Come già affermato nel paragrafo precedente, i voti tendono a generare una motivazione estrinseca che limita l'apprendimento.
- *Mercato: il mondo del lavoro fuori dalla scuola è dominato dalla logica di mercato; studentesse e studenti dovranno affrontare successi e fallimenti, ricompense e punizioni, classifiche e confronti. Entrare in questa logica sarà inevitabile e sarà meglio abituarli a tale condizione.* A questa argomentazione risponde anche Kohn, che la chiama BGUTI (Better Get Used To It), affermando che l'idea di sottoporre gli studenti a cose spiacevoli e non necessarie solamente perché accadranno loro in seguito è assurda. (Kohn, 2013) Inoltre, la letteratura in psicologia mostra come competizione e motivazione estrinseca favoriscano la pratica del copiare (Orosz, Farkas, & Roland-Levy, 2013) e la disonestà accademica a sua volta risulta correlata con forme di disonestà professionale (Lovett-Hooper, Komarraju, Weston, & Dollinger, 2007), rendendo quindi la scelta di valutare con un voto pessima (quantomeno sul piano etico, ma non solo) anche nell'ottica di un futuro ingresso nel mondo del lavoro.
- *Merito: i voti sono un riconoscimento al merito.* La Carta costituzionale riconosce l'importanza del merito, anche in ambito scolastico: "I capaci e meritevoli, anche se privi di mezzi, hanno diritto di raggiungere i gradi più alti degli studi."³ Ma un voto scolastico può al massimo parlare delle conoscenze e delle competenze dell'individuo, mentre il concetto di merito è più complesso e richiede di tenere conto di altre dimensioni, come la storia personale, l'impegno, le condizioni di partenza, le difficoltà incontrate nel percorso. Quando non si tiene conto di questi fattori, il voto tende a riprodurre, e quindi legittimare, le disuguaglianze di partenza. "Ancora una volta, il vantaggio diventa merito, il privilegio diritto, lo svantaggio colpa". (Corsini, 2025, p. 44)

³ Articolo 34 della Costituzione Italiana

- *Misura semplice e chiara dell'apprendimento.* Non sempre è necessario e possibile misurare la qualità dell'apprendimento/insegnamento, e riportarla in numero (Kohn, 2013). In particolare, per quanto riguarda la valutazione formativa, l'obiettivo non è tanto quello di misurare, quanto piuttosto dare e ricevere dei feedback capaci di modificare da un lato l'apprendimento delle studentesse e degli studenti, e dall'altro le scelte didattiche dell'insegnante. Da questo punto di vista, *“degli esiti misurabili potrebbero essere il risultato meno significativo dell'apprendimento”* (McNeil, 1986, p. xviii).

In aggiunta a queste “quattro M”, Corsini riporta che spesso al voto vengono associate due ulteriori presunte caratteristiche: la chiarezza e l'oggettività. Per quanto riguarda la chiarezza, intesa come comprensibilità e precisione, Corsini afferma che *“il voto non è chiaro perché, non avendo una funzione educativa, la sua portata informativa rispetto ai processi di apprendimento è nulla”* (Corsini, 2025, p. 47), tantomeno è più preciso e oggettivo: lo dimostrano gli studi di Pieroni,⁴ in cui si osserva, tra le altre cose, che diversi esaminatori attribuiscono alla stessa prova voti e giudizi differenti. L'oggettività dell'atto valutativo è messa in crisi anche perché contiene al suo interno una serie di elementi di natura totalmente soggettiva, sia dal lato della persona che viene valutata (autostima, ansia, aspettative, paura del confronto), sia dal lato della persona che invece si occupa di valutare – i suoi valori (Mattioli, 1990). Da questo lato in particolare, la letteratura ha raccolto vari possibili effetti di cui tenere conto, che vengono riportati di seguito. Si parla di *effetto alone* quando una o un docente, conoscendo l'andamento tipico di una propria alunna o alunno, altera il giudizio di una prova a causa dell'aspettativa generata dalle prove precedenti, che si espandono come un alone. In tal modo, il docente tenderà ad assegnare giudizi migliori a chi ha avuto già in precedenza giudizi positivi, anche quando questi non rispecchiano la prova. L'*effetto contrasto* si verifica quando la prova riceve una valutazione migliore o peggiore quando viene corretta in seguito a una o più prove che hanno alzato o abbassato le aspettative dell'insegnante. L'*effetto di stereotipia* definisce, invece, la difficoltà del docente a superare i pregiudizi e le opinioni che si è creato su una studentessa o studente. Quando invece chi valuta si aspetta, più o meno esplicitamente, che i risultati della classe si distribuiscano attorno ad una curva gaussiana, si parla di *effetto di distribuzione forzata dei risultati*, in quanto è una aspettativa che può essere disattesa: la popolazione che sta venendo valutata non è casuale. Infine, si parla di *effetto Pigmalione* quando ad alcune considerazioni e predizioni dell'insegnante su una alunna o un alunno seguono certi comportamenti, verbali o meno, anche inconsapevoli, coerenti con tale lettura. Il comportamento dell'insegnante viene poi influenzato da queste predizioni, e a sua volta condiziona l'apprendimento della studentessa o dello studente, rendendo concrete le aspettative (Domenici, 2003); (Corsini, 2023).

Al voto su scala ordinale (espresso numericamente o tramite giudizi sintetici), rimangono quindi associabili solamente caratteristiche di classifica, di confronto e di selezione, che sono caratteristiche spendibili in senso sommativo o certificativo e comunque terminale. Rimuovendo il voto numerico dalla valutazione formativa, non si rinuncia alla chiarezza, all'oggettività, né si sta

⁴ Le prime indagini di Henri Piéron si svolsero in Francia nel 1922, cui seguirono degli studi di respiro internazionale. Le analisi confluirono infine nel manuale *Esame et docimologie*— Paris, P.U.F., 1963 (Domenici, 2003, p. 45)

rinunciando a uno strumento per motivare e rilevare il merito, perché queste proprietà non gli sono mai appartenute.

1.6 Uno sguardo alla normativa

È lecito anche domandarsi se una scuola dove non sono presenti voti - almeno per quanto riguarda la valutazione formativa - sia non solo possibile e sensata, ma anche attuabile dal punto di vista della legislazione italiana.

La legge che tipicamente veniva associata al tema della valutazione era il Regio Decreto 4 maggio 1925, nel quale si affermava che il voto di profitto di ciascun trimestre avrebbe dovuto essere stato presentato dal docente di ciascuna materia, che lo avrebbe proposto avendolo «*desunto da un congruo numero di interrogazioni e di esercizi scritti, grafici o pratici fatti in casa o a scuola, corretti e classificati durante il trimestre*» (art. 79 del R.D. 653/1925). Si osserva come già in questo decreto di oltre cento anni fa il legislatore avesse scelto di imporre l'uso del voto solamente per le valutazioni periodica e finale. Ad ogni modo, questo decreto è stato recentemente abrogato tramite la legge del 7 aprile 2025, n. 56 (nel Supplemento Ordinario n.14, relativo alla G.U. 24/04/2025, n.95).

Anche per quanto riguarda la legislazione attuale, il MIUR si è occupato solamente di regolamentare la valutazione periodica e finale, ovvero quella presente nelle “pagelle” al termine del primo e del secondo quadrimestre, che si richiede che sia espressa in decimi - come anche ribadito all'interno del DPR 122/2009, artt. 2 e 4. Quanto affermato si riferiva sia alla scuola primaria, sia a quella secondaria di primo e secondo grado, e per tutta la scuola secondaria risulta ancora in vigore. Per la scuola primaria, un'ordinanza del Ministro dell'Istruzione e del Merito del 9 gennaio 2025, n.3, ha modificato solamente le modalità di espressione del giudizio periodico e finale, sancendo il ritorno ai giudizi sintetici, pur “correlati alla descrizione dei livelli di apprendimento raggiunti”.

Alla data di pubblicazione di questa tesi non risultano presenti altri riferimenti legislativi riguardanti obblighi legislativi sulla valutazione formativa (Redazione, 2025). Questa non è una svista o una dimenticanza da parte del legislatore, ma si tratta piuttosto di una scelta deliberata; infatti, come anche espresso nel DL 13 aprile 2017, n.62, art.1 c.2: “*La valutazione (...) è effettuata dai docenti nell'esercizio della propria autonomia professionale, in conformità con i criteri e le modalità definiti dal collegio dei docenti e inseriti nel piano triennale dell'offerta formativa*”.

Nel decreto-legge appena citato vengono anche ribaditi l'oggetto e le finalità della valutazione: “*La valutazione ha per oggetto il processo formativo e i risultati di apprendimento delle alunne e degli alunni, (...) ha finalità formativa ed educativa e concorre al miglioramento degli apprendimenti e al successo formativo degli stessi, documenta lo sviluppo dell'identità personale e promuove la autovalutazione di ciascuno in relazione alle acquisizioni di conoscenze, abilità e competenze.*” Queste considerazioni mettono ulteriormente in evidenza come la pratica della scuola senza voto non solo possa avvenire, ma sia allineata con le posizioni del ministero sull'importanza di una valutazione non solo formativa, ma anche educativa.

Un ultimo riferimento legislativo sulla valutazione scolastica da citare è il DL del 30 gennaio 2024, n.14, con il quale vengono adottati i nuovi modelli di certificazione delle competenze al termine dei cicli di istruzione. Questo decreto fa da spunto per una breve riflessione sul tema delle competenze, che da oltre un decennio sono presenti nella scuola italiana, almeno sulla carta, tramite le Linee Guida per Tecnici e Professionali e le Indicazioni nazionali per i Licei. In questi documenti, le competenze e gli obiettivi specifici da raggiungere sono suddivisi in primo biennio, secondo biennio e quinto anno; di fronte ad obiettivi specifici di così lungo respiro, nel corso dell'Anno Scolastico la valutazione da adottare sarebbe quella di tipo formativo (Ciani, Ferrari, & Vannini, 2020).

1.7 Rassegna sistematica della letteratura in Didattica della Fisica

Alla luce delle considerazioni riportate nel corso del capitolo, è lecito quindi domandarsi se nell'ambito dell'insegnamento della Fisica nella scuola secondaria siano già avvenute delle esperienze di scuola senza voto, e con quali esiti, sia in Italia che all'estero.

Per provare a rispondere a questa domanda l'autore ha svolto una ricerca di natura esplorativa online negli archivi digitali di alcuni delle principali Riviste di Didattica della Fisica, con l'obiettivo di individuare articoli e resoconti di esperienze di questo tipo. Nello specifico sono stati utilizzati per la ricerca i seguenti journal: *Physical Review Special Topics: Physics Education Research* (<https://journals.aps.org>); *American Journal of Physics: Physics Education Research Section (PERS)* (<http://ajp.aapt.org>); *European Journal of Physics* (<http://iopscience.org/ejp>), e in particolare la sezione di *Physics Education* (<https://iopscience.iop.org/journal/0031-9120>); *The Physics Teacher* (<https://aapt.scitation.org/journal/pte>); *Physics Education Research* (<https://www.per-central.org/index.cfm>); *American physical society* (<https://www.aps.org/>). Per ciascun archivio sono state inserite una per volta le parole chiave "gradeless", "without grades", "gradeless learning", "non grading", "ungrading", "narrative feedback", "assessment for learning" e "formative assessment". La ricerca non è stata limitata al campo delle parole chiave: sono stati considerati anche abstract, titolo e corpo del testo dell'articolo. Un primo risultato di questa ricerca è il seguente: in letteratura non sembra essere presente una terminologia univoca. Autori diversi utilizzano parole chiave diverse. Addirittura, alcuni degli articoli emersi a partire da queste ricerche non contenevano nessuna di queste parole chiave. Le prime parole scelte corrispondono a termini usati per descrivere direttamente la pratica; l'espressione "narrative feedback" rappresenta invece una modalità possibile di restituzione del feedback; le ultime due chiavi di ricerca, invece, corrispondono a due termini ombrello più generici, scelti per cercare articoli che abbiano fatto uso di parole chiave meno specifiche.

Quando i risultati ottenuti da ciascuna ricerca superavano il centinaio, questi venivano filtrati tramite l'aggiunta di un'etichetta, solitamente già presente su ciascuna piattaforma, come le label "Education", "Physics Education" o "Physics Education Research".

In seguito, la ricerca è proseguita su tre grandi database: Google scholar (<https://scholar.google.it/>), JSTOR (<https://www.jstor.org/>) ed EBSCO (<https://research.ebsco.com/c/cavj5t/search/>). Anche in questo caso, le parole chiave sono state inserite singolarmente, fatta eccezione per “assessment for learning” e “formative assessment”, che, a causa dell’elevato numero di articoli restituiti risultavano troppo generiche. Per lo stesso motivo, la ricerca di ciascuna parola chiave è stata effettuata aggiungendo nella barra di ricerca i termini “physics” e “high school”, tutte legate tra loro tramite l’operatore AND.

Nel tentativo di trovare articoli in italiano, è stata inserita nei tre database anche la parola chiave “senza voto”, combinata con “fisica” e, a turno, “liceo”, “istituto tecnico” e “scuola secondaria di secondo grado”.

Di ciascun articolo presente nell’elenco dei risultati veniva dapprima esaminato il titolo; gli articoli che superavano questa prima scrematura venivano aperti e analizzati tramite la lettura dell’abstract ed eventualmente del corpo dell’articolo, al fine di verificare a quale livello di istruzione si riferisse l’articolo.

Molti degli articoli analizzati e successivamente scartati si riferivano a esperienze di stampo universitario, svolte perlopiù all’estero. Queste esperienze risultano però poco confrontabili con la didattica propria delle scuole superiori, a causa della presenza di Teaching Assistants, di strumentazione elettronica (ad esempio i clicker), e soprattutto perché si rivolgono a studentesse e studenti che dispongono di tempo, risorse, interessi e competenze superiori rispetto a quelli propri di coloro che studiano ad un grado di istruzione inferiore.

Un’altra fetta molto ampia di articoli sul tema riporta esperienze in ambito di scuola primaria e secondaria di primo grado (gradi 1-8).

A partire da questa ricerca sono emersi pochissimi articoli, in particolare, in riferimento alle esperienze svolte all’estero:

- un caso studio norvegese che racconta come una classe di studentesse e studenti plus dotati (*gifted*) abbia percepito il passaggio ad una valutazione senza voto (Svendsen & Burner, 2023);
- due interviste semi-strutturate a due docenti canadesi che svolgono una valutazione definita “*reduced grading*”, in cui gli studenti ricevono dei voti ma possono ripetere la prova tutte le volte che lo desiderano (Clark, 2017);
- una tesi di dottorato svolta in Canada che analizza il passaggio ad una valutazione senza voto di 28 docenti, tra cui due insegnanti di Fisica (Whitmell, 2020);
- un articolo che analizza tramite interviste le pratiche di insegnamento di 9 docenti di Fisica inglesi, uno dei quali non assegna un voto alle studentesse e gli studenti più bravi (Gioka, 2006).

Per quanto riguarda l’Italia, dalla ricerca sono emerse pubblicazioni riguardanti quattro diversi istituti:

- il Liceo “Morgagni” di Roma, dove è nata la “Scuola delle Relazioni e della Responsabilità” (SRR) (Marini, Montebello, Arte, Livi, & Benvenuto, 2023), (Marini & Arte, 2021), (Arte, Benvenuto, Marini, & Livi, 2022). Due degli autori hanno anche scelto di pubblicare dei libri: (Arte, 2023) e (Benvenuto, 2024);
- il liceo “Peano” di Roma (Benvenuto, Natalini, & Gervasi, 2025);
- l’IIS “Volta” di Castel San Giovanni in provincia di Piacenza (Landini & Favari, 2023);
- il Liceo “Buonarroti” di Pisa, dove è nato il progetto “A scuola oltre il voto” (Costa, Soledad Norton, & Pirchio, 2024).

Si osserva innanzitutto che le esperienze riportate negli articoli appartengono tutte a licei scientifici, ma questo è molto probabilmente legato all’utilizzo della parola chiave “Fisica” nei motori di ricerca. In tutti i casi la scuola senza voto non si limita a modificare l’approccio valutativo, ma tende a rivoluzionare in maniera più ampia l’insegnamento e l’apprendimento, tendendo a coinvolgere più attivamente le studentesse e gli studenti, influenzando anche la disposizione dei banchi e la modalità di gestione delle lezioni. I momenti di condivisione vengono descritti come ampi e frequenti e le voci delle alunne e degli alunni vengono ascoltate e accolte.

Per quanto riguarda le modalità di restituzione del feedback, gli articoli rimangono abbastanza sintetici, senza mai fare esempi espliciti per nessuna materia, né in particolare in Fisica.

Entrando nel merito di ciascuna scuola, per quanto riguarda il liceo “Peano”, l’articolo riporta brevemente che, durante l’anno, il voto numerico viene sostituito da una valutazione descrittiva o un’autovalutazione, per poi concentrarsi sull’indagine di eventuali discrepanze percepite dalle studentesse e dagli studenti tra la valutazione finale e le loro aspettative, nonché le loro opinioni rispetto alla valutazione descrittiva.

L’articolo riguardante l’esperienza dell’istituto “Volta” si sofferma invece sui risultati di un primo *focus group* svolto con i docenti del Consiglio di Classe interessato (10 docenti). Per quanto riguarda i metodi di restituzione del feedback, per questa sperimentazione si legge che “*i voti in decimi sono sostituiti dall’attribuzione di livelli di competenza esprimibili in ciascuna delle tre dimensioni (processi, risultati e competenze trasversali) con lettere*” (Landini & Favari, 2023, p. 336).

Anche nel caso del progetto “A scuola oltre il voto”, gli autori dell’articolo si concentrano sul racconto di alcuni *focus group* in cui sono stati coinvolti le studentesse e gli studenti, e si limitano a riportare che per tutti i docenti il voto è stato sostituito da commenti, senza citarne alcun esempio o dare maggiori specifiche.

Il contributo più documentato è quello del Liceo “Morgagni” di Roma, il cui progetto è iniziato nell’Anno Scolastico 2016-2017. Anche in questo caso le valutazioni classiche con il voto vengono sostituite da “*osservazioni e valutazioni, estese e descrittive, sull’andamento delle performance o, più in generale, sulla crescita personale, culturale e nel profitto disciplinare*” (Marini & Arte, 2021, p. 389). Vengono anche descritte le modalità delle pratiche autovalutative e le valutazioni tra pari, che sembrano svolgersi in maniera varia, talvolta in totale autonomia, talvolta tramite la compilazione di schede libere o più o meno strutturate.

Sono invece riportati alcuni esempi di valutazione e autovalutazione in Fisica in uno dei due libri dedicati all'esperienza del Morgagni (Arte, 2023), all'interno del testo a p. 109 e nella prima appendice. Tuttavia, solo quelli all'interno del testo vengono accompagnati da un commento che metta in evidenza le loro caratteristiche, mentre quelli presenti in appendice sono privi di commento. Arte afferma che, per essere utile, la valutazione deve essere scritta con un linguaggio chiaro, diretto e facilmente comprensibile a ragazzi e famiglie, e che tale linguaggio non deve essere tecnico e freddo, bensì facilmente comprensibile e caldo, con lo scopo di favorire una relazione positiva e fruttuosa.

Arte distingue poi il giudizio in due livelli: *livello della prestazione*, che si occupa di commentare la prova, e *del processo* di apprendimento. Al *livello della prestazione*, il giudizio descrittivo si sofferma non solo sulle difficoltà nell'apprendimento, ma anche sugli aspetti positivi riscontrabili nello svolgimento, e contiene suggerimenti per migliorarsi. Esso contiene informazioni relative ad indicatori e descrittori che erano stati individuati per quell'attività, avendo cura di mantenersi aderente alle specifiche della prova. A *livello del processo*, nel giudizio si tenta invece di individuare le difficoltà che potrebbero aver impedito alla studentessa o allo studente di svolgere al meglio la prova. Infine, il giudizio descrittivo può costituire anche un'occasione per offrire suggerimenti orientativi più generali, anche se questi possono talvolta sembrare lontani dal feedback specifico.

Arte riporta che la valutazione descrittiva viene usata anche in itinere, per dare commenti saltuari o periodici slegati da specifiche prove, ma solo derivati dalla semplice osservazione in classe.

Nel caso del Morgagni è stato preso in considerazione anche l'utilizzo di rubriche e griglie valutative per la restituzione del feedback, come nel caso dell'istituto "Volta"; tali strumenti, tuttavia, non sono mai stati utilizzati, perché le/i docenti non volevano burocratizzare ulteriormente il loro lavoro e vincolarsi a schede precostituite, non sono mai riusciti a trovare una modalità comune che accontentasse tutte/i e temevano che *"il voto, uscito dalla porta, rientrasse dalla finestra tramite criteri, indicatori, descrittori"* (Arte, 2023, p. 113).

Anche presso un istituto paritario, il liceo Manzoni di Bologna, a partire dall'a. s. 2024-2025 è iniziato un nuovo progetto di scuola senza voto chiamato CLOD (Classe degli Obiettivi e del Dialogo). Questo progetto prevede che in una classe di liceo scientifico tradizionale i voti numerici vengano sostituiti da autovalutazione, valutazione tra pari e rubriche per competenze. Questa realtà è stata indagata più a fondo perché l'autore ha preso parte ad un tirocinio presso questo stesso istituto nei mesi di aprile e maggio 2025; il resoconto verrà riportato nel capitolo 2 di questa tesi.

1.8 Punti critici e individuazione della domanda di ricerca

Mentre nel caso del liceo Volta si riporta come il percorso di consapevolezza da parte dei docenti sia ancora eterogeneo, negli altri articoli appare chiaro come siano stati ottenuti i risultati attesi

dall'eliminazione del voto numerico - condizione che avviene di pari passo con un cambio di paradigma più generale riguardo la scuola.

All'interno di questi articoli vengono tuttavia presentate anche alcune difficoltà che sono state riscontrate durante ciascuna delle sperimentazioni: particolarmente ricorrente è il senso di incertezza e spaesamento che lascia l'utilizzo del solo feedback descrittivo.

Nello specifico, secondo le studentesse e gli studenti del liceo Peano, il punto debole della sperimentazione più condiviso è "Non capire l'andamento/interpretazione e percezione soggettiva del giudizio da parte degli studenti" (Benvenuto, Natalini, & Gervasi, 2025, p. 612)

Per quanto riguarda il dialogo avvenuto nei *focus group* del progetto "A scuola oltre il voto", anche in questo caso sono emerse alcune criticità nei confronti dei commenti ricevuti, assieme ai loro effetti benefici. Ad esempio, viene riportato che questo tipo di valutazione, sebbene sia molto utile per indirizzare il percorso, può creare un senso di alienazione a causa della difficoltà nel comunicare i risultati. Inoltre, i commenti possono addirittura trasformarsi in veri e propri ostacoli qualora rimangano vaghi, indecifrabili o portino a fraintendimenti, e la loro imprevedibilità può creare sorpresa e perfino ansia nel tentativo di interpretare correttamente i giudizi della professoressa o del professore. Quando invece i commenti risultano generalizzati e non personali, si va a perdere il vero punto di forza di questo tipo di feedback. Il paragone che viene fatto è quello con la traduzione: il feedback non risulta facile da comprendere ed è difficile da comunicare ad altri. Al termine del focus group, le studentesse e gli studenti che hanno partecipato al progetto - i quali sostengono di avere perso l'ansia per il voto grazie alla partecipazione al progetto - ritengono che per loro un giusto compromesso potrebbe essere ricominciare a ricevere un feedback di commento e voto assieme. (Costa, Soledad Norton, & Pirchio, 2024, p. 2188)

Anche nel caso del liceo Morgagni la problematica viene riportata ed è stata presentata, anche se in modo non approfondito, tramite un'intervista: *"c'è stato un grande cambiamento tra il secondo e il terzo anno, nato da noi, perché abbiamo detto "così non va bene" e loro (i docenti) ci sono venuti incontro. [...] con i giudizi non era sempre molto chiaro perché c'era chi metteva dei giudizi dettagliati e chi invece non apprezzava molto il progetto e c'era finito giusto perché mancavano i docenti, (e questi docenti) mettevano giudizi così sintetici che non si capiva nulla e quindi noi avevamo la percezione di non sapere come stavamo andando, e quindi volevamo feedback in più sul nostro andamento per prepararci ai voti per le pagelle, soprattutto perché in terzo si sarebbero sbloccati i crediti per la maturità"* (Arte, Benvenuto, Marini, & Livi, 2022, p. 222)

Nell'articolo del liceo Peano questo punto critico viene evidenziato, ed è uno dei possibili sviluppi di ricerca proposti: *"Un primo passo fondamentale consiste nello sviluppo di linee guida per supportare i docenti nell'implementazione della valutazione descrittiva, fornendo strategie pratiche per integrarla nel curriculum e per comunicare efficacemente i risultati agli studenti e alle famiglie"*. (Benvenuto, Natalini, & Gervasi, 2025, p. 613)

Considerando quanto emerso, appare chiaro che una difficoltà comune a questi diversi progetti sia la qualità comunicativa della valutazione, che quando è carente rischia di danneggiare il

percorso didattico delle studentesse e degli studenti e vanificare gli sforzi delle e dei docenti che provano a svolgere questa pratica.

L'autore si pone allora come obiettivo quello di analizzare i feedback prodotti dal docente di Fisica nel corso del tirocinio tramite lenti provenienti dalla ricerca docimologica e dalla Didattica della Fisica, cercando di comprendere come le problematiche evidenziate nella letteratura di ricerca si istanzino anche nell'ambito di un'esperienza di insegnamento della Fisica senza voto, ed eventualmente provando ad avanzare alcuni suggerimenti di miglioramento in base alle analisi svolte.

2 L'esperienza di tirocinio

Come già accennato nel precedente capitolo, anche a Bologna è in corso di sviluppo un progetto di scuola senza voto presso le scuole Manzoni. Venutone a conoscenza, l'autore ha deciso di attivare un tirocinio presso l'istituto per poterne analizzare più da vicino le dinamiche. Il tirocinio è stato svolto presso due classi terze di liceo Scientifico, indirizzo tradizionale. Delle due sezioni, solo in una, denominata Classe degli Obiettivi e del Dialogo (CLOD) veniva messa in pratica la scuola senza voto, mentre nell'altra sezione era stata mantenuta la valutazione con voti numerici. Nella CLOD la sperimentazione della scuola senza voto coinvolge tutte le materie a partire dall'inizio dell'Anno Scolastico 2024/25. Il tirocinio è stato svolto nei mesi di aprile, maggio e inizio giugno 2025.

In questo secondo capitolo viene riportata l'esperienza di tirocinio svolta. Nella prima parte del capitolo viene riportato come è nata e si è sviluppata questa proposta didattica; le informazioni riportate sono tratte da una intervista al docente responsabile del progetto. Nella seconda parte viene descritta la classe partecipante, in quanto le sue caratteristiche sono state rilevanti nel determinare le scelte didattiche attuate, che vengono riportate nella terza parte del capitolo. Le informazioni della seconda sezione sono state raccolte durante delle interviste svolte a ciascun membro della CLOD a cui è stato assegnato uno pseudonimo.

2.1 Origine, storia e struttura del progetto

La scelta di iniziare questo progetto da parte dell'istituto si è sviluppata in seguito alla lettura di un report condotto dalla Regione Emilia-Romagna nel 2022. L'indagine, condotta su un campione di 15.023 adolescenti di un'età compresa tra gli 11 e i 19 anni, mostrava chiaramente come gli adolescenti associassero allo stare a scuola in larga maggioranza emozioni negative: in primis ansia, seguita da noia e insicurezza (Figura 1) (Regione Emilia-Romagna, 2022).

Alcuni docenti dell'istituto, allertati dagli esiti di questo report, hanno provato a raccogliere tramite un secondo questionario interno le percezioni di un campione di studentesse e studenti delle scuole Manzoni, ottenendo conferma che anche nel caso specifico dell'istituto i risultati ottenuti erano in linea con quelli più generali, anche se comparivano in modo un po' più frequente anche emozioni positive.

È stato svolto quindi un primo incontro nel dicembre 2023, aperto a docenti, famiglie, studentesse e studenti per discutere di valutazione, motivazione e modelli pedagogici. A seguito di tale seminario si è formato un nucleo di docenti interessati, che durante la restante parte dell'Anno Scolastico 2023-24 hanno seguito un corso di formazione preparatorio, gestito da un ente esterno. Una volta stabilito che il progetto avrebbe coinvolto una classe di liceo scientifico tradizionale, è seguito anche un periodo di autoformazione, in cui il futuro consiglio di classe si è riunito per

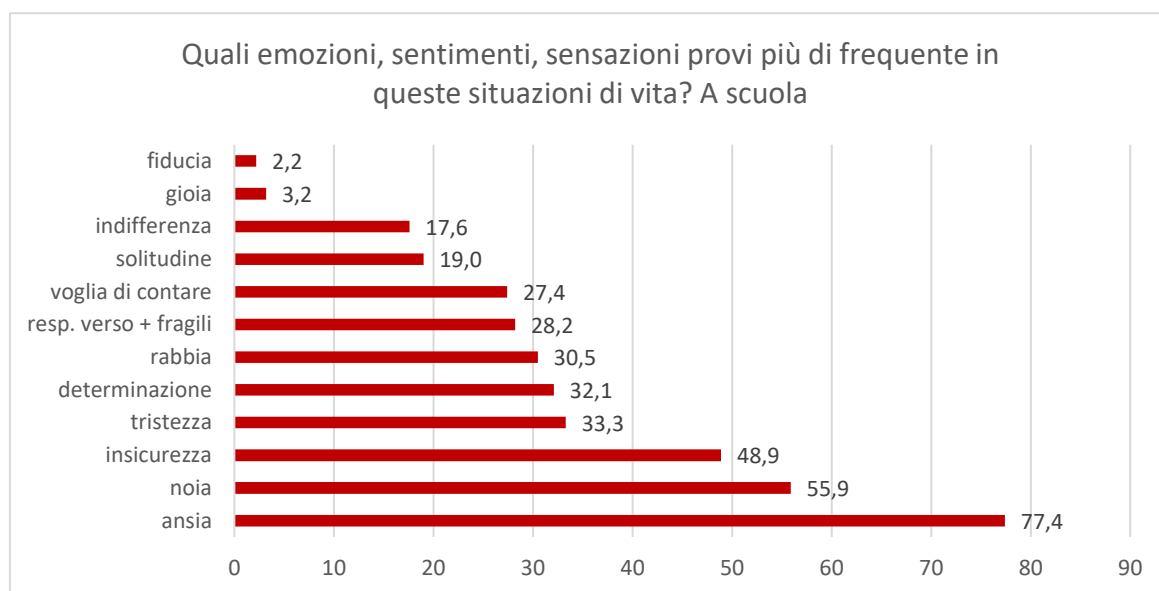


FIGURA 1: GRAFICO PERCENTUALE DELLE RISPOSTE DATE DA STUDENTESSE E STUDENTI ALLA DOMANDA: QUALI EMOZIONI, SENTIMENTI, SENSAZIONI PROVI PIÙ DI FREQUENTE IN QUESTE SITUAZIONI DI VITA? - A SCUOLA. (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2022)

confrontarsi e decidere come agire. La volontà era quella di evitare di assegnare durante l'anno voti numerici o giudizi sintetici, al fine di diminuire lo stress di studentesse e studenti e favorirne il passaggio verso una maggiore motivazione intrinseca. In questa prima serie di incontri nella primavera del 2024 è stato svolto un lavoro di riflessione e decostruzione delle idee legate alla valutazione, ragionando su scale di valutazione, bias cognitivi che sfalsano gli sforzi valutativi, ma anche sulla legislazione italiana sul tema e su strumenti valutativi alternativi come le rubriche, che ad ogni indicatore da valutare associano più possibili descrittori tra cui scegliere. Un punto comune raggiunto è stato quello di valutare il raggiungimento di singoli obiettivi, e riportando alle famiglie tramite il registro elettronico il punto di arrivo rispetto a ciascun obiettivo, tramite l'utilizzo di tre descrittori: [Obiettivo] Non Ancora Raggiunto (NAR), Raggiunto negli Aspetti Essenziali (RAE) o Pienamente Raggiunto (PR).

La scelta di queste tre etichette è stata compiuta con alcune attenzioni:

- In Non Ancora Raggiunto la presenza dell'avverbio 'Ancora' sottolinea il carattere dinamico e temporaneo di questa valutazione, e la provvisorietà di questa etichetta;
- L'utilizzo di Raggiunto negli Aspetti Essenziali invece che Raggiunto in maniera sufficiente esplicita cosa si intende per sufficiente: vanno considerate dapprima le componenti fondamentali dell'obiettivo, appunto gli aspetti essenziali; quando per quell'obiettivo

verranno poi raggiunte la consapevolezza e la padronanza si potrà allora passare all'utilizzo del descrittore successivo;

- La scelta di chiamare il massimo livello di competenza valutato con i termini "Pienamente Raggiunto" è stata attuata per distanziarsi dal concetto di perfezione: un obiettivo può essere raggiunto anche con contenuti, abilità e competenze che possono cambiare o evolvere nel tempo.

Nell'istituto al termine dell'Anno Scolastico 2023-2024 era presente un'unica sezione al secondo anno di Liceo Scientifico Tradizionale, che sarebbe stata poi divisa in due classi, delle quali solo una sezione sarebbe stata composta dalle studentesse e dagli studenti che avrebbero aderito al progetto.

Una volta discussi metodi e modalità di lavoro da parte del consiglio di classe, al termine del semestre e è stato consegnato alle famiglie potenzialmente interessate un documento in cui veniva manifestata l'intenzione della scuola di far prendere vita alla nuova CLOD (Classe degli Obiettivi e del Dialogo) nel successivo Anno Scolastico, assieme alle motivazioni dietro questa decisione; assieme al documento sono state anche pubblicate sul sito dell'istituto una serie di FAQ per chiarire ulteriormente la proposta, ed è stata data disponibilità per fissare incontri individuali per sciogliere eventuali ulteriori perplessità.

A settembre, nei primi giorni di inizio dell'Anno Scolastico successivo (2024-2025) è stato svolto un ulteriore incontro con studentesse, studenti e famiglie che avevano scelto di aderire al progetto per chiarire le modalità di lavoro e rimarcare un patto di corresponsabilità firmato dalle famiglie partecipanti.

Durante il corso del nuovo anno, le e i docenti del consiglio di classe hanno seguito un ulteriore corso di formazione, tenuto da Sonia Bacchi (Bacchi & Romagnoli, 2019), per approfondire l'approccio metodologico e assicurarsi di essersi allineati alle richieste ministeriali.

2.2 Caratteristiche della CLasse degli Obiettivi e del Dialogo (CLOD)

Al momento dello svolgimento del tirocinio, la sezione che ha aderito al progetto era composta da otto studentesse e uno studente. Le differenze di genere non sono state considerate ai fini di questa tesi; quindi, al fine di tutelare l'anonimità di questo singolo studente e non rendere riconducibili a lui eventuali affermazioni o informazioni, si farà riferimento a tutti i membri della CLOD tramite il solo genere femminile. A ciascuna studentessa è stato attribuito uno pseudonimo, che verrà utilizzato d'ora in avanti per riferirsi ad essa e per riportare eventuali estratti di intervista.

La classe si è formata soltanto con l'inizio del progetto: durante il primo Anno Scolastico, infatti, solo tre studentesse delle studentesse che avrebbero aderito al progetto avevano scelto di iscriversi al Liceo Scientifico Tradizionale. Pertanto, facevano parte di una classe articolata, dove un'altra parte della classe era iscritta all'indirizzo Scienze Applicate. Con l'inizio del secondo anno,

in seguito ad un aumento del numero di studentesse e studenti, la classe è stata divisa in due sezioni, una per ciascun indirizzo. Durante il corso dell'anno, anche nella nuova classe ad indirizzo Scientifico Tradizionale è aumentato ulteriormente il numero di studentesse e studenti e hanno iniziato a manifestarsi alcuni episodi di bullismo. Questa precarietà dell'ambiente classe è stata uno dei fattori che hanno determinato la scelta di questo indirizzo per andare a formare la futura CLOD. All'inizio del terzo anno, al momento della nascita della CLOD, la classe era composta da sei studentesse, a cui se ne è aggiunta una settima nei primi giorni del nuovo Anno Scolastico. Le ultime due si sono aggregate in seguito, a novembre 2024 e poi nel gennaio 2025.

2.2.1 Motivazioni di adesione al progetto

La scelta di aderire o non aderire al progetto è stata per ciascuno e ciascuna libera e condivisa con le famiglie. Le motivazioni di coloro che hanno deciso di partecipare sono varie: chi faceva parte della classe durante il secondo anno, sebbene racconti di aver ricevuto informazioni sulla natura del progetto in vari momenti, ha deciso di farvi parte prevalentemente per motivi legati a dinamiche di gruppo:

ANNA: "la mia prima motivazione è stata principalmente cambiare persone e cambiare clima."

SARA: "volevo cambiare i miei compagni, là non mi trovavo bene, c'era troppo bullismo in quella classe."

ELEONORA: "ho deciso di cambiare anch'io, perché cambiavano loro e non volevo stare da sola"

CHIARA: "innanzitutto perché le persone che mi stavano più simpatiche venivano qua, e poi mi sembrava una cosa carina. (...) già dalla prima mi sarebbe piaciuto. (...) [Ci avevano detto] che era per stare più sereni con i voti."

MARIA: "io proprio l'ho vista come una chance, un'opportunità per vivere e a stare in un percorso scolastico dove potevo stare meglio."

Le studentesse che hanno aderito al progetto provenendo da altri istituti, invece, raccontano di aver fatto questa scelta più per curiosità o comodità:

VALERIA: "Mi hanno detto che lì i voti non esistono, fanno tante interrogazioni e le valutazioni vanno in un range, (...) non c'è una valutazione, non c'è un voto specifico; quindi, sì, mi ha catturato 'sta roba."

ILARIA: "ho detto: «vabbè dai proviamo», ma proprio goliardicamente, nessun pensiero dietro."

MADDALENA: "una mia amica che era in classe con me (...) era stata bocciata pure lei a giugno, era venuta qua e aveva scelto la stessa sezione. (...) Volevo aumentare il mio 'curriculum' delle cose che ho fatto nella mia vita, ossia essere stata bocciata, avere cambiato scuola, ma mettiamoci anche la scuola senza voto! (...) e mi sembrava, secondo me, un'idea carina (...)."

VALENTINA: *“il fatto che non ci fossero i voti un po' mi incuriosiva; ero più del dire, vabbè, faccio il minimo indispensabile e poi me la godo, non c'ho la preoccupazione dei voti. (...) tutto lo stress legato al dover avere un voto (...) io lo sentivo molto poco, però lo sentivano più in famiglia magari, ed era anche causa di malcontento.”*

Nonostante non sia stato considerato quasi mai un fattore determinante nella scelta, due studentesse riportano di avere avuto in passato problemi legati al voto:

VALERIA: *“io ho sempre avuto l'ansia dei voti, quindi, secondo me, avere un range di valutazione è più giusto.”*

MARIA: *“avevo ansia dei voti (...) è più una cosa che mi sono messa io. Non so esattamente da dove è iniziato. Probabilmente dalla prima superiore. (...) devo far vedere che comunque sono brava, ce la faccio. (...) la scuola è l'unica cosa che avevo.”*

Mentre un'altra studentessa afferma che, sebbene non sentisse i voti come problematici, ha realizzato in seguito quanto non riceverli più la abbia aiutata:

SARA: *“facendo sta classe, ho capito che comunque un po' mi preoccupavano; cioè, adesso è una preoccupazione in meno, mi crea meno ansia, anche se non è che mi importasse così tanto.”*

“...potrei morire di ansia. Perché ora ho capito quanto fossero pesanti, e invece prima non me ne ero accorta. (...) se dovessimo ritornare con i voti lascerei la scuola (...) penso che, se dovessi ritornare con i voti, andrei male. Non so perché, ma me lo sento. Poi mi sentirei troppo giudicata dal prof.”

Le altre studentesse invece raccontano di non avere avuto problemi di ansia con i voti in sé, e manifestano anzi una certa indifferenza. Per esempio affermano:

ILARIA: *“a me di base non è mai fregato molto del voto di per sé, perché sono una persona con un'autostima abbastanza alta, forse troppa, e quindi cioè poi anche magari il fatto di aver sempre preso dei brutti voti e quindi non mi ha mai influenzato come per dire «ho ansia del voto» oppure «io mi rivedo in quel voto».”*

CHIARA: *“io comunque non ho mai dato tanto peso al voto, quindi, secondo me, era indifferente.”*

2.2.2 Bisogni educativi delle studentesse della CLOD

Tra queste studentesse sono presenti casi di discalculia e disgrafia, persone con fragilità psicologiche e una studentessa affetta da cecità, che viene parzialmente seguita da un'educatrice. È importante chiarire che questa classe non è un'eccezione all'interno dell'istituto: anche nell'altra sezione di Liceo Scientifico Tradizionale erano presenti diversi casi di studentesse e studenti con dislessia e discalculia, anche forti, e fragilità psicologiche. Questa percentuale inaspettatamente alta è dovuta al fatto che frequentemente le/gli alunne/i che sono affette/i da problematiche di questo tipo scelgono fin da subito (o si trasferiscono poi) in una scuola paritaria, percepita come un ambiente dove si sentono seguite/i con più attenzione dal corpo docente.

Queste difficoltà appena riportate talvolta si sovrappongono le une alle altre, in alcuni casi andandosi anche a sommare alle esperienze più o meno traumatiche vissute dalle studentesse che si erano inizialmente iscritte in altri istituti ma che si sono sentite costrette a cambiare scuola:

ILARIA: *“i professori proprio zero, cioè di noi non gliene fregava niente, copiavo dalla mattina alla sera.”*

VALERIA: *“io in classe non parlavo mai, non facevo molti interventi, e quindi questa cosa, secondo me, [gli insegnanti] l'hanno presa abbastanza male. Dopo due anni mia madre che mi diceva «dai, cambiamo scuola, cambiamo scuola» (...)”*

MADDALENA: *“io a lezione di Fisica ero un po' come l'albero alle recite, ero impassibile, (...) ero in disparte, non dicevo niente, non facevo assolutamente niente, molto spesso non ascoltavo neanche la lezione perché non mi interessava, [anzi,] non tanto perché non mi interessava, ma perché tanto io ero la stupida; quindi, non serve neanche che io vada a studiare.”*
“mia madre se ne accorse, e io ero proprio in depressione, cioè forte, forte”
“non uscivo di casa, e anche quando non dovevo studiare dovevo studiare. Perché mi era stato detto più e più volte che io non ero assolutamente all'altezza, che facevo assolutamente schifo; la mia prof d'italiano in colloquio con mia madre disse che io ero una poveretta.”

La stessa situazione viene riportata anche da Sara e Maria, che erano iscritte presso le scuole Manzoni anche negli anni precedenti a quello dell'inizio della sperimentazione:

SARA: *“io l'anno scorso non esisteva, non parlavo mai proprio, cioè non partecipavo alle lezioni. Andavo bene, però non partecipavo, non dicevo niente.”*

MARIA: *“in seconda credo di essere andata alla lavagna due volte in tutto l'anno, in tutti i nove mesi, perché comunque avevo ansia, avevo paura di sbagliare; e se sbagliavo, uno: avevo paura che i vecchi compagni di classe mi deridevano; e due: pensavo che avrebbe avuto un effetto negativo sul mio voto.”*
“avevo proprio un'ansia di prestazione”

2.2.3 Rapporto con la Fisica

Il rapporto della classe con la Fisica risulta complessivamente variegato e disomogeneo, a causa delle esperienze precedenti così diversificate. Alcune studentesse, provenienti da altri istituti, hanno riportato esperienze precedenti poco positive, anche a causa di rapporti difficili con i docenti incontrati nel percorso precedente.

VALERIA: *“facevamo Fisica in inglese, e per me è stata una cosa terribile; ma non perché Fisica non mi piace; Fisica è una delle mie materie preferite, però proprio il modo in cui la spiegavano i miei professori, proprio non me la facevano studiare.”*

Altre riportano difficoltà con la disciplina:

MARIA: “negli anni prima Fisica era la mia paura, temevo Fisica, e poi soprattutto andavo anche abbastanza male, solo che non so come.”

Un caso particolarmente critico riguarda una studentessa proveniente da un liceo classico, che non ha quindi avuto modo di confrontarsi con lo studio della Fisica fin dal primo anno di scuola secondaria di secondo grado.

Anche le studentesse iscritte all'Istituto Manzoni fin dal primo anno non sono riuscite a costruire basi solide nella disciplina, principalmente a causa della discontinuità didattica: nel primo anno era presente un docente che è stato successivamente sostituito per un anno da un altro insegnante, percepito dalle alunne come meno efficace, prima del ritorno del docente iniziale in concomitanza con l'avvio del progetto.

Bisogna precisare anche che il docente di Fisica che partecipa al progetto, durante l'anno di pausa dall'insegnamento non è stato presente presso l'istituto; di conseguenza non ha nemmeno partecipato a tutte le attività di riflessione, creazione costruzione della CLOD. Inoltre, possiede solo questi due anni di esperienza come insegnante.

Questa disuniformità fa in modo che nella stessa classe convivano studentesse bocciate che stanno riseguendo il terzo anno per la seconda volta, e che quindi hanno già affrontato gli argomenti trattati e acquisito buona parte delle competenze richieste, mentre altre affrontano questi argomenti per la prima volta, con basi talvolta insufficienti. Questo in realtà non è in generale negativo, perché in alcuni casi ha permesso di favorire dinamiche di cooperazione, e *peer education* in cui chi già conosce certi concetti aiuta chi ha più difficoltà, sia in classe che nei compiti a casa:

MARIA: “[Maddalena], proprio non so come fa, però entra nella mia testa, capisce. (...) sta lì a spiegare i problemi di Fisica, a spiegare quali passaggi sono stati [fatti] e il motivo perché sono stati fatti.”

Attenzioni che si manifestano anche e soprattutto nei confronti delle compagne che presentano ostacoli come quelli riportati nelle sezioni precedenti: ad esempio descrivere in dettaglio delle situazioni per facilitare la studentessa non vedente, o preferendo scrivere i propri appunti in stampatello invece che in corsivo per favorire una lettura successiva da parte delle compagne con dislessia.

2.3 Progettazione del percorso didattico:

2.3.1 Inquadramento generale del tirocinio

Il tirocinio si è svolto da inizio aprile fino alla fine dell'Anno Scolastico. Il docente, in linea con le proposte della dirigente scolastica, ha invitato l'autore a svolgere le lezioni di Fisica in prima persona, in due classi parallele, classi terze facenti parte dell'indirizzo Scientifico Tradizionale, rimanendo sempre presente per il confronto, ma lasciando ampia libertà decisionale. L'autore ha comunque preferito rimanere aderente alle modalità di insegnamento generalmente utilizzate dal

docente, con l'obiettivo duplice di lasciare la classe a proprio agio seguendo delle pratiche consolidate e di osservare le dinamiche che queste pratiche producevano nella classe, cercando di minimizzare l'interferenza che inevitabilmente la presenza di una persona esterna e il suo ruolo attivo avrebbero causato.

Le due classi, pur essendo molto diverse, possiedono un passato comune e ritmi di lavoro simili, e vengono inoltre seguite da un gruppo di docenti comune, tranne che in due materie (hanno lo stesso insegnante di Fisica). Queste condizioni hanno permesso di svolgere le lezioni con ritmi e tempistiche simili, lavorando sullo stesso argomento. Le azioni compiute e le scelte attuate che sono state riportate di seguito fanno riferimento alla classe del progetto CLOD, ma sono del tutto analoghe a quelle nella classe parallela.

La prima parte del tirocinio, precedente al momento di entrare in aula e conoscere le classi, è stata utilizzata per lavorare su due diversi livelli: il primo consisteva nel comprendere la realtà dell'Istituto, i ritmi e le dinamiche, e conoscere la storia e le caratteristiche del progetto CLOD; questo livello è stato in parte riportato nella prima parte di questo capitolo. Il secondo livello invece, consisteva nel progettare il calendario delle lezioni, confrontarsi sull'ordine degli argomenti, analizzare i nodi concettuali, i prerequisiti e le modalità di insegnamento.

2.3.2 Scelta dell'argomento, competenze e griglia di valutazione

La scelta dell'argomento da sviluppare nel corso del tirocinio è stata effettuata dal docente, che ha deciso di affrontare il tema della dinamica rotazionale. Tale scelta è stata motivata da diverse ragioni. In primo luogo, l'argomento garantisce una continuità con il percorso già svolto dalla classe, collegandosi sia al tema precedentemente affrontato degli urti, sia a contenuti affrontati nel corso dell'anno, come il moto circolare uniforme, introdotto all'inizio dell'anno scolastico. Inoltre, la dinamica rotazionale offre l'opportunità di introdurre nuovi strumenti concettuali e matematici, quali il prodotto vettoriale e il momento della forza, che non erano mai stati affrontati dalla classe. Infine, il tema della conservazione e variazione del momento angolare si inserisce a pieno titolo come caso di conservazione delle quantità fisiche, che è previsto all'interno delle indicazioni nazionali:

“L'approfondimento del principio di conservazione dell'energia meccanica, applicato anche al moto dei fluidi e l'affronto degli altri principi di conservazione, permetteranno allo studente di rileggere i fenomeni meccanici mediante grandezze diverse e di estenderne lo studio ai sistemi di corpi.” (MIUR, 2010, p. 343)

Il modulo di apprendimento sulla dinamica rotazionale era anche previsto all'interno di un documento pubblicato all'inizio dell'Anno Scolastico sul sito dell'istituto (Mancino, 2024), nel quale viene presentata la programmazione prevista da ciascun insegnante per i mesi successivi. Secondo tale documento, la classe dovrebbe affrontare cinque moduli di apprendimento: Cinematica bidimensionale, Lavoro ed Energia, Leggi di conservazione, Dinamica Rotazionale e Gravitazione. All'interno del documento vengono riportate, per ciascun modulo, conoscenze,

abilità e competenze su cui si intende lavorare, assieme ad una indicazione approssimativa per la scansione dei tempi.

In Tabella 2 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** viene riportata la programmazione prevista per il modulo di apprendimento che è stato affrontato nel corso del tirocinio. Al suo interno, le sigle C1, C2, e C3 fanno riferimento a tre delle quattro competenze elencate in precedenza nel documento, in questo modo:

“C1: Formulare ipotesi esplicative utilizzando modelli, analogie e leggi.

C2: Formalizzare un problema di Fisica e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la sua risoluzione.

C3: Raccogliere i dati di un esperimento e analizzare criticamente gli stessi e l'affidabilità del processo di misura; saper costruire e/o validare un modello.

C4: Comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui lo studente vive.” (Mancino, 2024, p. 4)

Queste quattro competenze sono estrapolate direttamente dalle Indicazioni Nazionali per i Licei (MIUR, 2010).

MODULO DI APPRENDIMENTO 4

Dinamica rotazionale

COMPETENZE	ABILITÀ	CONOSCENZE	tempi
C1	Saper definire il momento angolare come prodotto vettoriale, evidenziando le analogie con il momento di una forza.	- Corpo rigido. - Moti rotatori. - Il momento di una forza. - Il momento angolare. - Conservazione del momento angolare;	Febbraio, Marzo
C2	Risolvere problemi di dinamica rotazionale applicando il principio di conservazione del momento angolare.	relazione con la	
C3		Seconda Legge di Newton.	

TABELLA 2: LA PROGRAMMAZIONE PREVISTA PER IL MODULO AFFRONTATO DURANTE IL TIROCINIO (MANCINO, 2024).

Griglia di valutazione

La griglia di valutazione utilizzata al termine del modulo di dinamica rotazionale è stata sviluppata progressivamente nel corso dell'anno scolastico. Essa è strutturata nel modo seguente: nelle righe sono elencate le competenze che si intende sviluppare, ciascuna articolata in obiettivi specifici. Per ogni obiettivo specifico vengono definiti più indicatori, ricavati dall'analisi del processo risolutivo degli esercizi, al fine di cogliere in modo significativo le prestazioni degli studenti e delle studentesse. Nelle colonne sono invece riportati i descrittori dei livelli di padronanza, articolati in tre gradi: NAR, RAE e PR.

La griglia di valutazione adottata nel modulo di dinamica rotazionale, riportata in Appendice A, ha mantenuto le stesse competenze e gli stessi obiettivi specifici già utilizzati nel modulo precedente,

dedicato allo studio degli urti. Sono invece cambiati gli indicatori, che sono stati riformulati in modo coerente con i contenuti disciplinari e le tipologie di esercizi proprie della dinamica rotazionale. I livelli di competenza, come già accennato, sono stati mantenuti invariati, in quanto comuni a tutte le prove e condivisi trasversalmente tra le diverse discipline.

2.3.3 Calendario delle lezioni

Per quanto riguarda il calendario per lo svolgimento delle lezioni, le ore a disposizione sono state limitate dalla presenza delle vacanze pasquali e da un viaggio d'istruzione. Le 12 ore a disposizione, presenti in Tabella 3, sono state così suddivise: una sesta ora è stata utilizzata per conoscersi vicendevolmente; due ore sono state utilizzate per svolgere un pre-test e discuterne assieme i risultati. Il test si è rivelato cruciale per conoscere il livello di dimestichezza della classe con le conoscenze pregresse necessarie per affrontare il nuovo modulo. La verifica conclusiva, di altre due ore, è stata fissata alle ultime due ore del mese di maggio, lasciando alle lezioni effettive sette ore.

Data	Ore a disposizione	Gestione
Venerdì 11 aprile	1 (sesta ora)	Presentazione
Mercoledì 23 aprile	2 (prima e seconda ora)	Pre-test
Mercoledì 7 maggio	2 (prima e seconda ora)	Lezione
Venerdì 9 maggio	1 (sesta ora)	Lezione
Mercoledì 14 maggio	2 (prima e seconda ora)	Lezione
Venerdì 16 maggio	1 (sesta ora)	Lezione
Venerdì 23 maggio	1 (sesta ora)	Lezione
Mercoledì 28 maggio	2 (prima e seconda ora)	Verifica
Totale	12 ore	

TABELLA 3: LA PIANIFICAZIONE DELLE LEZIONI.

2.3.4 Scelta del percorso concettuale

Per scegliere come strutturare il percorso concettuale, sono stati presi in considerazione gli approcci del manuale di riferimento della classe (Amaldi, 2020) e, del Walker (2024), che vengono riassunti di seguito.

Per quanto riguarda l'Amaldi, il capitolo dedicato alla dinamica rotazionale è intitolato "Momento angolare" ed è strutturato in quattro sezioni che vengono di seguito riportate.

Momento angolare e momento d'inerzia

Nella prima sezione viene innanzitutto introdotta la definizione di momento angolare di un punto materiale rispetto a un polo, formulata tramite il prodotto vettoriale. Tale definizione viene poi estesa al caso di un sistema di n punti materiali e successivamente applicata al moto circolare di un punto materiale. A questo punto viene introdotta una nuova grandezza, il momento di inerzia di un corpo rigido bidimensionale che ruota attorno a un polo O (concetto peraltro già definito in precedenza nel testo), che consente di esprimere la relazione $L = I\omega$.

La conservazione del momento angolare

La seconda sezione inizia riportando gli esempi di un satellite e di una ruota di bicicletta, utili per introdurre la legge di conservazione del momento angolare. Viene poi espanso il concetto di momento angolare al caso di oggetti tridimensionali che ruotano attorno ad un asse rispetto al quale sono simmetrici. Si osserva che per questo tipo di oggetti, l'applicazione di forze parallele o perpendicolari all'asse di rotazione non ne influenza la rotazione, a differenza di forze trasversali che non intersecano l'asse, che invece ne modificano il momento angolare. Nel caso in cui L si conserva I e ω risultano inversamente proporzionali.

La dinamica rotazionale

Nella terza sezione viene ripresa brevemente la definizione di momento della forza, che è già stata espressa nei capitoli precedenti, per poi lasciare spazio all'equazione che lega il momento di una forza applicato nel tempo ad una variazione di momento angolare ($\Delta \vec{L} = \vec{M} \Delta t$), che viene dimostrata. Nel caso in cui il corpo rigido ruoti attorno ad un asse fisso, L ed M risultano paralleli; sostituendo la relazione $\Delta L = I \Delta \omega$ all'interno alla versione in forma modulare dell'equazione precedente, si ottiene la condizione per cui $M = I \alpha$ (dove α è l'accelerazione angolare, introdotta in capitoli precedenti). Sotto le stesse ipotesi, osservando che il modulo di $\vec{M}$ non dipende dalla scelta del polo O sull'asse di rotazione, ma solo dalla distanza d tra il punto di applicazione della forza e l'asse di rotazione, si può scrivere $\alpha = \frac{dF}{I}$. Al termine della sezione vengono brevemente introdotte l'energia cinetica di rotazione $\frac{1}{2} I \omega^2$, il lavoro nel caso di moto rotatorio $W = M \Delta \Phi$ (dove Φ è lo spostamento angolare) e la potenza $P = \frac{W}{\Delta t} = M \omega$.

Il rotolamento

Nella quarta ed ultima sezione viene prima dimostrata la condizione di rotolamento puro $v_{trasl} = \omega r$, seguita da una riflessione per mostrare come il rotolamento sia un moto combinato di traslazione e rotazione, osservando che il punto a contatto tra l'oggetto che ruota e la superficie piana è istantaneamente fermo. Un corpo che rotola sta ruotando e traslando, e la sua energia cinetica totale sarà data dalla somma di energia cinetica di traslazione e di rotazione.

Il Walker (2024) segue un percorso diverso: il capitolo è intitolato "Leggi di conservazione nei moti rotazionali", ed è diviso in 6 sezioni.

L'energia cinetica rotazionale

Il ragionamento parte da un'osservazione: l'espressione dell'energia cinetica usata fino ad ora non risulta valida per un corpo rigido in rotazione, in quanto le particelle più vicine all'asse di rotazione si muovono con velocità minore rispetto a quelle poste all'esterno. In questo caso sarebbe molto più utile poter utilizzare la velocità angolare ω , uguale per ogni particella che compone l'oggetto. Per ottenere la definizione di energia cinetica in funzione di ω , è necessario considerare un oggetto puntiforme che si muove ruotando. Tale particella, avente massa m e velocità v , possiede una energia cinetica $K = \frac{1}{2} m v^2$, che grazie alla relazione $v = R \omega$ può essere riscritta come $K = \frac{1}{2} m R^2 \omega^2$. Confrontando l'energia cinetica traslazionale con quella rotazionale, è naturale soffermarsi a riflettere sulla quantità $I = m R^2$, che rappresenta fisicamente l'"inerzia rotazionale".

dell'oggetto puntiforme e che dipende non solo dalla massa, ma anche dal quadrato della distanza dall'asse di rotazione. Tale quantità prende il nome di momento d'inerzia.

Il momento d'inerzia

Per poter determinare il momento d'inerzia di un oggetto di forma qualsiasi posto in rotazione, lo si può immaginare come composto di tante singole particelle, ciascuna di massa m_i e in moto con velocità tangenziale v_i . Siccome l'energia cinetica totale di un corpo in rotazione è data dalla somma delle energie cinetiche di tutte le particelle che lo compongono, si può scrivere $K = \sum_i (\frac{1}{2} m_i v_i^2)$. Ripetendo un ragionamento del tutto analogo a quello del paragrafo precedente, si può andare a definire il momento di inerzia come $I = \sum m_i r_i^2$. Dopo averne riportato l'unità di misura, si rimarca ancora come si tratti di una grandezza che tiene conto della forma, della distribuzione della massa, e dall'orientamento dall'asse di rotazione. Per rafforzare la comprensione di queste dipendenze vengono quindi esplicitati i ragionamenti per calcolare il momento d'inerzia di un anello e di un disco pieno, che ruotano attorno all'asse passante per il loro centro e perpendicolare al piano che li contiene

La conservazione dell'energia meccanica nel moto di rotolamento

Dopo avere definito l'energia cinetica di rotazione e aver analizzato il concetto di momento d'inerzia, viene definita l'energia cinetica di rotolamento (il concetto di rotolamento era stato introdotto nei capitoli precedenti). Viene quindi mostrato un esempio di applicazione, ovvero la conservazione dell'energia meccanica nel caso di un oggetto sferico che scende rotolando da una rampa.

La seconda legge di Newton per il moto rotazionale

Con l'aiuto dell'esempio di un bambino che prova a spingere la piattaforma di una giostra in varie direzioni, viene introdotto il modulo del momento torcente $M = rF \sin \theta$. Si osserva quindi che l'applicazione di questo momento torcente produce una accelerazione angolare (introdotta in precedenza). A partire dal secondo principio di Newton e sfruttando la relazione che lega accelerazione tangenziale e angolare (introdotta in precedenza nel manuale) si ottiene la seconda legge di Newton per il moto rotazionale, $M_{tot} = I\alpha$, dove M_{tot} è il momento torcente risultante che agisce sul sistema. La sezione termina con un esempio di applicazione di questa legge: una macchina di Atwood nel caso di carrucola avente massa non trascurabile e in grado di ruotare.

Il momento angolare di un corpo rigido in rotazione

Viene ripreso il momento angolare di una particella puntiforme, introdotto nei capitoli precedenti, e viene applicato al caso di una particella puntiforme che si muove lungo una circonferenza di raggio r ; utilizzando la relazione $v = R\omega$ e la definizione di momento di inerzia si ottiene l'espressione per il momento angolare di un oggetto rotante attorno ad un asse fisso, $L = I\omega$. Nel caso in cui il momento angolare variasse nel tempo, utilizzando la definizione di accelerazione angolare $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ si otterrebbe nuovamente la seconda legge di Newton per il moto rotazionale, questa volta in forma vettoriale $\vec{M} = I\vec{\alpha} = \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t}$, in analogia con la relazione lineare $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$.

La legge di conservazione del momento angolare

Viene enunciata per tre volte la legge di conservazione del momento angolare: la prima volta per un punto materiale: se su di esso non agisce nessun momento torcente $\vec{M}$, allora per la seconda legge di Newton per il moto rotazionale anche $\Delta\vec{L} = 0$, ovvero il momento angolare si conserva. Questo vale in particolare anche per la direzione e il verso, che devono rimanere costanti: la traiettoria deve essere contenuta in un piano. Inoltre, richiedere che $\vec{M} = 0$ implica richiedere che il prodotto vettoriale sia nullo, che avviene quando la risultante delle forze è nulla, ma anche quando vengono applicate solo *forze centrali*.

La seconda volta l'enunciato viene ampliato al caso di sistemi di oggetti puntiformi, dopo aver osservato che la somma dei momenti torcenti interni è sempre nulla. Si afferma quindi che se la risultante dei momenti torcenti esterni è nulla, allora il momento angolare totale si conserva.

Si passa infine al caso dei corpi rigidi: se il momento torcente agente sull'oggetto è nullo, il momento angolare si conserva. Questo implica, a sua volta che il prodotto $I\omega$ deve conservarsi, e questo spiega situazioni come il caso di una pattinatrice o una tuffatrice che compiono una piroetta.

Considerazioni

I due percorsi presentano impostazioni significativamente diverse, quasi speculari. Il ragionamento di Amaldi (2020) affronta la dinamica rotazionale a partire dal momento angolare e si conclude con l'enunciazione dell'espressione dell'energia cinetica di un corpo in rotazione e traslazione; la trattazione del Walker, al contrario, prende avvio da una discussione dell'energia cinetica di rotazione, e termina con la conservazione del momento angolare. Entrambi i manuali presuppongono una familiarità con concetti quali il corpo rigido, il prodotto vettoriale, il momento della forza e l'accelerazione angolare α , che non erano mai stati affrontati dalla classe. Inoltre, il percorso del Walker assume come già noti anche la condizione rotolamento puro e il momento angolare, anch'essi mai presentati alle studentesse. Poiché tali concetti risultano centrali per una comprensione adeguata dell'argomento, non era possibile aggirarli, ma si rendeva necessario integrarli all'interno del percorso didattico scelto.

Considerato che il capitolo di Amaldi introduce il momento angolare attraverso l'uso del prodotto vettoriale e ricava, poco dopo, la definizione di momento d'inerzia dal calcolo del momento angolare di un corpo rigido, e che l'introduzione concatenata di quattro concetti complessi e tra loro eterogenei — uno strumento matematico, una grandezza fisica vettoriale, un modello di corpo esteso e una grandezza scalare dipendente dalla distribuzione della massa rispetto all'asse di rotazione — avrebbe comportato un elevato rischio di sovraccarico cognitivo, si è ritenuto preferibile adottare l'approccio proposto da Walker.

Tale sviluppo ha infatti consentito, soprattutto nella fase iniziale, di alternare l'introduzione di concetti completamente nuovi, come quello di corpo rigido, a concetti più familiari alle studentesse, quali l'energia cinetica rotazionale, strettamente collegata all'energia cinetica di traslazione già affrontata nel modulo di apprendimento precedente sugli urti. Inoltre, l'introduzione del momento d'inerzia a partire dall'energia cinetica rotazionale ha permesso una prima familiarizzazione con questa grandezza evitando, in una fase iniziale, le ulteriori complessità legate alle quantità vettoriali $\vec{L}$ ed $\vec{M}$.

Sintesi del percorso concettuale scelto

Il percorso è stato progettato come naturale prosecuzione del modulo precedente sulle leggi di conservazione negli urti. In tale contesto viene problematizzato il limite del modello di particella puntiforme, finora utilizzato per descrivere situazioni in cui le forze potevano essere considerate applicate sul centro di massa dei corpi. Si osserva che il centro di massa coincide con il centro geometrico solo nel caso di corpi simmetrici e omogenei; in molte situazioni reali, come nel caso di una borraccia semivuota, di una scopa o di un boomerang, esso può non essere posizionato al centro, e può persino trovarsi all'esterno del corpo stesso. Il modello di particella puntiforme risulta quindi insufficiente per descrivere fenomeni quali il moto rotatorio generato da una coppia di forze, rendendo necessaria l'introduzione del modello di corpo rigido.

Vengono quindi richiamati alcuni concetti già affrontati nel modulo sul moto circolare uniforme, relativi al moto rotatorio di una particella puntiforme: la relazione tra arco di circonferenza e angolo spazzato $l = R\theta$, legata alla definizione di radiante, i concetti di velocità angolare e velocità tangenziale e la loro relazione $v = R\omega$. In analogia, per il caso di moto accelerato viene introdotta la relazione $a_t = R\alpha$, insieme alle grandezze di accelerazione tangenziale e angolare.

Il percorso segue poi le prime due sezioni del Walker, nelle quali vengono introdotti il momento d'inerzia e l'energia cinetica rotazionale. Il concetto di energia cinetica viene così ampliato: per un corpo rigido essa risulta dalla somma dell'energia cinetica traslazionale e di quella rotazionale. Nei casi limite in cui il corpo trasla o ruota soltanto, uno dei due contributi si annulla, ma in generale un corpo può traslare e ruotare simultaneamente.

A questo punto si procede all'osservazione e alla classificazione dei diversi tipi di moto rototraslazionale: se un corpo trasla più di quanto ruoti, striscia; se ruota più di quanto trasli, slitta; esiste tuttavia una condizione intermedia, detta di *rotolamento puro*, nella quale il corpo rotola senza strisciare né slittare. Si analizzano le condizioni che rendono possibile tale moto, osservando che le diverse particelle di un corpo di sezione circolare in rotolamento non possiedono la stessa velocità. In particolare, si considerano tre punti significativi: il punto attraversato dall'asse di rotazione, che trasla soltanto; il punto di contatto con la superficie, che risulta istantaneamente fermo; e il punto diametralmente opposto, che possiede la velocità massima. La descrizione del rotolamento come somma vettoriale di un moto di traslazione e di un moto circolare uniforme consente di ricavare la condizione caratteristica del rotolamento puro $v_{rot} = v_{trasl}$.

La nuova definizione di energia cinetica, eventualmente combinata con il rotolamento puro permette di risolvere una nuova classe di problemi, tramite la conservazione dell'energia meccanica.

Infine, con l'obiettivo di estendere l'analogia tra dinamica traslazionale e dinamica rotazionale, viene introdotto lo studio delle forze nel contesto delle rotazioni. A tale scopo si presenta il prodotto vettoriale, insieme alla regola della mano destra e alla sua proprietà di anti-commutatività, che vengono immediatamente utilizzati per definire il momento della forza. Il percorso si conclude seguendo quanto proposto nella quarta, quinta e sesta sezione del Walker.

2.3.5 Nodi cognitivi nella letteratura di ricerca in Didattica della Fisica

L'apprendimento della dinamica rotazionale risulta particolarmente complesso. Uno studio di caso condotto da Rafika & Syuhendri (2021) mostra, ad esempio, che la quasi totalità di un

campione di 35 studentesse e studenti dell'undicesimo grado di istruzione, sottoposti a un test su questi argomenti, manifesta l'uso di concezioni alternative oppure una comprensione incompleta dei concetti fondamentali. Il test utilizzato è il *Rolling, Rotational Motion Concept Survey* (RRMCS), composto da 30 domande sul tema. Si tratta di un Concept Inventory, sviluppato da Rimoldini e Singh (2005) a partire da analisi e interviste a studentesse e studenti universitari. Il test si concentra su otto concetti: momento di inerzia, energia cinetica rotazionale, velocità e accelerazione angolare, momento della forza, rotolamento (in relazione ai diversi SR e in relazione al ruolo dell'attrito e ad altri parametri) e scivolamento/rotolamento di un cubo posto su un piano inclinato. Secondo gli autori, le difficoltà degli studenti possono essere raggruppate in due categorie: difficoltà da un lato legate a misconcezioni⁵ già individuabili nel caso di moti lineari, dall'altro dovute alla "natura più intricata" (Rimoldini & Singh, 2005, p. 6) dei moti rotazionali. Prima di proseguire, è da precisare che il RRMCS non è stato svolto dalla classe nel corso del tirocinio, in quanto troppo lungo per il tempo a disposizione (il tempo stimato dagli autori è di 50 minuti, ma le difficoltà nella lettura di alcune studentesse avrebbero richiesto un tempo maggiore) e non comprendeva tutti gli argomenti trattati in classe.

Nel corso delle loro analisi, Rimoldini e Singh (2005) hanno individuato diverse difficoltà concettuali relative ai principali temi della dinamica rotazionale. Per quanto riguarda il momento di inerzia, alcune studentesse e alcuni studenti intervistati trovavano difficile riconoscerne la dipendenza dalla distribuzione della massa rispetto all'asse di rotazione; altri ritenevano erroneamente che esso dipendesse dall'accelerazione angolare.

Con riferimento all'energia cinetica rotazionale, lo studio evidenzia una difficoltà nel comprenderne la dipendenza non solo dalla massa, ma anche dalla sua distribuzione e, più in generale, dal momento di inerzia.

Per quanto concerne il rotolamento, sono emerse due principali criticità: la comprensione del fatto che, nella condizione di rotolamento puro, il punto di contatto con il suolo è istantaneamente fermo rispetto alla superficie; e il riconoscimento delle diverse velocità dei punti di una ruota rigida se osservati in due sistemi di riferimento distinti, quello solidale con il terreno e quello solidale con il centro della ruota.

Anche il concetto di momento della forza risulta poco chiaro: esso viene spesso sostituito con quello di forza, considerato equivalente. In presenza di più momenti della forza agenti su un corpo, questi vengono talvolta calcolati rispetto a punti diversi, non sempre coincidenti con l'asse di rotazione. In situazioni che coinvolgono un oggetto in caduta, alcuni studenti ritengono che la forza peso contribuisca al momento risultante anche quando l'asse di rotazione attraversa il centro di massa. Inoltre, anche a causa della scarsa familiarità con il momento di inerzia, risulta

⁵Il modello delle misconcezioni, intese come concezioni alternative stabili che devono essere identificate e sostituite, è stato criticato da Di Sessa, che ne propone il superamento tramite l'utilizzo dei primitivi fenomenologici, o p-prims (Di Sessa, 1993). Secondo questo costrutto, utilizzato per descrivere il cambiamento concettuale, i p-prims sono intuizioni elementari provenienti dall'esperienza quotidiana, che sembrano ovvie per chi la usa, non vengono giustificate esplicitamente e si attivano automaticamente per spiegare dei fenomeni, quando questi non risultano facilmente intelligibili tramite le teorie fisiche conosciute da chi sta operando il cambiamento concettuale. I p-prims cambiano in base al contesto e non sono coerenti tra loro, e ciò ne rende complessa l'individuazione e il superamento. Tuttavia, molta della letteratura fa ancora riferimento al costrutto delle misconcezioni. L'autore ha preferito mantenere la nomenclatura presente negli articoli citati.

difficile stabilire una relazione chiara tra momento della forza e accelerazione angolare. A queste difficoltà si affiancano concezioni alternative analoghe a quelle già note nella dinamica traslazionale: ad esempio, l'idea che una forza costante produca una velocità costante si traduce, nel contesto rotazionale, nella convinzione che un momento della forza costante generi una velocità angolare costante.

Infine, per quanto riguarda l'attrito, alcune studentesse e alcuni studenti ritengono che esso rallenti ogni tipo di moto, incluso il rotolamento. In generale, emerge una marcata difficoltà nel trattare condizioni idealizzate, come corpi rigidi, assi privi di attrito o la trascurabilità della resistenza dell'aria.

Per quanto riguarda i nodi cognitivi associati al prodotto vettoriale, in (Kustus, 2011) si osserva che l'errore più frequente nel calcolo del modulo consiste nello scambiare il seno dell'angolo tra i vettori con il coseno, mentre, quando si tratta di determinarne la direzione e il verso, l'errore più ricorrente è l'inversione del verso risultante. Tali difficoltà vengono descritte a livello fenomenologico, ma non vengono esplicitate le risorse intuitive o i p-prim che potrebbero generare questi errori.

2.3.6 Costruzione ed esiti del pre-test diagnostico somministrato alla CLOD

Prima di iniziare il percorso didattico, si è scelto di sottoporre alla classe una prova di tipo diagnostico, con l'obiettivo di rilevare le preconoscenze di cui le studentesse disponevano rispetto all'argomento oggetto di studio. Per la strutturazione del pre-test è stata preliminarmente condotta un'analisi delle conoscenze pregresse ritenute necessarie per affrontare in modo efficace l'argomento. Poiché tali prerequisiti non erano esplicitamente indicati all'inizio del capitolo in nessuno dei due manuali di riferimento, essi sono stati ricostruiti attraverso un'analisi dettagliata del capitolo Le leggi di conservazione nei moti rotazionali del Walker (2024), soffermandosi su ciascun passaggio logico e algebrico della trattazione.

Dall'insieme delle conoscenze individuate sono state escluse quelle che avrebbero dovuto essere già state acquisite nel modulo precedente, dedicato alla conservazione delle grandezze fisiche negli urti, poiché la verifica appena svolta aveva già fornito indicazioni sul loro livello generale di apprendimento. L'analisi ha quindi condotto all'individuazione di sei idee chiave, rispetto alle quali si è ritenuto opportuno indagare la presenza attraverso il pre-test:

- la distanza di un punto da una retta;
- le definizioni di velocità angolare e velocità tangenziale;
- l'espressione della forza di attrito e la sua dipendenza dal coefficiente di attrito e dalla reazione vincolare;
- il concetto di radiante e la relazione $l = R\theta$, che lega un angolo alla lunghezza dell'arco corrispondente;
- il fatto che l'energia cinetica di un sistema di corpi si ottiene come somma delle energie cinetiche dei singoli corpi;

- il principio secondo cui oggetti che compiono lo stesso numero di giri nello stesso intervallo di tempo possiedono la stessa velocità angolare.

A questa lista è stata aggiunta l'accelerazione centripeta, non perché presupposto necessario per qualche passaggio logico, quanto piuttosto perché la conoscenza di questa quantità avrebbe dovuto essere armonizzata con quella delle accelerazioni angolari e tangenziali.

A partire da questi punti è stato sviluppato un pre-test, consultabile in Appendice B, composto di 7 *items* di origine varia: il quarto proveniva dal Force Concept Inventory (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992); il settimo da un concept inventory per la cinematica rotazionale (Mashood, 2014); i restanti cinque sono stati ideati direttamente dall'autore.

Nessuno degli item richiedeva calcoli algebrici per essere svolto, per evitare che eventuali difficoltà o errori nel calcolo algebrico potessero compromettere la risposta. Per quanto concerne la forma del pre-test, dei sette quesiti,

- quattro erano a risposta multipla (Quesiti 2, 4, 6, 7);
- due erano a risposta aperta: quello incentrato sul concetto di radiante (Quesito 3) e quello riguardante gli attriti (Quesito 5); in particolare, il secondo era composto da tre brevi domande a risposta aperta, allo scopo di osservare se le studentesse avrebbero continuato ad applicare un approccio "fisico" (fare riferimento alle teorie e alle equazioni note) anche di fronte a una domanda esposta in linguaggio naturale (privo di lessico tecnico).
- Il Quesito 1, che mirava ad indagare il concetto di distanza punto-retta, richiedeva una diretta applicazione della definizione: veniva infatti richiesto di tracciare la distanza tra un punto e una retta, già presenti a fianco, sul foglio. Per permettere alla studentessa cieca di risolvere questo quesito, le è stato chiesto di tracciare con uno spago la distanza tra una puntina e una matita, chiedendole in seguito quali accortezze avesse mantenuto per scegliere in che punto della matita poggiare lo spago.

Esito

Il giorno dello svolgimento del pre-test erano presenti in aula 6 studentesse, che hanno impiegato circa 30 minuti per completare la prova. L'ora successiva è stata dedicata alla correzione del test, in forma di discussione condivisa: dopo aver letto ciascun quesito, si partiva da una studentessa che leggeva la sua risposta, argomentandola; il resto della classe era poi invitato a manifestare il proprio accordo o disaccordo, presentando ragionamenti alternativi. Nel caso in cui la discussione fosse risultata inconcludente, l'autore sarebbe intervenuto per completare il ragionamento, cercando quando possibile di ancorare il concetto ad altri esempi concreti. Le schede sono state raccolte al termine della discussione, ma le risposte non possono essere adeguatamente analizzate, perché alcune studentesse hanno corretto parte delle loro schede man mano che la lezione procedeva.

Risulta comunque interessante provare ad analizzarne le risposte a posteriori, tramite una classificazione discreta, per far emergere alcuni aspetti: innanzitutto, si osserva una situazione piuttosto critica: le prove non superano mai le tre risposte corrette. Nella Figura 2 vengono presentati gli esiti della classe per ciascun quesito: le risposte sono state classificate in *corrette*

(quando era presente solo una risposta corretta), *errate*, *incerte* (quando la risposta era stata modificata, oppure nel caso di domande aperte, quando non era esaustiva), e *non risposte*.

Dal grafico emerge che solo due quesiti sono stati affrontati da tutte le studentesse: il primo e il sesto. Per quanto riguarda il Quesito 1, che richiedeva di tracciare la distanza tra un punto e una retta, si può ipotizzare che l'elevato tasso di risposta sia stato favorito da diversi fattori: la posizione iniziale del quesito, la consegna particolarmente breve e il fatto che la risposta non richiedesse l'uso di parole, numeri o simboli. Queste caratteristiche potrebbero aver incentivato anche le studentesse meno sicure a tentare una risposta. Anche il quesito 6, relativo alla somma delle energie cinetiche di più corpi, è stato svolto da tutte le studentesse; ciò potrebbe essere ricondotto al fatto che la grandezza coinvolta era stata trattata da poco, nel corso del modulo precedente.

All'opposto, solo una studentessa ha risposto al quesito 3, che richiedeva di esprimere la definizione trigonometrica di radiante utilizzando termini specifici quali raggio e arco. È plausibile ipotizzare che, di fronte a una richiesta particolarmente specifica e formulata come domanda aperta, le studentesse che non conoscevano la risposta o non ne erano sicure abbiano preferito evitare di rispondere. L'altro quesito a risposta aperta (Quesito 5, relativo all'attrito) non ha invece mostrato la stessa criticità, probabilmente perché non richiedeva una definizione astratta, ma di ragionare su di una situazione di tipo realistico, ed era affrontabile anche attraverso l'uso del linguaggio naturale. Tuttavia, proprio questa possibilità di ricorrere al linguaggio naturale, sommata ad una formulazione abbastanza vaga del quesito, rende difficile stabilire se le risposte derivino da ragionamenti basati prevalentemente sull'esperienza quotidiana, oppure se siano effettivamente mediate dal modello fisico dell'attrito. All'interno delle risposte emergono comunque riferimenti ad altri modelli di natura fisica, come il secondo principio di Newton o l'idea di assenza di attrito nel moto sul ghiaccio.

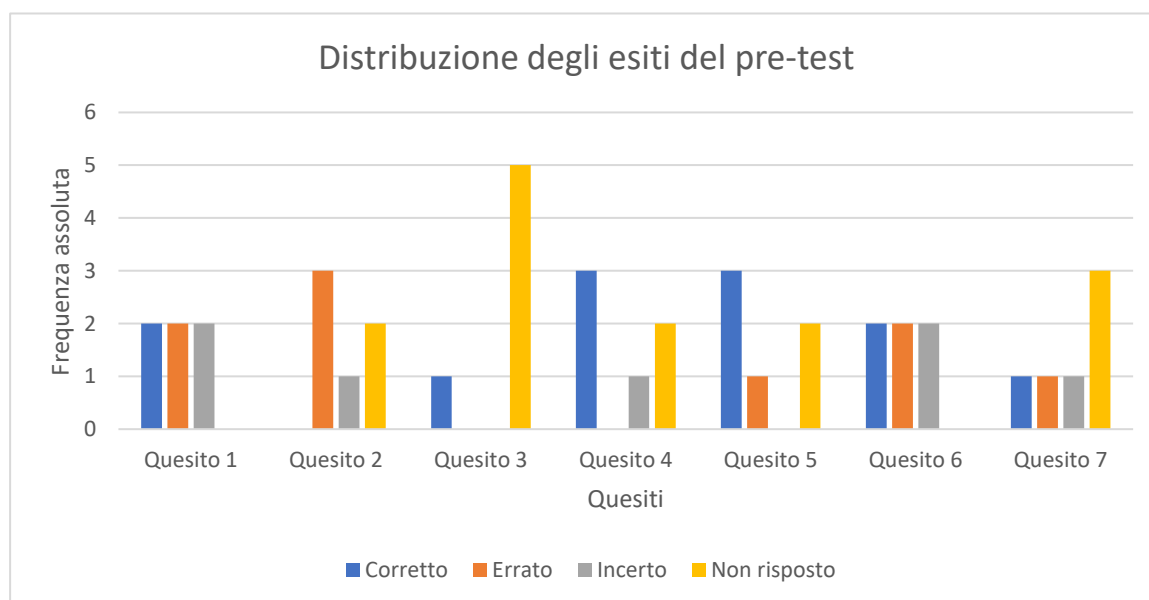


FIGURA 2: DISTRIBUZIONE DEGLI ESITI PER CIASCUN QUESITO DEL PRE-TEST.

Lo svolgimento di questo pre-test è stato molto utile, non solo per far emergere i concetti non posseduti dalle studentesse, tramite una discussione fruttuosa, ma anche per comprendere le

caratteristiche della classe e riorientare le lezioni. Nello specifico, ha permesso di prendere atto dei lunghi tempi necessari per la lettura della prova, e ha mostrato una certa arrendevolezza delle studentesse con dislessia (forse manifestazione di impotenza appresa) di fronte ad un testo considerato troppo lungo. Di queste due caratteristiche è stato tenuto conto nella preparazione della verifica finale.

Infine, lo svolgimento e la correzione del pre-test hanno reso immediatamente chiaro che i ritmi di lavoro della classe non avrebbero permesso di coprire tutti gli argomenti di dinamica rotazionale. Di conseguenza, è stato scelto di non introdurre il momento angolare e la sua conservazione, affrontando solo le prime quattro sezioni del Walker.

2.3.7 Accessibilità e strumenti compensativi

Nel corso del tirocinio sono state adoperate alcune attenzioni nei confronti delle difficoltà presenti nelle classi:

- In base alle esigenze di ciascuna studentessa, tutte le schede distribuite, come ad esempio pre-test, esercizi per casa caricati sul registro on-line e verifica finale, sono state preparate con due font diversi possibili: calibri e Open dyslexic [es: **O p e n d y s l e x i c**].
- Per favorire le studentesse con discalculia sono stati selezionati esercizi da far svolgere in classe che prevedessero, soprattutto inizialmente, la diretta applicazione delle definizioni e delle equazioni, oppure si limitassero ad una semplice manipolazione, in modo da mantenere basso il carico cognitivo. Con lo stesso obiettivo, nella progettazione della verifica, per le studentesse il cui Piano Educativo Individualizzato prevedeva riduzioni sono state aggiunte delle domande intermedie al testo originale degli esercizi. Sono inoltre state utilizzate unità di misura appartenenti al SI, per far sì che il focus venisse mantenuto sulla dinamica rotazionale.
- Per quanto riguarda la studentessa cieca, l'autore ha raccolto informazioni su quali attenzioni mantenere in classe nei suoi confronti e quali aspetti tenere in considerazione durante la progettazione didattica, sia tramite i docenti, sia documentandosi in letteratura, come (Regola, Maffia, & Manolino, 2024). In particolare, l'interesse era focalizzato su due aspetti, dalla "natura fortemente bidimensionale" (Regola, Maffia, & Manolino, 2024, p. 193), ovvero come poter trasmettere le informazioni contenute in immagini e comprendere in che modo può avvenire la manipolazione algebrica delle equazioni fisiche per la risoluzione dei problemi. Per quanto riguarda le immagini, nei casi in cui queste non possono essere semplicemente descritte, oppure risulti molto più immediata una diretta fruizione di queste immagini da parte della studentessa, le modalità usate in classe sono due: nel caso di grafici o funzioni, la studentessa dispone di un piano in sughero, dove al centro si incrociano due sottili strisce di plastica, che fungono da assi cartesiani, e sul quale possono essere fissate puntine, fili ed elastici. Per i disegni più complessi è invece disponibile un *piano gommato*: si tratta di un supporto costituito da una superficie rigida ricoperta da un sottile strato di gomma. Su questa base d'appoggio viene posato un foglio di plastica o un cartoncino, che viene poi inciso con una penna scarica o un qualunque oggetto appuntito. Una volta terminato, l'immagine appare in rilievo, specchiata, dall'altro lato del foglio, come effetto della leggera deformazione del

foglio stesso, in seguito alla pressione prodotta tramite la penna. Il piano gommato è stato utilizzato in due occasioni: durante il pre-test e per introdurre la condizione di moto di rotolamento puro.

Per quanto riguarda la manipolazione di espressioni algebriche, invece, le persone cieche, a prescindere dagli strumenti e software utilizzati, non possono far altro che ascoltare o leggere in Braille la sequenza di numeri e segni, senza poterne avere una visione d'insieme. Risulta quindi necessario memorizzare una parte dell'espressione per volta, come ad esempio il contenuto di una singola parentesi, e svolgerlo a mente. In questo caso la studentessa non utilizzava nessun software specifico, ma riceveva di volta in volta dei documenti in versione digitale (formato .doc), che potevano in questa forma essere facilmente letti tramite sintesi vocale, ascoltati tramite auricolari e con i quali si poteva eventualmente interagire, modificandoli.

2.3.8 Criterio di riscrittura degli esercizi somministrati alle studentesse per esercitarsi a casa, a valle di un'analisi condotta tramite la dimensione della Semantic Gravity

Durante lo svolgimento del tirocinio, è stata posta grande attenzione al ruolo degli esercizi, utilizzati sia come strumento per consolidare i concetti affrontati durante le lezioni, sia per preparare la classe alla verifica, che, in continuità con le precedenti, sarebbe stata composta esclusivamente da esercizi. In questo contesto, gli esercizi dovrebbero costituire anche il momento in cui la Fisica entra in contatto con la pratica e con il mondo reale. Infatti, *“la Fisica è una disciplina basata su core concepts molto astratti. Ognuno di questi concetti è un principio generalizzato applicabile ad una classe di fenomeni che si trovano in una varietà di contesti reali. I core concepts sono interrelati, costruiti l'uno sull'altro a formare una struttura di conoscenza gerarchica.”* (Bernstein e Solomon, 1999 citati in (Steenkamp, Rootman-le Grange, & Müller-Nedebock, 2021, p. 871))

Nella scelta degli esercizi tratti dal libro di testo, l'autore si è tuttavia trovato in difficoltà sotto questo profilo, poiché molti di essi risultavano poco concreti; in particolare, gli esercizi dedicati al rotolamento si limitavano quasi esclusivamente a situazioni ideali, come sfere e cilindri che scendono lungo un piano inclinato. Per questo motivo, l'autore ha deciso di riscrivere i testi degli esercizi, con l'obiettivo di renderli più aderenti a contesti realistici.

È stata condotta un'analisi sistematica degli esercizi presenti nel capitolo del libro di testo, con l'obiettivo di verificare se l'intuizione iniziale fosse effettivamente fondata e se potesse essere supportata da un'analisi più rigorosa. A tal fine, è stata costruita una griglia di analisi ispirata al lavoro di Steenkamp e colleghi (2021), basata sulla *Legitimation Code Theory* (LCT), una lente teorica sviluppata a partire dai primi anni Duemila da Karl Maton, docente di Sociologia e Criminologia presso l'Università di Sydney, per analizzare le modalità attraverso cui il sapere viene costruito e trasmesso.

L'oggetto di analisi della LCT comprende qualsiasi elemento che contribuisca alla costruzione o alla trasmissione della conoscenza, quali discorsi, testi, pratiche, istituzioni e discipline. La teoria si articola in diverse dimensioni; tra queste, particolare rilevanza assume la dimensione della *Semantics*, suddivisa nelle sottodimensioni di *Semantic Density*, che descrive la ricchezza di significati e la complessità concettuale, e di *Semantic Gravity*, che consente di analizzare il grado di dipendenza dal contesto. Tali sottodimensioni si collocano lungo assi continui, privi di estremi discreti, sui quali ogni oggetto di analisi può essere posizionato per essere confrontato con altri. A titolo di esempio, nell'ambito della storia, un evento specifico come la guerra dei Cent'anni presenta una Semantic Gravity maggiore rispetto alla categoria generale di "guerra", che a sua volta risulta più contestualizzata rispetto a teorie astratte della causalità storica (Maton, 2014).

Livello	Criterio
SG1	L'esercizio riguarda l'identificazione/formulazione/elaborazione di un concetto fondamentale, che rimane totalmente astratto .
SG2	L'esercizio riguarda l'identificazione/formulazione/elaborazione/applicazione di un concetto fondamentale ad un oggetto o un sistema astratto .
SG3	L'esercizio riguarda l'identificazione/formulazione/elaborazione/applicazione di un concetto fondamentale ad un oggetto concreto, ma privato del suo contesto .
SG4	L'esercizio riguarda l'identificazione/formulazione/elaborazione/applicazione di un concetto fondamentale ad una situazione semplificata ma realistica , dove sono presenti oggetti/enti concreti
SG5	L'esercizio riguarda l'identificazione/formulazione/elaborazione/applicazione di un concetto fondamentale ad una situazione semplificata ma realistica , che si risolve ancora nell'ambito della Fisica ma in cui non viene esplicitato il modello da applicare.
SG6	Problema reale che per essere risolto richiede core concepts ma anche conoscenze provenienti dalla vita quotidiana e ipotesi autoprodotte al di fuori del curriculum.

TABELLA 4: GRIGLIA DI ANALISI DELLA SEMANTIC GRAVITY DEGLI ESERCIZI DI DINAMICA ROTAZIONALE PROPOSTI IN AMALDI (2020)

Per l'analisi degli esercizi è stata considerata esclusivamente la dimensione della Semantic Gravity, costruendo una griglia a partire da quella proposta da Steenkamp e colleghi (2021). La griglia elaborata, riportata in Tabella 4, consente di classificare gli esercizi in sei livelli, dal livello 1, che comprende esercizi completamente astratti, al livello 6, che include problemi sviluppati all'interno di un contesto reale. Sono stati analizzati tutti gli esercizi del capitolo dedicato alla dinamica rotazionale del libro di testo Amaldi (2020), per un totale di 118 esercizi, suddivisi in sette sezioni. Una volta assegnato a ciascun esercizio il livello di cui faceva parte, è stato possibile analizzarne la distribuzione più nel dettaglio. In Figura 3 è rappresentata la frequenza per ciascun livello. Il grafico mostra una maggiore presenza di esercizi di tipo SG4 e SG2, seguiti dai livelli SG3 e SG1. Tuttavia, risultano quasi totalmente assenti gli esercizi di livello SG5 e SG6. In assenza di esercizi di questo tipo, l'eserciziaro di questo capitolo non permette il passaggio verso contesti concreti, né

favorisce lo sviluppo della capacità di intuire e applicare i modelli in situazioni reali. Ripetendo la stessa analisi della distribuzione a livello più fine, ossia considerando ciascuna sezione singolarmente, si ottiene la distribuzione in Figura 4. In essa vengono rappresentate in ascissa le sette sezioni dell'eserciziario, e per ciascuna viene evidenziata la composizione percentuale rispetto al livello di Semantic Gravity degli esercizi.

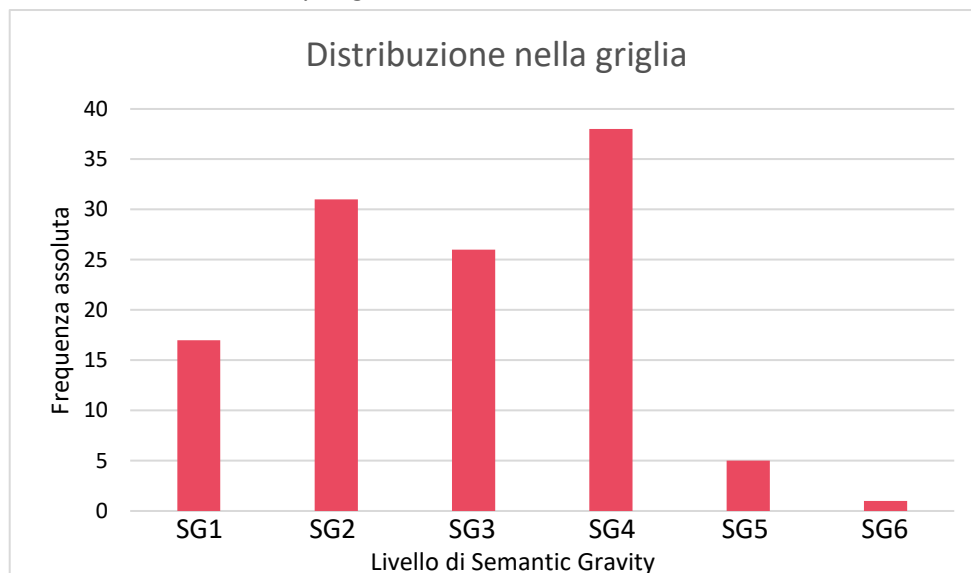


FIGURA 3: DISTRIBUZIONE DEGLI ESERCIZI NEI 6 LIVELLI DI SEMANTIC GRAVITY.

Dal grafico si osserva come la prima sezione, dedicata agli esercizi introduttivi, presenti una gran quantità di esercizi totalmente astratti (SG1); delle successive quattro sezioni, legate ciascuna ad uno dei quattro segmenti in cui è strutturato il capitolo nella sua parte teorica, le prime tre risultano abbastanza omogenee nella composizione, mentre la quarta, dedicata al rotolamento, presenta una forte anomalia, in quanto composta unicamente da esercizi di livello SG2. La sezione dedicata agli esercizi di riepilogo contiene in prevalenza esercizi di tipo SG4 e l'unico esercizio di livello SG6, mentre la verifica del capitolo è formata da 3 esercizi di livello SG2 e uno di livello SG4. Una possibile spiegazione dell'anomalia potrebbe essere che, poiché la sezione dedicata al rotolamento si posiziona al termine del capitolo, gli esercizi contengano riferimenti ad altri concetti ed equazioni provenienti dal resto del capitolo, complicando così gli esercizi.

Si può supporre che gli autori del libro di testo potrebbero aver preferito mantenere più astratto il contesto degli esercizi per non complicare ulteriormente il livello di difficoltà. Questa ipotesi è supportata da un'ulteriore analisi, riportata in Figura 5. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, che classifica gli esercizi in base all'etichetta assegnata dagli autori del manuale.

Si osserva che la sezione dedicata al rotolamento presenta, rispetto alle altre sezioni, una percentuale significativamente più alta di esercizi etichettati come "Ora prova tu". In genere, questa etichetta viene attribuita a esercizi che seguono un esempio svolto (o un esercizio "A passi", come avviene nel caso del rotolamento) e che ne riprendono la struttura risolutiva, con l'obiettivo di consolidare il nuovo approccio alla risoluzione dei problemi.

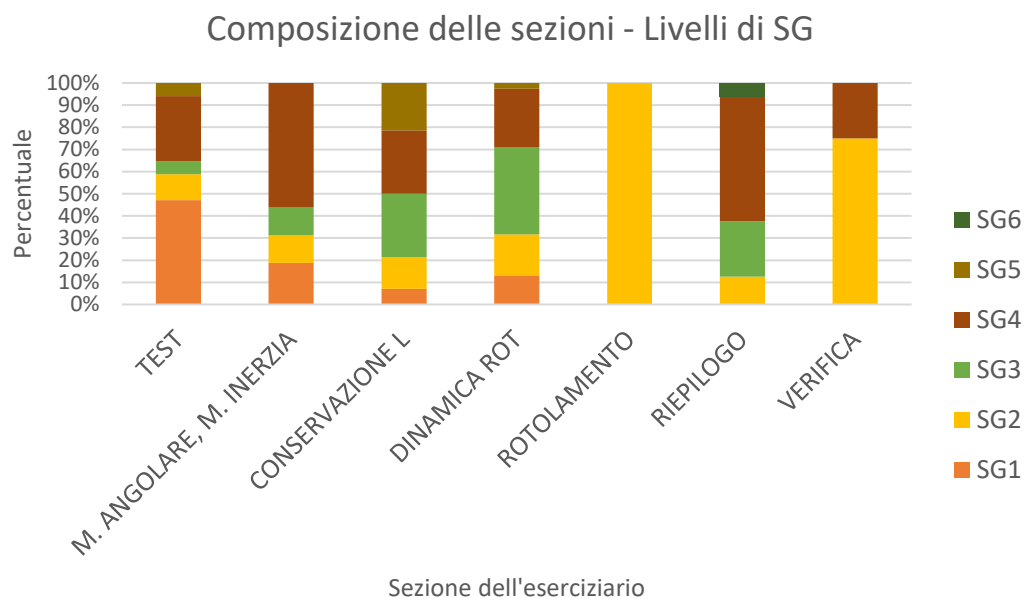


FIGURA 4: COMPOSIZIONE PERCENTUALE DI CIASCUNA DELLE 7 SEZIONI DELL'ESERCIZIARIO, IN TERMINI DI SEMANTIC GRAVITY.

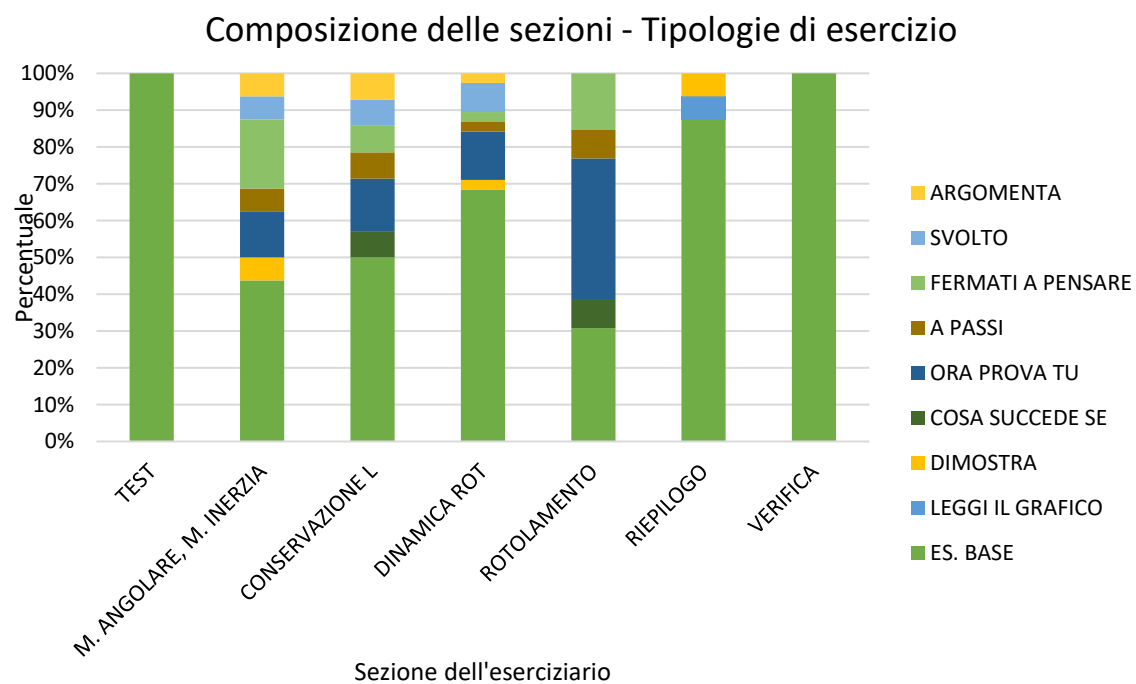


FIGURA 5: COMPOSIZIONE PERCENTUALE DI CIASCUNA DELLE 7 SEZIONI DELL'ESERCIZIARIO, IN TERMINI DI TIPOLOGIA DI ESERCIZIO.

2.3.9 Uso di oggetti ed esperienze concreti nel corso delle lezioni

Con l'obiettivo di mettere in evidenza come i concetti fisici astratti nascano da intuizioni legate all'esperienza quotidiana e ne costituiscano una descrizione rigorosa, durante il corso delle lezioni è stato fatto ampio uso di oggetti concreti. Questi sono stati utilizzati in vari momenti per avviare la discussione e per convincere le studentesse della ragionevolezza e della necessità di introdurre strumenti matematici anche complessi, come il prodotto vettoriale, che altrimenti sarebbero potuti apparire controintuitivi.

Le attività hanno previsto anche una partecipazione diretta delle studentesse, coinvolte in osservazioni guidate svolte in modo informale: ad esempio, percepire qualitativamente i diversi momenti di inerzia di una borraccia rispetto a differenti assi di rotazione; far scendere simultaneamente da una rampa due cilindri cavi di carta di uguale massa, ma di raggio diverso, per osservare il contributo del momento d'inerzia all'energia rotazionale; studiare il moto di rotolamento, lo slittamento e lo strisciamento muovendo lungo il banco un orologio di forma circolare e toccandolo per avvertire le diverse velocità nei vari punti, osservando in particolare che il punto di contatto con il banco è istantaneamente fermo; o ancora, spingere porte e finestre in punti diversi e con differenti direzioni per comprendere le caratteristiche del momento della forza.

2.3.10 Uso della valutazione in senso formativo

Durante il corso delle lezioni è avvenuta la riconsegna delle verifiche del modulo precedente. Il confronto tra quanto emerso dalla verifica scritta e le osservazioni compiute durante le attività in classe ha evidenziato una discrepanza significativa nella competenza argomentativa delle studentesse. In particolare, dalle correzioni è risultato come la capacità di costruire un discorso coerente fosse complessivamente debole: come visibile in Figura 6, per quell'obiettivo specifico sette studentesse su nove si trovavano al livello "Non Ancora Raggiunto", mentre le altre due si

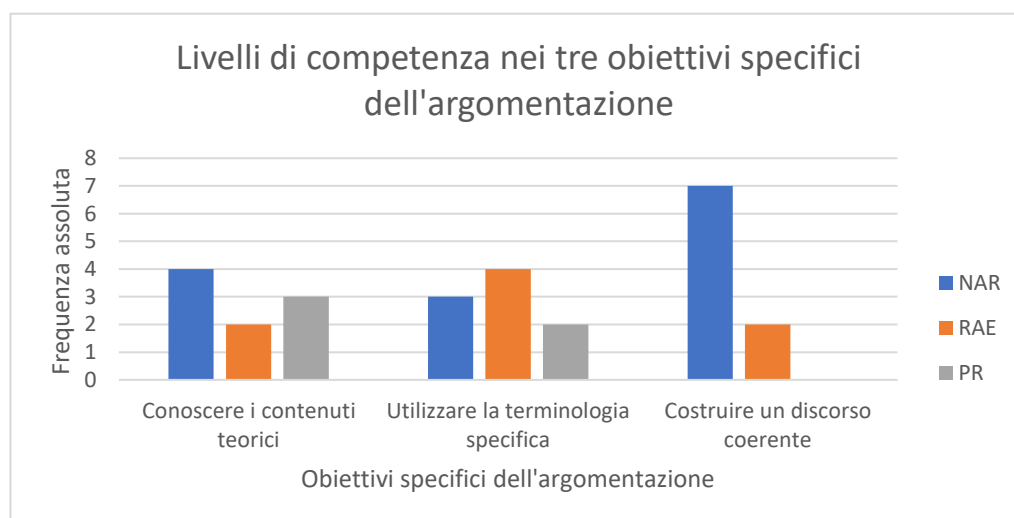


FIGURA 6: LIVELLI DI COMPETENZA PER I TRE OBIETTIVI SPECIFICI DELL'ARGOMENTAZIONE, RAGGIUNTI NELLA VERIFICA DEL MODULO PRECEDENTE A QUELLO SVOLTO DURANTE IL TIROCINIO.

attestavano al livello intermedio (“Raggiunto negli Aspetti Essenziali”), e nessuna presentava piena padronanza della competenza (livello “Pienamente Raggiunto”).

Quanto rilevato dalla verifica contrastava con quanto avveniva in aula nel contesto delle lezioni, durante le quali le studentesse erano in grado, seppur a livelli diversi, di argomentare i propri ragionamenti in una discussione coerente. La difficoltà sembrava quindi legata non tanto ad una mancanza di padronanza della competenza in sé, quanto al non sapere come strutturare un’argomentazione efficace in forma scritta in Fisica. Si è deciso di intervenire su due piani. In primo luogo, è stato reso esplicito il motivo per cui tale competenza viene richiesta, chiarendo che la Fisica non consiste unicamente nell’esecuzione di calcoli per ottenere un risultato numerico al termine dell’esercizio, quanto invece rivesta un ruolo importante saper convincere la comunità scientifica della solidità delle proprie argomentazioni. A questo scopo è stato mostrato, senza entrarne nel merito disciplinare, un articolo di ricerca in Fisica nucleare, ponendo l’attenzione sulla limitata quantità di equazioni e la totale assenza di calcoli. Il focus degli autori di tale articolo era posto nell’inquadramento del problema, nello spiegare le metodologie adottate e nel mostrare la rilevanza dei risultati ottenuti. In un secondo momento sono stati presentati alla classe due esercizi svolti, di livello analogo ad altri già affrontati in precedenza, evidenziando come l’utilizzo di ogni equazione fosse motivato da un ragionamento espresso a parole, come tutte le grandezze venissero definite prima di essere associate a un simbolo, come l’obiettivo dei passaggi algebrici fosse reso esplicito e come il risultato finale venisse interpretato e restituito in forma discorsiva.

2.3.11 Struttura della prova scritta proposta al termine del percorso didattico

La verifica al termine del modulo è stata strutturata in continuità con le prove somministrate in precedenza dal docente. La prova è composta da due esercizi da svolgere individualmente ed è stata progettata per una durata complessiva di due ore. La prova di tre studentesse è stata semplificata, secondo quanto richiesto dal loro Piano Didattico Personalizzato. In Appendice C sono presenti entrambe le versioni della prova. La semplificazione delle prove è consistita in una aggiunta di alcune domande intermedie, che permettessero una riduzione del carico cognitivo aiutando a sviluppare il ragionamento.

Il primo esercizio riguarda la rotazione di una bottiglia di cui è noto il momento d’inerzia. Assegnata l’accelerazione angolare che si intende imprimere al corpo, viene richiesto di determinarne il modulo, la direzione e il verso del momento della forza agente, nonché il modulo della forza da applicare a una data distanza dall’asse di rotazione per ottenere tale momento. La risoluzione dell’esercizio richiede l’applicazione della seconda legge di Newton nel caso rotazionale, l’uso della regola della mano destra e la definizione di momento della forza come prodotto vettoriale tra forza e braccio.

Il secondo esercizio descrive la caduta di una lattina da uno scaffale di un supermercato e il suo successivo moto di rotolamento sul pavimento; viene chiesto se un anziano signore riesca a raggiungerla per recuperarla. Per rispondere al quesito è necessario modellizzare la lattina come un cilindro pieno, associarle il corretto momento d’inerzia e imporre la conservazione dell’energia meccanica totale, insieme alla condizione di rotolamento puro una volta che la lattina è a contatto

con il suolo. Questo consente di determinare la velocità di traslazione della lattina, che può essere confrontata con la velocità dell'anziano.

Gli esercizi della prova sono stati progettati in modo tale che il modello fisico da adottare non fosse esplicitato direttamente nel testo, ma dovesse essere individuato dallo studente a partire dalle grandezze fornite e da quelle richieste. In termini di Semantic Gravity, gli esercizi si collocano pertanto al livello 5.

Al termine della prova, le verifiche sono state raccolte dal docente, che ha provveduto alla correzione in modo autonomo. A causa della sovrapposizione di attività didattiche non ordinarie alle ore di Fisica, non è stato possibile restituire e discutere le prove in presenza con la classe.

Carattere formativo della prova

Come affermato nella sezione 1.2, la natura formativa o sommativa di una prova non è una proprietà intrinseca allo strumento valutativo, ma dipende dall'uso che viene fatto delle informazioni raccolte. Nel contesto della scuola senza voto, l'obiettivo dichiarato è quello di lasciare un più ampio spazio alla valutazione formativa, limitandosi ad utilizzare un'ottica sommativa solo nei momenti di valutazione finale (come le pagelle). In tal senso, si intende concepire tutte le verifiche svolte durante l'Anno Scolastico come strumenti con funzione formativa, utili per lo sviluppo di competenze di lungo periodo.

Nel caso della verifica qui analizzata, tuttavia, gli esiti non sono stati restituiti alle studentesse né utilizzati nel breve termine, anche in ragione della conclusione dell'Anno Scolastico. In questo senso, la funzione formativa della prova non può essere considerata immediatamente attiva. Essa potrà assumere effettivamente tale carattere nella misura in cui il docente e le alunne terranno conto delle informazioni emerse in questa sede all'inizio dell'Anno Scolastico successivo, orientando di conseguenza le scelte didattiche e i percorsi di apprendimento.

2.4 Raccolta dati nel corso del tirocinio

Nel corso del tirocinio, l'autore ha richiesto e ottenuto di poter accedere alle prove scritte di Fisica della CLOD, al fine di poter analizzare le correzioni del docente e utilizzarle per rispondere alla domanda di ricerca. Le analisi e i risultati verranno presentati nel capitolo 4 Analisi e discussione.

Al termine del tirocinio sono state svolte anche una serie di interviste a tutte le studentesse del progetto CLOD, al docente di Fisica e al responsabile interno del progetto. La preparazione dell'elenco delle domande ha seguito vari passaggi, seguendo le indicazioni del framework di Castillo-Montoya (2016).

Le interviste rivolte alle studentesse erano composte da 24 domande, un numero superiore a quello raccomandato nell'articolo di riferimento. Tuttavia, solo una parte delle domande risultava strettamente connessa agli aspetti oggetto di analisi, quali la chiarezza del feedback, la sua aderenza alla prova e alle competenze percepite da ciascuna studentessa e se e come viene adoperato per migliorare i propri livelli di padronanza delle competenze. Le restanti domande riguardavano altri elementi ritenuti necessari per comprendere e interpretare adeguatamente il

progetto nel suo complesso. In particolare, alle studentesse è stato chiesto di ripercorrere la propria storia scolastica e di esplicitare le motivazioni che le avevano condotte a partecipare al progetto CLOD, nonché di riflettere sulle relazioni con le docenti, i docenti e le compagne di classe, e sul proprio rapporto con la valutazione sommativa di fine anno e con la valutazione scolastica in generale.

L'intervista al docente di Fisica si è invece concentrata su quattro momenti chiave dell'attività didattica: la progettazione delle lezioni, la costruzione della griglia di valutazione, l'utilizzo di tale griglia nella fase di correzione delle prove e la formulazione del feedback agli studenti. Anche in questo caso l'intervista è risultata piuttosto estesa, poiché il docente ha fornito ulteriori informazioni relative alle motivazioni che lo hanno portato a partecipare al progetto e all'impatto che tale esperienza ha avuto sul suo modo di insegnare.

Infine, il docente responsabile del progetto è stato intervistato al fine di raccogliere informazioni relative alle motivazioni iniziali, allo sviluppo e alle caratteristiche generali del progetto stesso.

Poiché l'autore non aveva precedenti esperienze nella conduzione di interviste, dopo la selezione delle domande ha svolto alcune interviste di prova con amici e parenti, con l'obiettivo di acquisire maggiore familiarità con lo strumento e di affinare l'ordine delle domande e la terminologia utilizzata.

Tutte le interviste sono state registrate in formato audio. A tal proposito, si precisa che tutte le persone maggiorenni coinvolte hanno firmato una liberatoria, mentre per le studentesse di età inferiore ai 18 anni è stato richiesto il consenso informato di entrambi i genitori o dei tutori legali. La durata di ciascuna intervista è stata compresa tra i 45 e i 90 minuti. Tutti i file audio sono stati successivamente trascritti; alle studentesse è stato attribuito uno pseudonimo, mentre le interviste dei docenti sono state rese anonime.

3 Costruzione delle lenti di analisi della valutazione e delle prove secondo alcuni modelli scelti dalla letteratura di ricerca

Prima di procedere con lo sviluppo del capitolo, viene ripresa brevemente la domanda di ricerca, presentata al termine del primo capitolo.

Considerando quanto emerso, appare chiaro che una difficoltà comune a questi diversi progetti sia la qualità comunicativa della valutazione, che quando è carente rischia di danneggiare il percorso didattico delle studentesse e degli studenti e vanificare gli sforzi delle e dei docenti che provano a svolgere questa pratica.

L'autore si pone allora come obiettivo quello di analizzare i feedback prodotti dal docente di Fisica nel corso del tirocinio tramite lenti provenienti dalla ricerca docimologica e dalla Didattica della Fisica, cercando di comprendere come le problematiche evidenziate nella letteratura di ricerca si istanzino anche nell'ambito di un'esperienza di insegnamento della Fisica senza voto, ed eventualmente provando ad avanzare alcuni suggerimenti di miglioramento in base alle analisi svolte. Per rispondere alla domanda di ricerca, l'analisi si svilupperà su due distinti materiali di indagine.

Nell'arco di questo capitolo verranno presentate alcune teorie di natura operativa, a partire dalle quali verranno costruite delle griglie di analisi. Tramite queste lenti, nel capitolo seguente verranno poi analizzate e discusse le verifiche scritte svolte al termine del tirocinio.

Nelle prossime sezioni (3.1, 3.2, 3.3) verranno presentati alcuni framework teorici di origine docimologica utili per analizzare direttamente alcuni aspetti del feedback, con l'obiettivo di

comprendere in che misura questo risulti coerente con le indicazioni presenti nella letteratura di riferimento.

Verranno poi successivamente ripresi altri framework (3.5, 3.6, 3.7), stavolta provenienti dalla Didattica della Fisica, che serviranno ad analizzare e classificare direttamente lo svolgimento del compito e la natura degli errori commessi dalle studentesse, allo scopo di osservare in che modo il feedback è stato in grado di fotografare questi aspetti.

Per quanto riguarda le interviste, queste verranno utilizzate nel corso del prossimo capitolo per confrontare i dati raccolti dall'analisi delle verifiche con le opinioni delle studentesse.

3.1 Modello dei quattro livelli di feedback

Un modello per il feedback molto popolare è quello proposto da Hattie e Timperley (2007). Secondo gli autori, il feedback può operare su quattro livelli: del compito, dei processi, dell'autoregolazione e del sé. Prima di introdurli è bene chiarire che questa classificazione non è prescrittiva, ma descrittiva, e che le indicazioni docimologiche riguardo all'uso di questi livelli verranno riportate in seguito alla loro descrizione.

Il *feedback al livello del compito* è finalizzato a fornire un riscontro di tipo oggettivo sull'esecuzione, ad esempio indicando se una risposta è corretta o errata. Fornire questo tipo di informazioni alla studentessa o allo studente le/gli permette di acquisire informazioni ulteriori o alternative rispetto a quelle già possedute e contribuisce allo sviluppo di una conoscenza, pur superficiale, del contenuto. Questo tipo di feedback è spesso definito feedback correttivo o conoscenza dei risultati ed è generalmente caratterizzato da un'elevata specificità e da una limitata generalizzabilità. Esempi di questo tipo di feedback includono l'indicazione di risposte corrette o errate, la richiesta di fornire ulteriori risposte o risposte alternative, l'aggiunta di informazioni o la riformulazione della consegna per favorirne una migliore comprensione. Pur non promuovendo direttamente processi di elaborazione profonda, questo tipo di feedback riveste un ruolo essenziale, in quanto fornisce le basi informative necessarie su cui possono successivamente svilupparsi processi di elaborazione e di autoregolazione più complessi.

Il *feedback al livello dei processi* fornisce informazioni riguardanti i processi cognitivi messi in atto per realizzare un prodotto o svolgere un compito. Esso fornisce indicazioni sulle modalità di elaborazione utilizzate e può suggerire strategie alternative più efficaci, contribuendo alla riduzione del carico cognitivo. Questo tipo di feedback sostiene lo sviluppo di strategie di apprendimento e di individuazione degli errori, così come il riconoscimento di collegamenti tra idee. A differenza del feedback al livello del compito, il feedback al livello dei processi non si limita a fornire un riscontro sull'esito della prestazione, ma interviene sui meccanismi che la sottendono, promuovendo forme di apprendimento più profondo e maggiormente trasferibile. I due livelli sono comunque connessi: il feedback al livello del compito, pur agendo principalmente sull'esito della prestazione, contribuisce a incrementare la sicurezza e l'autoefficacia di chi apprende, atteggiamenti che a loro volta costituiscono risorse fondamentali per la ricerca di strategie e informazioni nuove e più efficaci. (Hattie, 2016)

Il terzo *livello*, detto *dell'autoregolazione*, aiuta la studentessa o lo studente ad automonitorare il modo in cui sta imparando, promuovendo una presa di responsabilità e di controllo attivo del proprio apprendimento. Ad esempio, può contribuire a migliorare le capacità di autovalutazione, far sentire più sicuri nello svolgimento del compito, sviluppare consapevolezza e autonomia nell'apprendimento e incoraggiare la ricerca e l'accettazione del feedback stesso. Il feedback di autoregolazione si manifesta generalmente sottoforma di domande che invitano alla riflessione e alla verifica, per *“orientare la/il discente rispetto a «quando», «come» e «perché» scegliere e applicare conoscenze e strategie a livello di compito e di processi.”* (Hattie, 2016, p. 203)

L'ultimo *livello* di feedback è quello destinato al sé e viene spesso associato al concetto di lode. Un commento appartiene a questo livello quando viene riferito alla persona o al suo impegno, e risulta quindi poco informativo nei confronti del compito, dei processi e dell'autoregolazione. La letteratura risulta concorde nell'affermare che le lodi abbiano scarso effetto: ad esempio, Hattie (2016) riporta che Wilkinson (1980) ha osservato che un feedback senza lodi ($E.S. = 0.12$) ha un effetto maggiore sul rendimento rispetto ad un feedback che le contiene (0.34). Un effect size così basso è dovuto alla poca informatività di un feedback di questo tipo, al fatto che distrae l'attenzione dal feedback fornito agli altri livelli, e che se viene dato prematuramente o in maniera ingiustificata può confondere, diventando addirittura controproducente qualora chi impara non stia ancora padroneggiando l'apprendimento.

Una raccomandazione chiara è, quindi, di tenere separato il quarto livello di feedback dai primi tre. Inoltre, quest'ultimi formano una sorta di progressione, dal compito all'autoregolazione passando per i processi, e lo stesso percorso lo dovrebbero seguire l'insegnamento e l'apprendimento, sviluppando sempre più maggiore impegno e padronanza. In quest'ottica, il feedback più adeguato risulta essere per ciascuna studentessa o studente quello del livello di funzionamento presente o immediatamente superiore, in modo da corrispondere al punto raggiunto da ciascuna/o nel percorso di acquisizione della competenza. (Hattie, 2016)

A partire da questo modello è stata costruita una griglia di analisi per i feedback scritti presenti nella verifica (Tabella 5). Questi si manifestano non come un unico commento, ma sono diffusi all'interno della prova, vicino al punto in cui le informazioni commentate sono state raccolte. Ciascuno di questi feedback verrà classificato in base al suo contenuto.

Livello	Indicatore	Definizione operativa	Esempi
Compito	Riscontro sull'esecuzione	Segno o simbolo, singola parola o locuzione atti ad indicare se una risposta o una parte di essa è corretta, contiene errori o è incompleta	Cerchiature, sottolineature, parole come “corretto”, “bene”, “ok”, “errato”, “no”
	Informazioni aggiuntive o alternative	Informazioni aggiuntive o alternative che contribuiscono alla conoscenza del contenuto	“L'energia cinetica totale è $K_{tot}=K_{trasl}+K_{rot}$ ”, “Hai dimenticato K_{rot} ”

	Richiesta di fornire ulteriori risposte o risposte alternative	Domande che richiedono informazioni sulle grandezze fisiche presenti nell'esercizio	"quanto vale questa velocità?"
	Riformulare la consegna	Riformulazione di tutta o parte della consegna	"devi impostare la conservazione dell'energia meccanica totale, considerando anche il momento d'inerzia"
Processi	Informazioni riguardanti i processi cognitivi e indicazioni sulla modalità di elaborazione	Vengono messi in evidenza i ragionamenti compiuti nel corso dello svolgimento della prova	"Hai risolto il problema per tentativi", "hai utilizzato la condizione di rotolamento puro solo alla fine"
	Suggerimento di strategie alternative	Vengono presentati altri modi per svolgere uno stesso ragionamento	"Avresti potuto sostituire i numeri solo alla fine dei passaggi algebrici"
	Sviluppo di strategie di apprendimento	Proposta di nuove modalità di ragionamento, non considerate durante lo svolgimento della prova	"Prova a scomporre il problema in sotto-problemi più semplici"
	Individuazione di errori	Presentazione di strategie per evitare un certo tipo di errori	"Se avessi svolto una analisi dimensionale ti saresti accorto subito che avevi sbagliato qualche passaggio algebrico"
	Riconoscimento di connessioni tra idee	Viene evidenziata la similitudine tra un concetto non compreso e una situazione già nota	"L'energia meccanica dei corpi rigidi si conserva come per il caso puntiforme, ma l'energia cinetica contiene un termine di rotolamento"
Autoregolazione	Automonitoraggio e autovalutazione	Domande su «quando», «come» e «perché» scegliere e applicare conoscenze e strategie a livello di compito e di processi	"Come ti sei accorto che questa strategia non stava funzionando?"
	Invito a responsabilità, consapevolezza, autonomia, e controllo dell'apprendimento	Domande che invitano a prendere coscienza della propria condizione attuale e/o	"Visti gli errori che hai fatto, su quali tipologie di esercizi

		invitano a intervenire attivamente nel proprio apprendimento	potresti allenarti per la prossima prova?"
Sé	Lode o critica alla persona	Commento che ha come oggetto la persona che ha svolto il compito	"Sei davvero intelligente!", "Come hai fatto a sbagliare le tabelline?"

TABELLA 5: GRIGLIA DI ANALISI DEI LIVELLI DEL FEEDBACK

3.2 Informatività dei feedback

I feedback non veicolano tutti la stessa quantità di informazioni. A partire dalla classificazione proposta nella sezione precedente, Wisniewski e colleghi (2020) nella loro metanalisi utilizzano la seguente classificazione per organizzare i feedback in tre classi: *rinforzo/punizione*, *feedback correttivo* e *feedback ad alto tasso informativo*.

L'uso di *feedback di rinforzo o punizione* ha l'obiettivo, più o meno esplicito, di aumentare o diminuire la frequenza di una certa risposta o comportamento. Questo tipo di feedback è poco informativo a livello del compito e non offre alcun tipo di informazione ai livelli dei processi e dell'autoregolazione.

Le *forme correttive di feedback* veicolano informazioni a livello del compito, spesso nella forma di "giusto" oppure "sbagliato", cui viene di seguito fornita la risposta corretta attesa. Questo tipo di feedback non fa riferimento solo alla conoscenza del risultato corretto, ma anche alla prestazione, ossia come è stato ottenuto tale risultato.

Infine, un feedback può essere classificato come *ad alto tasso informativo* quando contiene sia le informazioni proprie del feedback correttivo, sia informazioni sull'autoregolazione, derivanti dal monitoraggio dell'insegnante dell'attenzione, delle emozioni o della motivazione durante il processo di apprendimento.

Anche in questo caso, la classificazione proposta ha permesso la costruzione della griglia seguente (Tabella 6). Partendo dalla classificazione in livelli della sezione 3.1, questa permette di ragionare sull'insieme di tutti i feedback presenti all'interno di una singola prova.

Livello di informatività	Descrizione	Definizione operativa
Rinforzo o punizione	Poco informativo a livello del compito, non offre informazioni a livello dei processi e dell'autoregolazione.	Contiene feedback solo a livello del compito o del sé
Correttivo	Non fa riferimento solo alla conoscenza del risultato corretto, ma anche alla prestazione, ossia come è stato ottenuto tale risultato.	Contiene feedback a livello del compito e dei processi
Ad alto tasso informativo	Contiene sia le informazioni proprie del feedback correttivo, sia informazioni sull'autoregolazione, derivanti dal monitoraggio dell'insegnante	Contiene feedback su compito, processi e autoregolazione

	dell'attenzione, delle emozioni o della motivazione durante il processo di apprendimento.	
--	---	--

TABELLA 6: GRIGLIA DI ANALISI DELL'INFORMATIVITÀ DEL FEEDBACK

3.3 Caratteristiche del feedback formativo

Anche Brookhart (2010) ha contribuito nel dare indicazioni per ottenere un feedback di qualità, prendendo in considerazione dieci dimensioni: *funzione descrittiva, focus, specificità, chiarezza, comparazione, individualità, comunicabilità scritta e orale, quantità di informazioni, tempistiche, toni e parole*. Le sue indicazioni, presentate di seguito, sono state riadattate da Ciani e colleghi (Ciani, Ferrari, & Vannini, 2020).

Una delle proprietà fondamentali del feedback è il suo carattere descrittivo, inteso come la capacità di esprimere ciò che è stato realizzato nel corso della prova, identificando e comunicando punti di forza e di debolezza. In quest'ottica, l'assegnazione di giudizi, premi o punizioni non è da considerarsi informativa.

Il feedback deve rimanere *focalizzato* sui primi tre livelli descritti nella sezione 3.1: del compito, dei processi e dell'autoregolazione. Per le motivazioni già espresse in precedenza, sono da evitare lodi, complimenti indirizzati alla persona e provocazioni. Sono sconsigliate anche le critiche quando non offrono informazioni su come migliorare. I commenti, in base al livello a cui si riferiscono, possono contenere informazioni sui punti di forza e di debolezza di una performance, ma anche commenti sui processi cognitivi che sono stati osservati e raccomandazioni su strategie di studio o lavoro che potrebbero aiutare a migliorare.

Il feedback fornito deve essere *specifico*, e fornire una guida, dando spunti di analisi a chi lo riceve, che devono essere sufficientemente specifici da poter compiere azioni concrete per il loro recupero. In particolare, è utile utilizzare i termini specifici della prova e aggettivi descrittivi della performance, facendo riferimento ad obiettivi di apprendimento e criteri di padronanza e qualità, così come anche descrivere strategie di apprendimento che potrebbero andare a vantaggio di chi apprende. È da evitare l'uso termini vaghi, come ad esempio i pronomi dimostrativi per descrivere la prova e fornire suggerimenti generici ("studia di più"). Allo stesso modo, è preferibile non segnalare e correggere ogni errore, per evitare sovraccarichi cognitivi e veicolare l'attenzione di volta in volta solo su quegli aspetti su cui si intende lavorare.

Devono emergere in modo *chiaro* i dettagli e i tratti distintivi del compito, dei processi e delle strategie adottate, utilizzando un lessico e una struttura della frase semplici e accessibili, in base allo sviluppo di chi riceve il feedback, e facendo emergere la possibilità di miglioramento e cambiamento. In tal senso, gli errori devono essere comunicati in modo assertivo e non giudicante, mai edulcorati. Dovrebbe comunque esserci un bilanciamento tra errori/punti deboli e aspetti positivi, che trova forma nel diffuso modello "a sandwich", dove sono stratificati gli aspetti positivi, quelli negativi e infine le strategie di miglioramento. È importante, infine, accertarsi che la studentessa o lo studente comprendano il feedback che ricevono.

Nel feedback necessita di una *comparazione* tra la prestazione svolta e i traguardi stabiliti all'inizio del percorso didattico, così come gli obiettivi e i criteri di padronanza e qualità. Solo questo confronto permette di posizionare la prova rispetto alle mete scelte, permettendo di orientare adeguatamente gli sforzi per raggiungerle. È considerato utile anche paragonare la prova alle precedenti, per rinforzare impegno e motivazione sui progressi, mentre il confronto con i pari deve essere evitato.

È preferibile esprimere un feedback *individuale*, per far percepire l'attenzione da parte dell'insegnante, con il quale contribuisce a rafforzare un dialogo incentrato sull'apprendimento, dando possibilità di ottenere feedback ad hoc. Un feedback che mostra l'andamento della classe, invece, può risultare efficace nel promuovere la dimensione collettiva dell'apprendimento, accennata nella sezione 1.3, e fornire una panoramica generale. Può anche risultare utile in quei rari casi in cui le performance risultano omogenee negli errori commessi.

Il feedback collettivo può essere espresso soprattutto in *forma* orale, mentre quello di natura individuale può avvenire sia in forma orale che scritta, e la loro copresenza è consigliata. Infatti, la forma orale, permettendo la costruzione di un dialogo, ha delle importanti implicazioni comunicative e relazionali, e può essere molto utile per quelle studentesse o studenti che non possiedono una buona capacità di lettura; la forma scritta, invece, permette a chi ha ricevuto il feedback di consultarlo più volte, anche successivamente. Il feedback può essere riportato all'interno della prova, con commenti specifici ai punti di forza e di debolezza del compito, aiutando a focalizzare l'attenzione sulle informazioni vicino al punto in cui sono state raccolte. In alternativa può essere riportato per completare una rubrica valutativa preparata e condivisa con la classe in precedenza.

Il feedback comunque non deve risultare troppo lungo, complesso e articolato: la *quantità di informazioni* deve essere assimilabile, e associata ad attività di recupero e miglioramento realisticamente attuabili, non eccessivamente numerose. Le indicazioni indicano come numero ideale due o tre punti di forza e altrettanti punti critici. Sia nel caso di prove che evidenzino grandi criticità, sia per quelle che ne presentino di entità minore, l'insegnante dovrebbe cercare di restituire feedback di lunghezza simile. Non è necessario segnalare ogni errore in modo evidente.

Per essere più efficace, il feedback formativo andrebbe restituito in *tempi brevi*: nell'arco della stessa lezione o nella lezione successiva, affinché chi ha sostenuto la prova abbia ancora a mente la propria performance, gli obiettivi di apprendimento e le strategie che ha utilizzato. Per essere formativa, in seguito alla prova dovrebbe anche esserci tempo per recuperare eventuali lacune, consolidare le conoscenze e migliorare gli apprendimenti.

Infine, le *parole* del feedback dovrebbero essere scelte con attenzione, e i toni ed atteggiamenti dovrebbero essere rispettosi, di supporto, non giudicanti, capaci di ispirare pensieri, dubbi e curiosità, e presumere che la studentessa o lo studente siano attivi e collaborativi. È importante che l'insegnante si mostri interessata/o alla performance della studentessa/studente, faccia domande e sia capace di condividere pensieri emersi durante la correzione.

Da una analisi delle verifiche non è possibile ottenere un riscontro su tutti questi aspetti: per esempio, la mancata consegna dei compiti corretti non ha permesso né di osservare le tempistiche di restituzione, né di lasciare del tempo alle studentesse per recuperare le lacune e consolidare le proprie conoscenze in tempi brevi. Sempre a causa del termine dell'anno scolastico, non è stato possibile osservare se le studentesse fossero in grado di comprendere il feedback presente.

Anche per quanto riguarda la comunicabilità, poiché tutti i feedback che sono stati analizzati sono in forma scritta, non è stato possibile analizzare la copresenza con un feedback orale e le caratteristiche di quest'ultimo. A causa di questa motivazione, la dimensione "Tempistiche" non sarà oggetto di analisi.

La dimensione del *focus*, che consiste nell'osservare che il focus aderisca ai primi tre livelli del feedback, invece, non verrà riportata nella griglia perché è già stata analizzata tramite le griglie proposte nelle sezioni precedenti.

Per le restanti otto dimensioni è stata costruita la seguente griglia di analisi (Tabella 7). Gli indicatori, raccolti e adattati a partire da quelli proposti nel manuale di Ciani e colleghi (2020), non vogliono essere esaustivi, ma permettono di disporre di alcuni riferimenti operativi utili all'analisi. La descrizione operativa di ciascun indicatore è stata prima ipotizzata e poi affinata confrontandola con le verifiche, in un processo iterativo. La griglia è stata costruita per essere usata nel modo seguente: viene ricercata la presenza o assenza di ciascun indicatore confrontandolo con i commenti presenti nella verifica di ciascuna studentessa. L'esito di questa ricerca può essere "positivo" quando viene trovato riscontro, "negativo" nel caso opposto, oppure "non rilevabile" se non sono presenti i riferimenti necessari per compiere la valutazione.

Caratteristica	Possibili indicatori	Descrizione operativa	Esempi
Descrivere la performance	Identifica punti di forza	Vengono descritti e commentati, a livello del compito o dei processi, almeno una parte o un aspetto della prova che sono stati svolti correttamente	"hai svolto tutti i calcoli correttamente", "hai individuato la giusta equazione da imporre", NON: "bene" (non permette di sapere cosa è stato fatto bene)
	Identifica punti di debolezza	Vengono descritti e commentati, a livello del compito o dei processi, almeno una parte o un aspetto della prova dove sono presenti criticità, oppure viene corretto almeno un errore	"non hai considerato il termine di energia rotazionale"; "unità di misura!" vicino a dove sono mancanti
	Non sono presenti giudizi, premi o punizioni	Non sono presenti giudizi che riguardino la prova o la persona, oppure premi o punizioni per il lavoro svolto	"Verifica eccellente", "Se continui così verrai bocciato"

Specificità	Usare termini specifici della prova	Nei commenti è presente almeno un termine specifico o un'equazione della dinamica rotazionale	"Hai individuato la condizione di rotolamento puro", "Non hai considerato il momento di inerzia"
	Esplicitare il nome dell'oggetto commentato senza usare pronomi dimostrativi	Quando si fa riferimento ad un aspetto o una parte del compito o a un concetto, a questi si fa riferimento con il termine che li definisce	NON: "Questo è sbagliato"
	Descrivere la performance in riferimento agli obiettivi di apprendimento e ai criteri padronanza e qualità	Viene citato almeno un obiettivo di apprendimento all'interno di un commento	"Sei riuscita ad utilizzare i termini specifici in modo pertinente"
	Non segnalare e correggere ogni errore non legato agli obiettivi di apprendimento	Gli errori non legati agli obiettivi di apprendimento vengono segnalati con un unico commento per tipologia	"ti è capitato più volte di assegnare le unità di misura sbagliate"
	Lasciare spunti di analisi e di riflessione o suggerimenti abbastanza specifici da poter compiere passi concreti di recupero	È presente almeno uno spunto di analisi, di riflessione o un suggerimento che faccia riferimento a parametri tangibili o comportamenti concreti utili per il recupero o il miglioramento	"Rileggiti quali condizioni sono necessarie per la conservazione dell'energia meccanica", NON: "studia di più"
Chiarezza	Usare vocaboli semplici	Ogni parola o locuzione presente nei commenti è stata contrassegnata nel dizionario (De Mauro, 2018) con una marca d'uso tra: "Fondamentale (FO)", "Alto uso (AU)", "Alta disponibilità (AD)" o "Comune (CO)"; oppure "Tecnico-specialistico (TS)" se si tratta di terminologia specifica in ambito fisico-matematico	"ti (FO) è (FO) capitato (FO) più volte (CO) di (FO) assegnare (AU) le (FO) unità di misura (TS) sbagliate (FO)"
	Usare struttura della frase semplice	Ciascun periodo contiene al più una subordinata o una coordinata, e non contiene più di 15 parole	"Hai individuato le equazioni e svolto i passaggi algebrici correttamente"
	Far emergere dettagli e tratti distintivi del compito, dei	Viene descritto o commentato almeno un aspetto o un dettaglio a	"Hai individuato la condizione di rotolamento puro";

	processi e delle strategie	livello del compito, dei processi o delle strategie	NON: “hai svolto bene l’esercizio”
	Far emergere possibilità di miglioramento e cambiamento	In almeno un commento è presente un riferimento alla possibilità di migliorare nel futuro, o un cambiamento osservato rispetto al passato (in bene o in male)	“sei migliorato nella tua capacità di utilizzare dei termini specifici in quest’ultimo semestre”
	Bilanciamento tra punti deboli e punti di forza	Considerando tutti i feedback della verifica, il rapporto tra punti di forza e di debolezza non scende sotto 1:3 (o 3:1)	-
Comparazione	La comparazione avviene rispetto ai traguardi e agli obiettivi specifici	Viene citato almeno un obiettivo di apprendimento all’interno di un commento	“Hai impostato bene le equazioni. Per migliorare con le unità di misura esercitati con l’analisi dimensionale” → Sono due aspetti
	Non vengono fatti confronti con le compagne	Non sono presenti commenti che mettono a confronto un qualunque aspetto della prova con quanto è stato fatto dalle compagne di classe	“Sei l’unica che ha sbagliato i passaggi algebrici”
	La comparazione viene fatta rispetto alle prove precedenti	Almeno un aspetto della prova viene confrontato facendo riferimento, implicito o esplicito, a verifiche, interrogazioni, scambi precedenti	“sei migliorato nell’utilizzo dei termini specifici in quest’ultimo semestre”
Individualità	È individuale, ad hoc	In nessun commento sono presenti riferimenti allo svolgimento delle prove delle compagne, o della classe in generale	NON: “nessuna di voi ha capito la differenza tra accelerazione angolare e tangenziale”
Comunicabilità	La forma della valutazione scritta tiene conto delle studentesse con difficoltà nella lettura	I commenti vengono riportati in forma digitale alla studentessa con cecità e vengono scritti al computer o in stampatello se a penna per le studentesse con dislessia	-
Quantità di informazioni	Il feedback non è troppo lungo e articolato	Il feedback nella sua totalità non considera più di sei aspetti, comprensivi di punti di forza e punti critici	“Hai impostato bene le equazioni. Per migliorare con le unità di misura esercitati con l’analisi dimensionale” → Sono due aspetti

	Sono presenti indicazioni di miglioramento concrete, non eccessivamente numerose	Sono presenti tra uno e quattro spunti di analisi, di riflessione o suggerimenti che facciano riferimento a parametri tangibili o comportamenti concreti	“Rileggiti quali condizioni sono necessarie per la conservazione dell’energia meccanica”, NON: “studia di più”
	Non è necessario segnalare ogni errore in modo evidente.	Gli errori vengono segnalati con un unico commento per tipologia	“ti è capitato più volte di assegnare le unità di misura sbagliate”
Terminologia	Toni ed atteggiamenti sono rispettosi, di supporto, non giudicanti	Non sono presenti provocazioni, ironia, giudizi rivolti alla persona.	NON: “È un errore da prima media”
	Viene presupposto un atteggiamento attivo e collaborativo da parte di chi apprende	È presente almeno un commento che presuppone un impegno e collaborazione da parte di chi apprende	“Prova a riguardare la differenza tra accelerazione tangenziale e centripeta, se hai dubbi ci ragioniamo assieme”
	L’insegnante si mostra interessata/o alla performance fa domande e condivide i pensieri emersi durante la correzione.	È presente almeno una domanda (non retorica), che ha l’intento di approfondire un qualche aspetto della prova	“come hai fatto a giungere a questa conclusione?”

TABELLA 7: GRIGLIA DI ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DEL FEEDBACK FORMATIVO

3.4 Tipologie di errore

Anche in Didattica della Fisica, le analisi possono essere svolte su più piani: ponendo l’attenzione a livello del compito, si può provare a classificare gli errori in base alla loro tipologia: infatti, secondo il National Research Council, *“per poter correggere degli errori, questi devono prima essere identificati”* (1997, p. 53). In tal senso ha operato Majidy (2024), che ha categorizzato gli errori incontrati dai docenti universitari in meccanica quantistica in quattro categorie, operate in base all’origine dell’errore.

- **Gap in knowledge:** si osserva quando un concetto viene compreso in maniera parziale o incompleta, lasciando appunto una lacuna;
- **Misconception⁵;**
- **Insufficient mathematical background:** avviene quando la studentessa o lo studente, non avendo sviluppato delle basi matematiche solide, fatica a sviluppare correttamente la propria intuizione e applicare concetti fisici;

- **Insufficient Quantum Physics background:** simile al caso matematico, questo tipo di errore si manifesta tipicamente quando le studentesse e gli studenti non possiedono solide basi dei concetti di argomenti precedenti, necessari per una piena comprensione dell'argomento e un corretto svolgimento degli esercizi.

La classificazione è stata tradotta e adattata al caso della dinamica rotazionale, e a partire da essa è stata svolta un'analisi preliminare per testarne l'efficacia e l'adeguatezza. A seguito di questa prima analisi è stato ritenuto opportuno aggiungere due ulteriori categorie che non erano presenti nell'articolo originale: si tratta di errori dovuti a mancata comprensione del testo, ed errori di trascrizione. La loro assenza è probabilmente dovuta al fatto che l'articolo si occupa di categorizzare gli errori a livello universitario, dove è più raro che errori di questo tipo possano emergere, e dal fatto che i compiti sono stati svolti anche da studentesse con dislessia e discalculia. Questo tipo di analisi è stata svolta analizzando lo svolgimento della prova di ciascuna studentessa, senza considerare le correzioni successive. Ciascun errore individuato è stato poi categorizzato secondo la griglia seguente (Tabella 8):

Tipologia	Descrizione	Esempio
P-prim	Errore causato da una concezione alternativa	Vengono applicati due momenti torcenti opposti, ma solo il più grande causa accelerazione angolare (Overcoming)
Lacuna	Errore dovuto ad una comprensione incompleta dell'argomento di dinamica rotazionale	Confondere momento della forza; dato nel calcolare l'energia cinetica di un corpo rigido, tralasciare il termine rotazionale
Background matematico insufficiente	Errore causato da basi matematiche non solide	Svolgere non correttamente un calcolo puramente numerico
Background fisico insufficiente	Errore in ambito fisico proveniente da argomenti precedenti	Calcolare una velocità in m/s a partire da una distanza misurata in km
Mancata comprensione del testo	Errore dovuto ad una comprensione del testo non sufficiente	Nel testo è presente il valore del momento d'inerzia di una bottiglia vuota, ma la studentessa sceglie di modellizzare autonomamente l'oggetto
Errore di trascrizione	Errore avvenuto durante la trascrizione di un dato o un'informazione	Dato un rapporto tra due numeri, il risultato trascritto dalla calcolatrice è 79 anziché 19

TABELLA 8: GRIGLIA DI ANALISI DELLE TIPOLOGIE DI ERRORE

3.5 Classificazione processuale degli errori

Altre analisi permettono di concentrarsi sul livello successivo, del processo. De Jong e Ferguson-Hessler (1996) hanno operato un'analisi per identificare i tipi di conoscenza che vengono impiegati nell'ambito del *problem solving* in Meccanica, identificandone quattro. A partire da questo lavoro di analisi, Gong e colleghi (2016) hanno associato ad ogni tipo di conoscenza classificato un tipo di errore, quando quest'ultimo viene compiuto in quell'ambito:

- **Situational mistakes**, legati alla *Situational knowledge*: errori che riguardano l'interpretazione del testo del problema, come l'identificazione scorretta (o mancata) di assunzioni, parametri rilevanti, grandezze note o incognite;
- **Conceptual mistakes**, riferiti alla *Conceptual knowledge*: si tratta di errori compiuti individuando o applicando principi, leggi o concetti fisici che governano la situazione problematica;
- **Procedural mistakes**, associati alla *Procedural knowledge*: errori nelle manipolazioni algebriche o aritmetiche, più in generale algoritmiche, mentre sta venendo sviluppata la soluzione;
- **Strategic mistakes**, legati alla *Strategic knowledge*: si presentano quando non è chiaro quando, dove e come applicare la conoscenza.

La classificazione è stata utilizzata per costruire la griglia di analisi presente in Tabella 9.

Errore	Descrizione	Esempio
Situazionale	Errore compiuto nell'interpretazione del testo dell'esercizio	Confondere il raggio di un cilindro con la distanza dal baricentro alla quale viene applicata una forza
Concettuale	Errore nella scrittura di un'equazione o di una unità di misura, o l'utilizzo scorretto di un termine	Scrivere un'equazione sbagliata; chiamare "inerzia" il momento d'inerzia
Procedurale	Errore compiuto durante la manipolazione algebrica, aritmetica o in generale algoritmica, mentre viene sviluppata la soluzione	Fare un errore di calcolo; inserire valori numerici in un'equazione senza prima trasformarli in unità di base del SI
Strategico	Errore nella scelta della strategia da attuare per risolvere un esercizio	Calcolare una quantità non utile alla risoluzione del problema

TABELLA 9: GRIGLIA DI ANALISI DELLA DIMENSIONE PROCESSUALE DEGLI ERRORI

3.6 Giochi epistemici

L'ultimo framework selezionato per l'analisi è quello dei giochi epistemici (*epistemic games*), proposto da Tuminaro e Redish (2007). Si tratta di una analisi di natura epistemologica che si svolge sempre a livello dei processi. Tuttavia, un feedback capace di rendere le studentesse e gli studenti coscienti di questo tipo di meccanismi di framing può innescare una metariflessione autonoma, capace di aiutarle/i sviluppare la loro autoregolazione.

Secondo il framework proposto, il *problema solving* degli esercizi può essere concepito come lo svolgimento di un gioco, inteso come una attività internamente coerente, che possiede delle componenti ontologiche (ad esempio le pedine e la scacchiera nel caso degli scacchi), e una struttura (un inizio, una fine e delle regole) che lo rende distinguibile da altre attività. L'aggettivo "epistemico" invece si riferisce al fatto che l'obiettivo del gioco è costruire nuova conoscenza, giungendo ad una soluzione.

Nel caso del gioco epistemico, le componenti ontologiche sono due: una base di conoscenza (ovvero, l'insieme di conoscenze che vengono attivate in base all'attività) e una forma epistemica, (ossia la forma dell'obiettivo che guida l'indagine; ad esempio, dei passaggi scritti, oppure la derivazione di un'equazione). Per quanto riguarda invece la struttura del gioco epistemico, questa possiede tre componenti: le condizioni di ingresso e di uscita, e le mosse.

Le condizioni di ingresso e di uscita descrivono l'inizio e la fine del gioco, e vengono determinate sia dal modo in cui le studentesse e gli studenti hanno categorizzato un dato esercizio, sia dalle loro concezioni preesistenti circa la natura della risoluzione dei problemi in Fisica (ad esempio, aver dovuto memorizzare delle equazioni). La scelta di queste condizioni determina il tipo di gioco epistemico a cui parteciperanno (la strategia che utilizzeranno) e quella che riterranno essere una risposta adeguata, per considerare il gioco come terminato.

Le mosse, invece, sono i passaggi o le procedure che avvengono nel corso del gioco. Le mosse possibili fanno parte di un insieme specifico, che cambia in base al gioco a cui si partecipa: risultano importanti tanto le mosse incluse quanto quelle escluse.

Tuminaro e Redish si sono occupati di analizzare lo svolgimento di esercizi da parte di studentesse e studenti universitari, riuscendo ad individuare sei tipi di giochi epistemici (potrebbero esserne altri);

- **Mapping Meaning to Mathematics:**

Tra i giochi individuati, è il più complesso a livello cognitivo; inizia con la comprensione concettuale della situazione Fisica e progredisce verso una soluzione quantitativa. Prevede cinque mosse base:

1. Sviluppare un racconto della situazione descritta;
2. Tradurre le quantità presentate in entità matematiche;
3. Legare tra loro queste entità in linea con il racconto;
4. Manipolare tra loro i simboli e
5. Valutare o interpretare l'esito in funzione del racconto.

È possibile che durante la mossa 1 emergano dei primitivi fenomenologici, perché durante la costruzione del racconto le studentesse e gli studenti fanno affidamento alla loro comprensione, non ai principi fisici fondamentali.

Per quanto riguarda le componenti ontologiche, La base di conoscenza è composta dall'insieme delle risorse matematiche e fisiche, che possono essere attivate in vari momenti del gioco. La forma epistemica, invece, tipicamente è costituita dalla lista di espressioni algebriche che sono state prodotte nel corso del gioco, che potrebbero andare di pari passo con l'interpretazione del racconto.

- **Mapping Mathematics to Meaning**

Condivide le stesse componenti ontologiche di *Mapping Meaning to Mathematics*, mentre cambiano le componenti strutturali. Nella forma, *Mapping Mathematics to Meaning* consiste nel costruire una narrazione e tradurla in forma matematica, in quattro mosse:

1. Identificare i concetti a cui mirare o le variabili da trovare;
2. Individuare un'equazione che lega questi concetti con altri;
3. Presentare il racconto facendo riferimento alle relazioni tra i vari concetti;
4. Valutare il racconto.

- **Physical Mechanism Game**

Questo gioco si fonda sull'idea di costruire una narrazione fisicamente coerente, basata sul senso fisico intuitivo; pertanto, la base di conoscenze è tipicamente un insieme di p-prims, e non si fa riferimento ad equazioni o principi fisici, che quindi non fanno parte della forma epistemica.

Le mosse che contraddistinguono questo gioco sono la prima e l'ultima presenti in Mapping Meaning to Mathematics:

1. Sviluppare un racconto della situazione descritta;
2. Valutare o interpretare l'esito in funzione della narrazione.

Tuttavia, il gioco si risolve senza l'uso di calcoli: la condizione di uscita consiste in una risposta non quantitativa.

- **Pictorial Analysis**

In questo gioco le studentesse e gli studenti producono una rappresentazione capace di specificare la relazione tra vari aspetti presenti nel testo di un problema, come un diagramma di corpo libero o la rappresentazione di un circuito, che può aiutarli nel direzionare l'indagine. La base di conoscenze comprende, oltre alle risorse fisiche e matematiche anche risorse legate alla trasposizione di informazioni in forma grafica, mentre la forma epistemica coincide con la rappresentazione stessa.

Le mosse possono presentarsi in modi molto diversi, in base al tipo di rappresentazione: per un diagramma di corpo libero il passo successivo è determinare quali forze vadano applicate, mentre nel caso della rappresentazione di un circuito vanno identificati i singoli elementi del circuito. Si possono comunque raggruppare in tre passaggi:

1. Determinare il concetto o la variabile che si vuole ottenere;
2. Scegliere il tipo di rappresentazione;
3. Sviluppare un racconto concettuale riferito alla situazione fisica, basato sulle relazioni spaziali tra gli oggetti;
4. Completare la rappresentazione con le informazioni mancanti.

- **Recursive Plug-and-Chug**

Questo gioco consiste nell'inserire grandezze nelle equazioni fisiche, con lo scopo di ottenere delle risposte numeriche, senza avere una comprensione concettuale delle implicazioni fisiche dei calcoli eseguiti e delle equazioni stesse.

La base di conoscenze in questo caso la conoscenza del senso di ciascuna equazione, ma solo una comprensione sintattica dei simboli presenti, senza necessariamente comprenderne il significato, mentre la forma epistemica è quella delle equazioni.

Nel caso di Recursive Plug-and-Chug le mosse non seguono un ordine lineare come nei giochi presentati in precedenza, ma consiste in una attività ricorsiva:

1. Individuare la variabile richiesta dall'esercizio, identificata dal simbolo corrispondente;
2. Trovare un'equazione capace di legare la variabile cercata ad altre grandezze, senza l'esigenza di giustificare la scelta di tale equazione;
3. Distinguere tra le variabili note e non note all'interno dell'equazione;

4. Se sono tutte note si può passare al calcolo della variabile cercata; se invece anche altre variabili non sono note, queste divengono il nuovo sotto-obiettivo, e la ricerca riparte dal punto 2.

- **Transliteration to Mathematics**

Questo gioco consiste nel traslitterare (ossia trascrivere, senza comprendere) il procedimento presente in un esempio svolto nel caso dell'esercizio che si desidera risolvere.

Anche in questo caso, come nel precedente, non viene adoperato il significato concettuale, quindi la base di conoscenze contiene solo le risorse legate alla sintassi delle equazioni. La forma epistemica consiste invece del pattern risolutivo dell'esempio a cui si fa riferimento.

Per quanto riguarda la struttura, le mosse tipiche di questo gioco sono:

1. Identificare la variabile da trovare;
2. Trovare un pattern di risoluzione simile a quello dell'esercizio affrontato;
3. Associare ciascuna quantità del problema già svolto con una del problema attuale;
4. Valutare la bontà delle associazioni compiute.

Può capitare che una studentessa o uno studente ritengano di avere trovato un pattern adeguato, anche se in realtà quest'ultimo non è idoneo.

Durante lo svolgimento di un esercizio o di un problema, le studentesse e gli studenti possono passare da un gioco all'altro nell'arco di pochi minuti nel tentativo di risolverlo. Riuscire a identificare quali giochi vengono praticati permette di osservare le aspettative tacite di ciascuna studentessa o studente riguardo come possa essere risolto un esercizio di Fisica; queste aspettative determinano il gioco ritenuto più adatto per risolvere un compito. A sua volta, la scelta del gioco delimita le risorse che verranno utilizzate nel corso del *problem-solving*. Tuttavia, una limitazione in sé è inevitabile, perché non è possibile prendere in considerazione ogni volta tutte le conoscenze possedute.

Per individuare gli *epistemic games*, gli autori hanno utilizzato registrazioni audio e video, progettando un set-up capace di favorire il lavoro di gruppo e le interazioni tra studentesse e studenti, comprensivo di lavagne tramite le quali ciascuna studentessa o studente poteva condividere con facilità i propri ragionamenti con gli altri membri del gruppo. Di tutte le ore di videoregistrazioni raccolte, solo una parte è stata selezionata, dove le studentesse e gli studenti si esprimevano maggiormente, ed è stata analizzata con un approccio semi-fenomenografico⁶.

Nell'ambito di questa tesi, questa struttura metodologica non è necessaria, in quanto l'obiettivo non è quello di individuare nuovamente possibili *epistemic games*, ma tentare piuttosto di categorizzare le strategie adoperate dalle studentesse per svolgere la verifica.

Prima di formulare un metodo per riconoscere gli *epistemic games* all'interno delle prove, è importante precisare che risulta impossibile identificare con certezza quali *e-games* siano stati giocati dalle studentesse: anche se fossero presenti e individuabili tutte le mosse e le forme epistemiche di un certo gioco, queste rappresenterebbero solo possibili indizi o tracce dei

⁶ La fenomenografia è una metodologia di ricerca qualitativa che si concentra nell'identificazione dei diversi modi in cui un certo fenomeno può essere percepito o vissuto (Marton & Booth, 1997); in questo caso, viene applicata ai diversi modi in cui le studentesse e gli studenti fanno esperienza del *problem solving* in fisica.

ragionamenti che la studentessa potrebbe avere compiuto. Potrebbero fare parte, ad esempio, di un altro *e-game* non individuato nell'articolo.

Tuttavia, non è necessario che la categorizzazione sia netta: anzi, la necessità di chiarire assieme a ciascuna studentessa le strategie adottate può essere lo spunto per spingerla a ragionare sulle stesse, rafforzando una presa di consapevolezza.

Ciascun *e-game* può essere *giocato per intero*, oppure *abbandonato*. Si considera giocato per intero quando tutte le mosse sono state giocate e hanno generato una qualche informazione. Questa informazione può essere giusta o sbagliata, e portare o meno alla risoluzione del problema. Nel caso in cui la sequenza di mosse non venisse portata a termine, l'*e-game* è stato abbandonato.

Per quanto riguarda le componenti ontologiche, la base di conoscenza è la stessa per tutti i giochi, e consiste in "un insieme di risorse fisiche e matematiche" (Tuminaro & Redish, 2007, p. 6); pertanto, provare a riconoscerla non aiuterebbe nell'individuazione del gioco. La forma epistemica permetterebbe di svolgere una prima scrematura: la *Pictorial analysis* richiede la presenza di un diagramma schematico o una rappresentazione, mentre equazioni fisiche ed espressioni matematiche sono proprie di tre giochi: *Mapping meaning to Mathematics*, *Mapping Mathematics to meaning* e *Recursive Chug-and-Plug*. Le equazioni potrebbero essere parte anche della forma epistemica di *Transliteration to Mathematics*, che si rifà in generale ad un pattern risolutivo di un esempio o di un esercizio risolto in precedenza; infine, il *Physical mechanism* esclude le equazioni, ma nell'articolo non ne viene descritta in maniera definita una forma epistemica. Tuttavia, sono le mosse il vero strumento che può permettere davvero di distinguere quale *e-game* sta venendo giocato. Purtroppo, non è detto che ogni mossa compiuta lasci traccia sul foglio: ad esempio, gli autori affermano che "l'interpretazione fisica (narrazione) che accompagna la serie di espressioni matematiche *potrebbe* essere presente in forma esplicita, dipendentemente dalle istruzioni di lasciare un commento scritto, e dalla percezione da parte di studenti e studentesse di quanta «spiegazione» sia richiesto loro di fornire" (Tuminaro & Redish, 2007, p. 6). Ai fini dell'analisi è necessario definire meglio il concetto di "traccia": viene considerata traccia un qualunque insieme di segni presenti sul foglio vicini tra loro (ad es. rappresentazioni, spiegazioni, equazioni, calcoli o una parte di essi) che contengano sufficienti informazioni da permettere di ipotizzare che sia stata giocata una qualche mossa appartenente ad almeno uno dei giochi epistemic. La traccia di una mossa si estende fino a dove i segni che la precedono e la seguono possono essere interpretati come facenti ancora parte della medesima mossa.

Esprese tutte queste considerazioni, l'analisi da svolgere procede secondo l'algoritmo seguente, rappresentato anche in Figura 7. Si parte dal riconoscimento di tracce che permettano di distinguere una prima mossa; si considerano gli *e-games* che comprendono tale mossa; si procede quindi alla ricerca di ulteriori tracce antecedenti o successive ad essa, che permettano di identificare eventuali mosse precedenti o successive, e che permettano eventualmente di scartare alcuni *e-games* che non le contengono.

A questo punto le possibilità si diramano: nel caso in cui tutte le mosse di almeno un *e-game* siano state individuate, se le mosse di tale gioco comprendono tutto il ragionamento presente sul foglio della verifica, si può avanzare un'ipotesi riguardo a quale *e-game* sia stato giocato per intero, e l'algoritmo termina. Se, invece, è stata tralasciata almeno una mossa, le possibilità sono

nuovamente due: potrebbe essere che l'*e-game* considerato non sia quello corretto, e che le mosse che lo compongono facciano parte di un gioco più ampio, che comprende anche la/e mossa/e finora scartata/e. In alternativa, la mossa che non era stata categorizzata potrebbe appartenere ad un gioco diverso; in tal caso, l'algoritmo riparte dall'inizio, a partire da quella stessa mossa.

Nell'ipotesi che, dopo l'analisi iniziale, non tutte le mosse di un gioco possano essere individuate, le possibilità sono molteplici: che il *game* sia stato giocato per intero, ma che alcune mosse non abbiano lasciato traccia; che il gioco sia stato abbandonato; che quel *game* non sia stato effettivamente giocato, e che la presenza della traccia individuata sia dovuta a spiegazioni alternative; che ci si trovi davanti ad una tipologia di *epistemic game* non categorizzata nell'articolo. Una volta considerati questi quattro casi, nel caso in cui non fossero presenti altre tracce di mosse, l'algoritmo termina; se invece è presente almeno un'altra traccia, l'algoritmo ricomincia a partire da essa.

Nella sezione 4.5 del prossimo capitolo, dedicata all'analisi delle verifiche tramite questa lente, viene mostrato un esempio di applicazione di questo algoritmo.

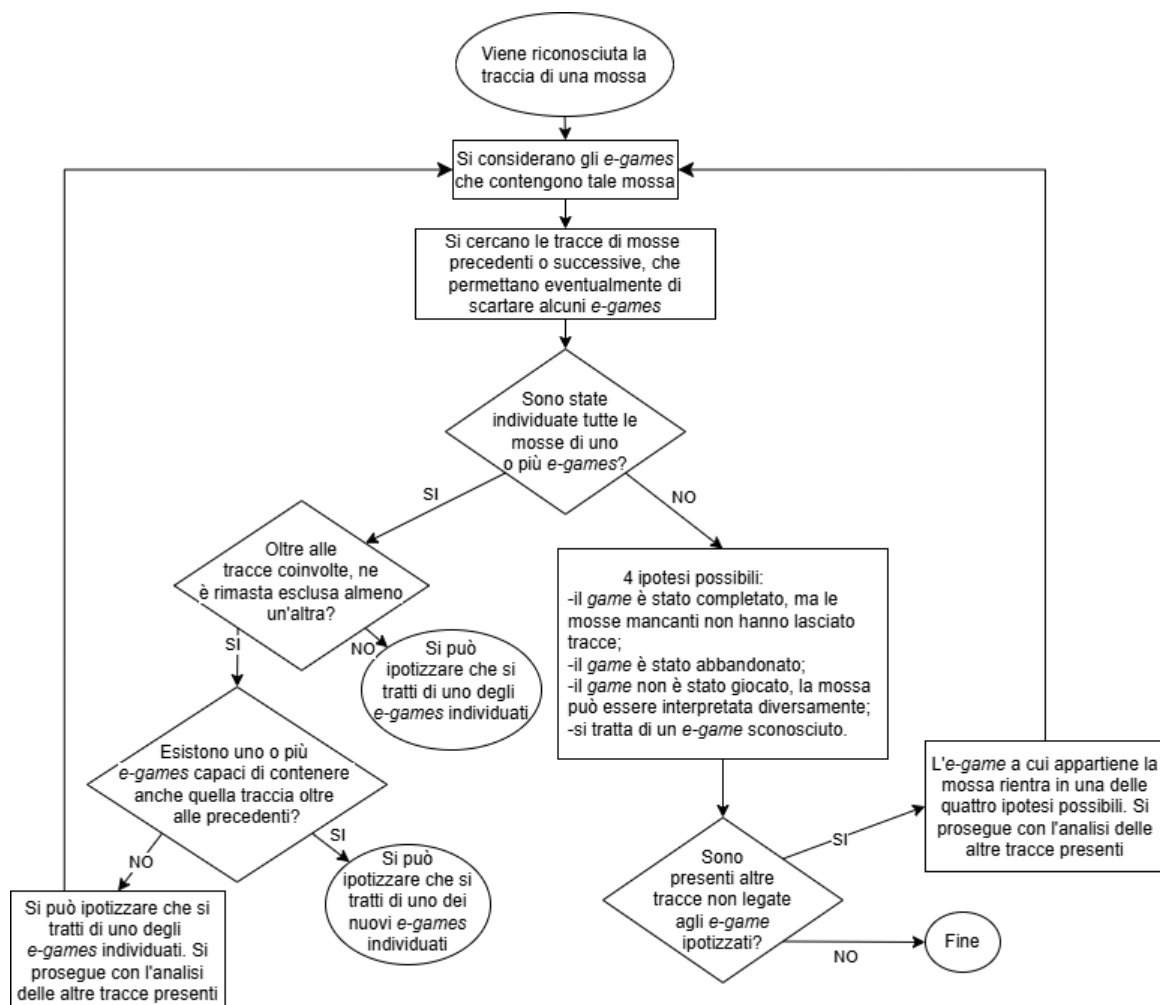


FIGURA 7: DIAGRAMMA DI FLUSSO PER L'ANALISI DEGLI *EPISTEMIC GAMES* PRESENTI NELLE VERIFICHE SCRITTE

4 Analisi e discussione

Nel corso di questo capitolo verranno analizzate le verifiche scritte svolte al termine del modulo di dinamica rotazionale. Di queste verranno analizzati prima i feedback, utilizzando le griglie costruite nelle sezioni 3.1, 3.2, e 3.3 del capitolo precedente. Si procederà poi con l'analisi dello svolgimento delle prove, utilizzando le lenti della Didattica della Fisica presentate nelle sezioni 3.4, 3.5 e 3.6, per osservare come i feedback siano stati capaci di mettere in luce questi aspetti. Il capitolo si concluderà confrontando i risultati emersi da queste analisi con le opinioni delle studentesse riguardo al modo in cui vengono valutate in Fisica.

Ciascuna prova è composta dal testo della verifica, dal foglio protocollo contenente lo svolgimento degli esercizi corretto, e dalla griglia di valutazione compilata dal docente, presente nell'Appendice A. I feedback presenti in queste verifiche non sono radunati in un unico commento, ma risultano invece diffusi nei fogli protocollo dove le studentesse hanno svolto gli esercizi della prova, vicini ai punti in cui sono presenti gli aspetti commentati.

Sono stati analizzati tutti i segni apposti dal docente presenti sui fogli protocollo, in qualunque forma fossero (testo scritto, numeri ed equazioni, sottolineature e cerchiature). I feedback risultano scritti unicamente in penna rossa. Nelle prove sono presenti talvolta cerchiature o sottolineature non accompagnate da commento; in altri punti, invece, sono presenti dei commenti che sono collegati al punto che discutono tramite una linea, senza l'aggiunta di ulteriori segni; altre volte ancora sono presenti entrambe le forme contemporaneamente (sottolineatura/cerchiatura + commento). Poiché queste due tipologie di feedback possono veicolare informazioni diverse e si possono trovare in maniera indipendente l'una dall'altra, sono state considerate separate ai fini dell'analisi. A partire da queste considerazioni, sono stati conteggiati 65 feedback diversi, distribuiti nelle nove verifiche.

4.1 Analisi dei livelli e dell'informatività del feedback

Procedendo con l'analisi del livello a cui si rivolgono i feedback (Figura 8), rispetto alla griglia presente nella sezione 3.1), emerge che il 94% di essi è rivolto al compito, mentre i feedback sono orientati al livello dei processi. Visto l'alto numero di feedback rivolti al compito, può essere interessante osservare quali indicatori hanno permesso di categorizzarli. In Figura 9 si osserva che i feedback a livello del processo sono perlopiù riscontri sull'esecuzione (76%), seguiti commenti che aggiungono informazioni o ne offrono di alternative (19%) e da richieste di fornire ulteriori risposte o fornirne di alternative (5%). Ancor più nel dettaglio, i riscontri sull'esecuzione più frequenti risultano essere il termine "OK" (presente 11 volte), le cerchiature di termini o quantità (9 volte), la parola "bene" (8 volte) e le sottolineature ondulate (6 volte). Assieme, queste forme costituiscono da sole oltre la metà dei feedback presenti nelle verifiche.

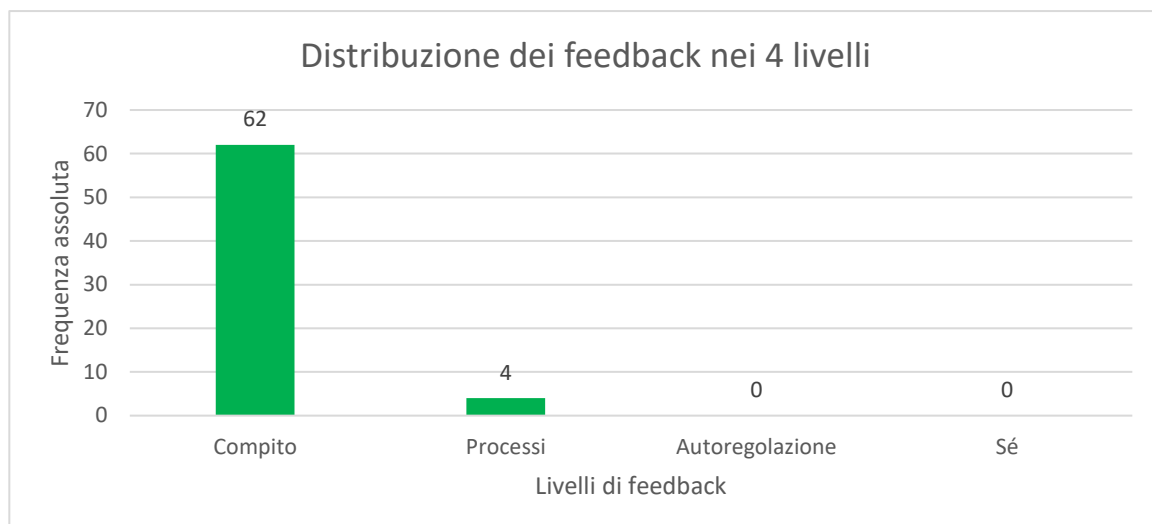


FIGURA 8: DISTRIBUZIONE DEI FEEDBACK PRESENTI NELLE VERIFICHE SCRITTE SECONDO LA CLASSIFICAZIONE NEI QUATTRO LIVELLI PROPOSTI DA HATTIE E TIMPERLEY (2007)

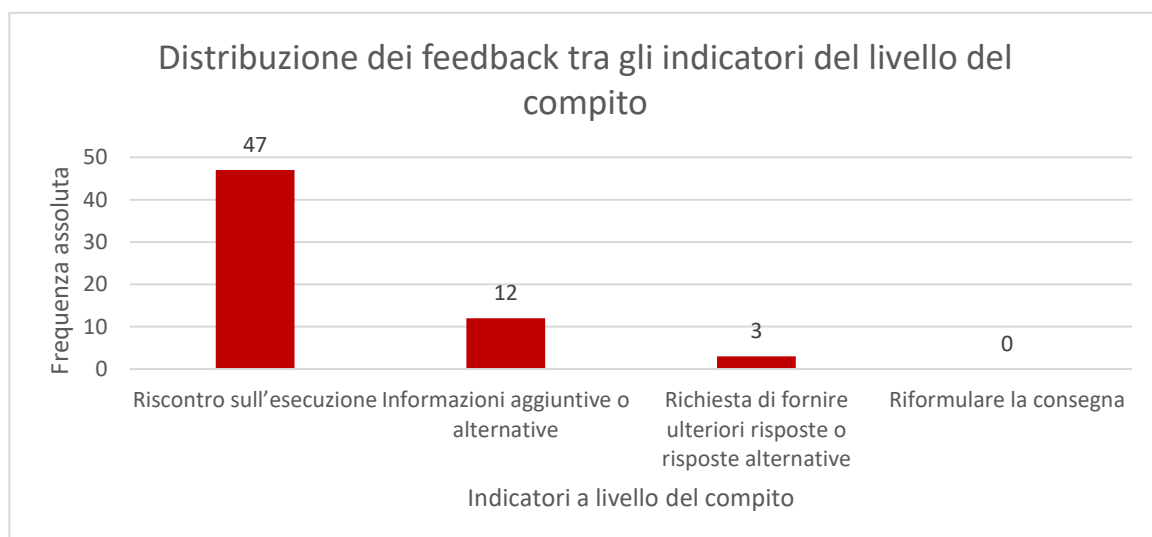


FIGURA 9: DISTRIBUZIONE DEI FEEDBACK A LIVELLO DEL COMPITO, IN BASE AGLI INDICATORI

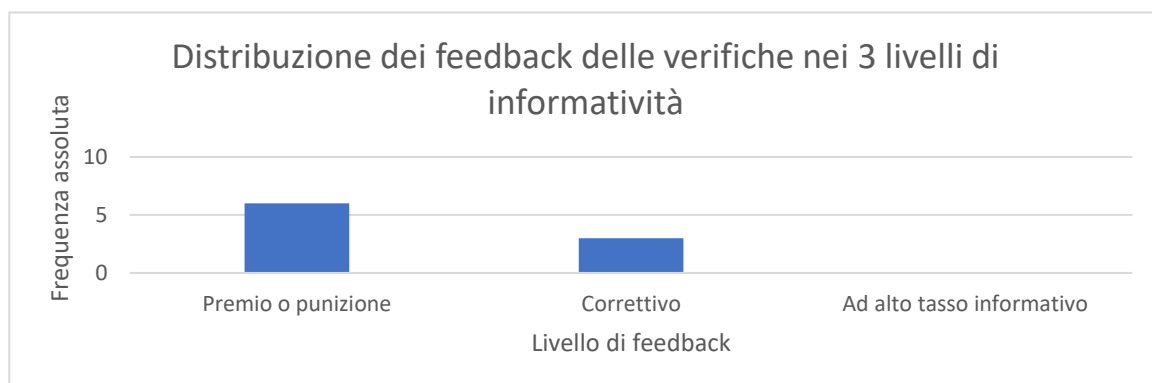


FIGURA 10: DISTRIBUZIONE DEI FEEDBACK DI CIASCUNA VERIFICA, SECONDO LA CLASSIFICAZIONE UTILIZZATA DA WISNIEWSKI E COLLEGHI (2020)

Invece, per quanto riguarda i feedback a livello del processo, si tratta di quattro commenti che invitano ad applicare delle strategie che non sono state applicate durante lo svolgimento della prova, in particolare la trasformazione di unità di misura in unità di base del S.I., e l'invito a imporre la conservazione dell'energia meccanica, e sono stati applicati in esercizi dove le studentesse non sono riuscite a portare a termine l'esercizio.

Considerando tutti i feedback presenti in ciascuna verifica nel loro insieme, questi possono essere suddivisi per informatività, secondo quanto proposto da Wisniewski e colleghi (2020) e riportato nella sezione 3.2. Su 9 verifiche considerate, 6 rientrano nella categoria "Rinforzo o punizione", mentre le rimanenti 3 presentano feedback anche a livello del processo (Figura 10).

Un aspetto certamente positivo che emerge da queste prime analisi è la totale assenza di feedback al livello del sé, in linea con le raccomandazioni presenti in letteratura. Per quanto riguarda l'altissima percentuale di feedback a livello del compito, come già anticipato nel capitolo precedente, questa distribuzione non è in assoluto problematica, in quanto il feedback deve essere adeguato al livello di funzionamento della studentessa che lo riceve, o quello immediatamente successivo. Tuttavia, emergono anche due aspetti critici: il primo è che segni (come sottolineature e cerchiature) e termini (come "OK" e "bene") possiedono una capacità informativa limitata, perché si limitano ad offrire un riscontro, senza aggiungere informazioni ulteriori o suggerimenti di miglioramento; e, soprattutto nel caso di commenti di natura positiva, non sempre risulta chiaro dal contesto se si riferiscano al risultato, allo svolgimento, alla scelta delle equazioni, o a tutti questi aspetti contemporaneamente. Il secondo aspetto critico riguarda i feedback a livello dei processi, che sono presenti solo in quegli esercizi che le studentesse non sono riuscite a completare, e che quindi risultano completamente assenti in quelle verifiche in cui gli esercizi sono stati risolti senza errori. Tuttavia, sono proprio le studentesse che hanno svolto correttamente la prova che dovrebbero recepire meglio un feedback di livello superiore.

4.2 Analisi delle caratteristiche del feedback formativo

Di seguito verranno analizzate le 8 dimensioni presentate nella sezione 3.3. Ogni dimensione viene rappresentata in un diagramma a colonne dedicato; in ascissa è presente un blocco di colonne per ciascun indicatore, e ciascuno di essi contiene tre colonne in base ai possibili esiti dell'analisi: l'indicatore può risultare presente nella prova, assente, oppure potrebbero non essersi verificate le condizioni necessarie per rilevarlo. L'altezza di ogni colonna rappresenta la frequenza di ciascuna categoria, fino ad un massimo di 9 (che corrisponde alla totalità delle verifiche).

4.2.1 Descrivere la performance

In nessuna verifica vengono esplicitati, descritti o commentati i punti di forza che emergono dalla prova. I punti di debolezza sono invece presenti ovunque tranne che in due verifiche, che sono state svolte correttamente; tuttavia, i punti deboli si manifestano solo nella forma di correzioni ad

errori, e mai come commenti o descrizioni più ampie e capaci di inquadrare l'errore e creare una sintesi (anche solo di un aspetto) della prova. Infine, come già rilevato nella sezione precedente, non sono presenti giudizi, premi, o punizioni. La frequenza degli indicatori è presente in Figura 11.

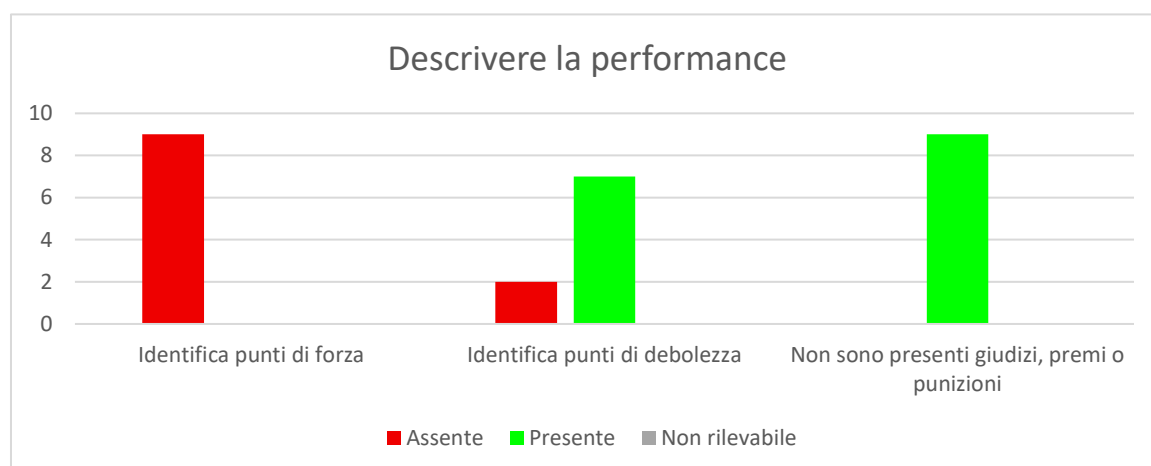


FIGURA 11: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA CAPACITÀ DI UN FEEDBACK DI DESCRIVERE LA PERFORMANCE

4.2.2 Specificità del feedback

Gli indicatori legati alla specificità del feedback sono resi in forma grafica in Figura 12. La scarsità di commenti e descrizioni della prova, osservata nella sottosezione precedente, si riflette in una più scarsa ricorrenza della terminologia specifica, presente nei feedback di sole quattro prove. Per lo stesso motivo, nonostante la presenza di soggetti sottintesi in due verifiche diverse mostri che il docente non manifesta attenzione nell'esplicitare il nome dell'ente che viene di volta in volta commentato, in sette verifiche questa caratteristica non viene rilevata. Di queste, in tre non sono presenti feedback che permettano un'analisi dell'indicatore. Le informazioni raccolte tramite i primi due indicatori sono quindi in parte inficiate dall'asciuttezza dei commenti.

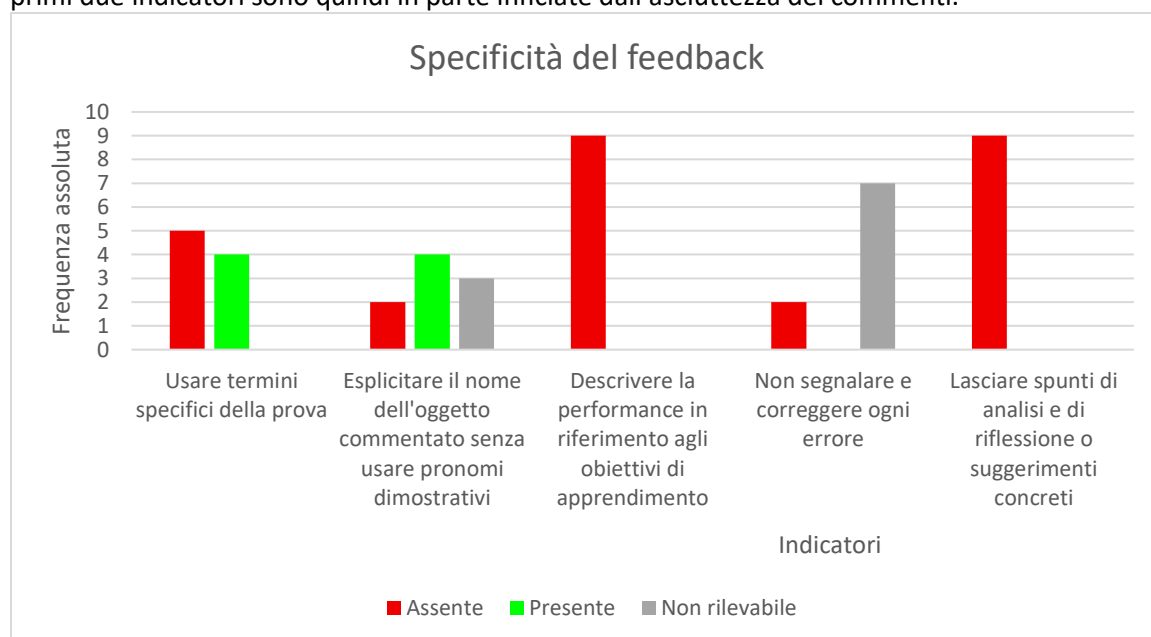


FIGURA 12: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA SPECIFICITÀ DEL FEEDBACK

Per quanto riguarda la descrizione della performance in riferimento agli obiettivi specifici di apprendimento, questo tipo di commento non è mai presente nelle prove, ma le informazioni che dovrebbe veicolare sono raccolte nella griglia associata alla prova.

L'indicatore che osserva se errori dello stesso tipo vengono raggruppati e commentati assieme non è stato rilevabile nei feedback di sette verifiche. Questo perché l'indicatore richiedeva che fossero presenti almeno due errori dello stesso tipo, non rilevanti secondo gli obiettivi specifici. In queste sette prove non erano presenti due errori che verificassero queste richieste. Nelle due verifiche rimanenti è stato possibile osservare che più errori dello stesso tipo, in entrambi i casi legati alle unità di misura, venivano segnalati e/o corretti separatamente. Infine, nelle prove non sono mai presenti spunti di analisi e di riflessione o suggerimenti concreti per il recupero.

4.2.3 Chiarezza del feedback

Il feedback risulta facilmente interpretabile per quanto riguarda la scelta dei vocaboli e la sintassi del periodo, in quanto fa uso di vocaboli di uso comune inseriti in periodi piuttosto brevi, e formati per lo più dalla sola proposizione principale, e come riscontrato nei primi due indicatori presenti in Figura 13.

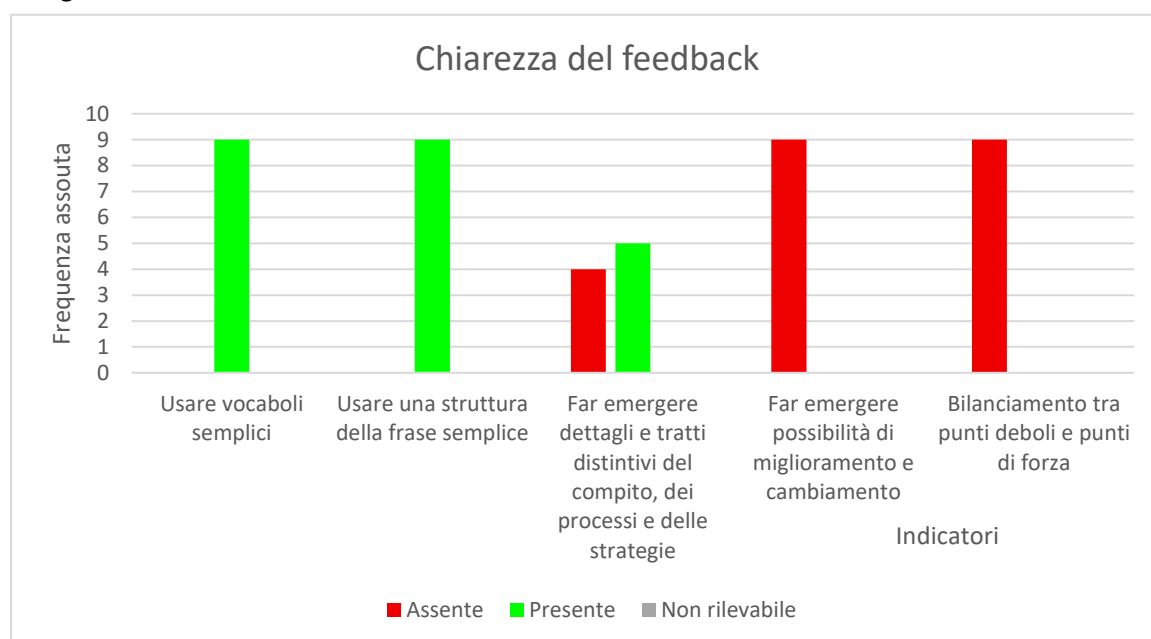


FIGURA 13: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA CHIAREZZA DEL FEEDBACK

Di contro, i feedback presenti non manifestano possibilità di cambiamento o di miglioramento, e inoltre non è possibile avere un bilanciamento tra punti di forza e punti deboli, perché non sono mai presenti punti di forza (come affermato nella sottosezione 4.2.1). Ancora una volta, la scarsità di commenti rende impossibile individuare almeno un commento o la descrizione di un aspetto o di un dettaglio della prova in ogni prova.

4.2.4 Feedback e comparazione

Per quanto riguarda la dimensione della comparazione, gli esiti dell'analisi sono presenti in Figura 14. Da essi si osserva che i feedback non contengono nessun riferimento alle prove delle altre studentesse, ma nemmeno a prove precedenti, né ai traguardi o agli obiettivi specifici, anche se quest'ultima informazione può essere ricavata dalla griglia di valutazione.

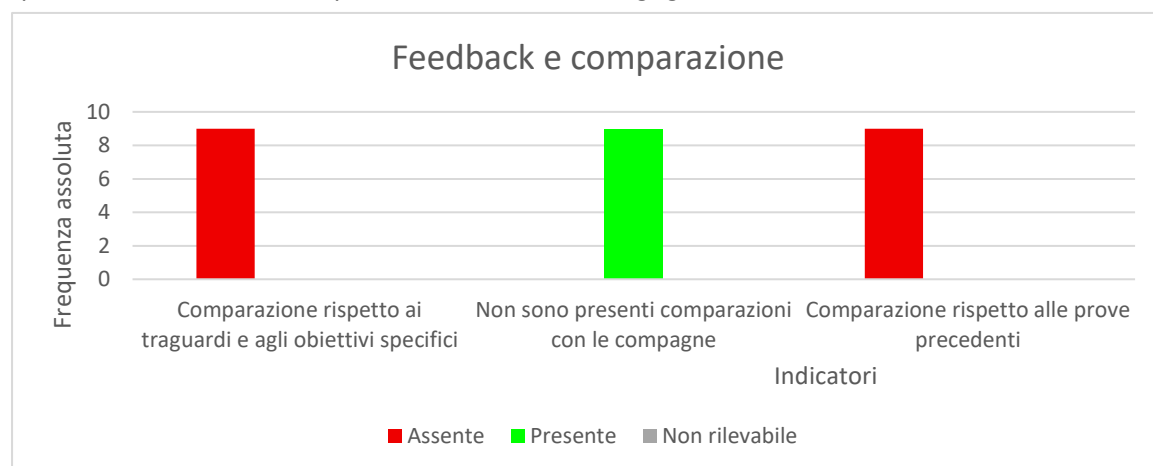


FIGURA 14: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA PRESENZA DI COMPARAZIONI NEL FEEDBACK

4.2.5 Individualità

Nessun feedback scritto è rivolto alla classe o a un gruppo di studentesse, né ci fa in alcun modo riferimento.

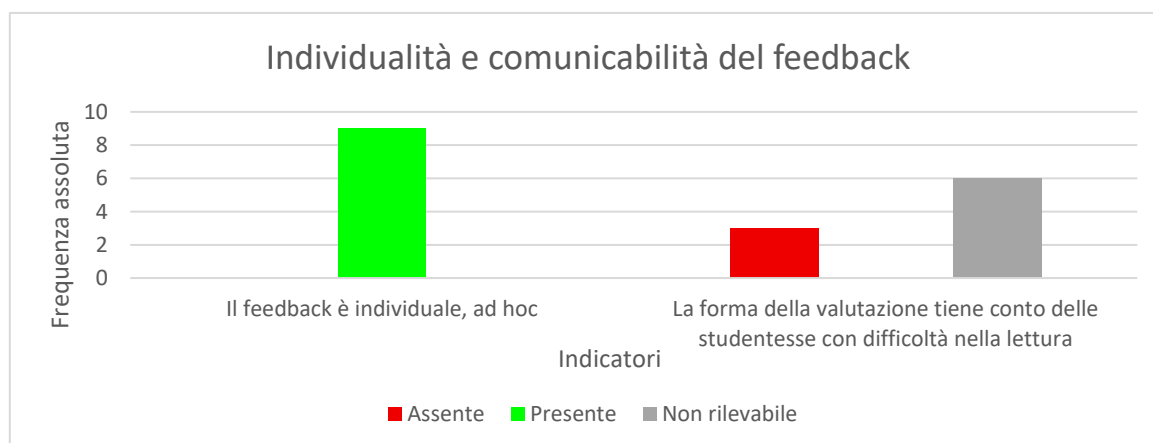


FIGURA 15: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI PER INDIVIDUALITÀ E COMUNICABILITÀ DEL FEEDBACK

4.2.6 Comunicabilità

Le prove delle studentesse con dislessia sono state corrette senza porre differenze nella grafia rispetto alle prove delle compagne: lo stile di scrittura risulta essere per tutte il corsivo. Anche la prova della studentessa cieca che è presente nell'archivio scolastico è stata stampata e corretta a mano. A tal proposito però, la studentessa nel corso dell'intervista ha affermato:

STUDENTESSA: "(...) il 95% delle volte, togliendo quelle piccole volte in cui a volte succede [che le vengano restituite verifiche in forma cartacea], me le correggono su Word, magari scrivendo

«questa cosa va bene»; (...); per esempio, a Fisica, accanto al calcolo, o al passaggio che ho fatto, dicono «ok», «l'hai risolto bene», «hai risposto correttamente», oppure, non so, «questa risposta è parziale, perché...», e poi mi spiegano perché, dove ho sbagliato, oppure «no, questa risposta non va bene», e poi sotto mi scrivono le correzioni, appunto, come sarebbe dovuto, cioè, come doveva essere svolta.»

4.2.7 Quantità di informazioni

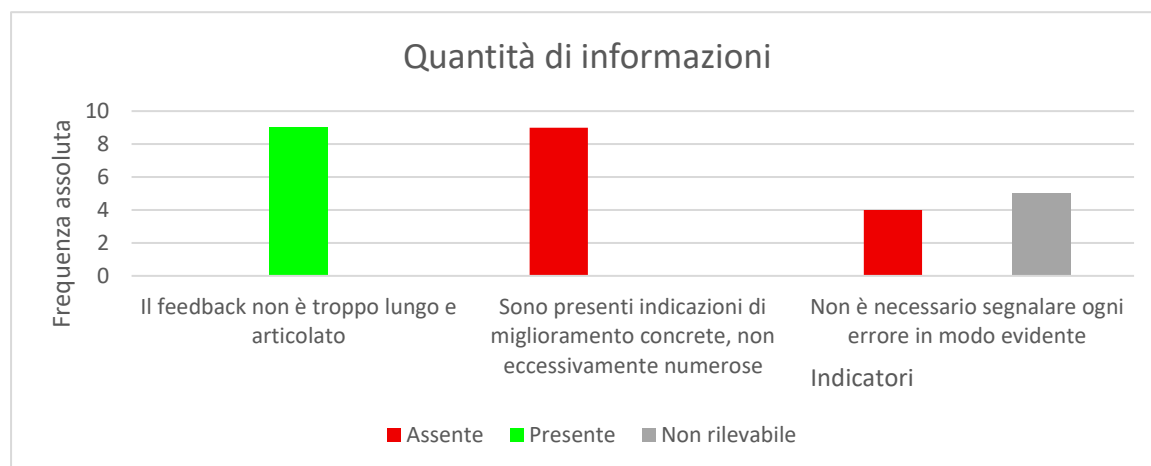


FIGURA 16: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA QUANTITÀ DI INFORMAZIONI VEICOLATE NEL FEEDBACK

Il feedback non risulta lungo, anzi al contrario, si presenta scarso. In particolare, il secondo indicatore che compare in Figura 16 non trova riscontro nelle prove, poiché non si trova alcuna indicazione di miglioramento. Il terzo indicatore, invece, è simile a quello presente a quello nella sottosezione 4.2.2, ma rispetto ad esso comprende tutte le tipologie di errore, anche quelle legate agli obiettivi specifici del modulo. Questo perché evidenziare lo stesso errore ripetutamente può avere dei chiari effetti sulla lunghezza del feedback, rischiando di distogliere l'attenzione da aspetti più rilevanti su cui invece la studentessa dovrebbe ragionare. Anche comprendendo tutti gli errori in generale, nei feedback di cinque prove non erano presenti più errori appartenenti alla stessa tipologia, che permettessero di verificare la presenza dell'indicatore.



FIGURA 17: FREQUENZE ASSOLUTE DEGLI INDICATORI DELLA TERMINOLOGIA PRESENTE NEI FEEDBACK

4.2.8 Terminologia

Per quanto riguarda la terminologia utilizzata, dimensione analizzata in Figura 17, i feedback sono scritti con toni generalmente neutri, non ironici e privi di giudizi. D'altra parte, non sono presenti commenti che presuppongano impegno e collaborazione da parte delle studentesse a cui si rivolgono: non vengono presentate proposte di recupero concrete, né si fa riferimento a miglioramenti ottenuti nel lungo o breve periodo. Un ulteriore indizio del fatto che non venga presupposto un atteggiamento attivo da parte delle studentesse è la scarsità di domande a cui quest'ultime potrebbero rispondere per esplorare meglio i propri errori e ragionare sulle strategie applicate.

Al termine di queste analisi, emerge quindi che il feedback che viene proposto alle studentesse è diffuso all'interno della prova, è semplice nella forma e non contiene lodi o punizioni, mantenendo dei toni rispettosi. Allo stesso tempo, è anche estremamente sintetico, incapace di descrivere in maniera estesa ciò che emerge dalla prova, di metterne in evidenza i punti di forza e proporre spunti di miglioramento.

Alcuni aspetti che non sono stati considerati adeguatamente, come il tentativo di rendere il feedback più chiaro (ad esempio esplicitando il nome degli oggetti a cui si fa riferimento), e leggibile - nel caso dei feedback diretti alle studentesse con B.E.S., portano a sospettare il fatto che il professore, pur essendo stato propositivo nei confronti del progetto della CLOD, non abbia ancora acquisito la pratica e l'esperienza per fornire un feedback efficace e aderente alle caratteristiche proposte provenienti dalla letteratura in ambito docimologico.

4.3 Analisi delle tipologie di errori

L'analisi ora procede entrando nel merito degli errori compiuti dalle studentesse. È stato considerato errore un qualunque scostamento da un ragionamento logico e coerente nella scelta delle strategie risolutive, del modello, nello sviluppo algebrico o aritmetico e nell'espressione dei risultati (parziali o finali). Sono stati riconosciuti in totale 40 errori, che sono stati categorizzati secondo le griglie presenti nella sezione 3.4. I risultati sono visibili in Figura 18.

La tipologia di errori prevalente è la lacuna, categoria nella quale rientrano 23 errori. Si nota anche che non sono stata rilevata la presenza di errori dovuti a p-prim; si può ipotizzare che tale esito sia riconducibile alla natura della prova, che è formata da due esercizi che non sono stati progettati per far emergere primitivi fenomenologici. Sono presenti in numero minore errori dovuti al background matematico (4, legati a difficoltà in aritmetica) e fisico (6, dovuti ad unità di misura assenti o scorrette, oppure a trasformazioni improprie in unità di base del S.I.), errori di trascrizione (4, provenienti dal testo dell'esercizio, da altre parti dello svolgimento o dalla calcolatrice, presenti soprattutto nelle prove di studentesse con B.E.S.), e 3 errori dovuti ad una mancata comprensione del testo.

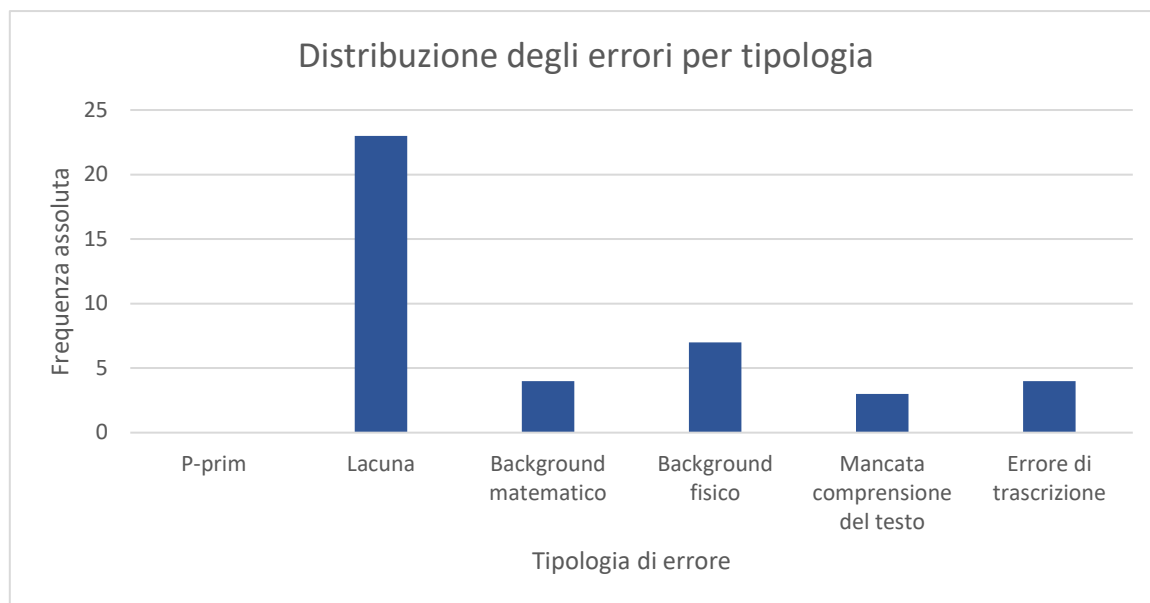


FIGURA 18: DISTRIBUZIONE DEGLI ERRORI PER TIPOLOGIA DI ERRORE, SECONDO LA GRIGLIA PRESENTE IN SEZ. 3.4

4.4 Analisi processuale degli errori

Dopo aver categorizzato gli errori dal punto di vista dei momenti del processo risolutivo, si osserva dal grafico in Figura 19 che gli errori più frequenti sono avvenuti durante le procedure di risoluzione (14 errori di tipo procedurale) e a livello di applicazione adeguata dei concetti, delle equazioni e dei modelli (13 casi); risultano presenti anche errori di strategia (indenticati 8 volte) e quelli legati alla comprensione del testo e al riconoscimento del corretto ruolo di ciascuna quantità (5 casi).

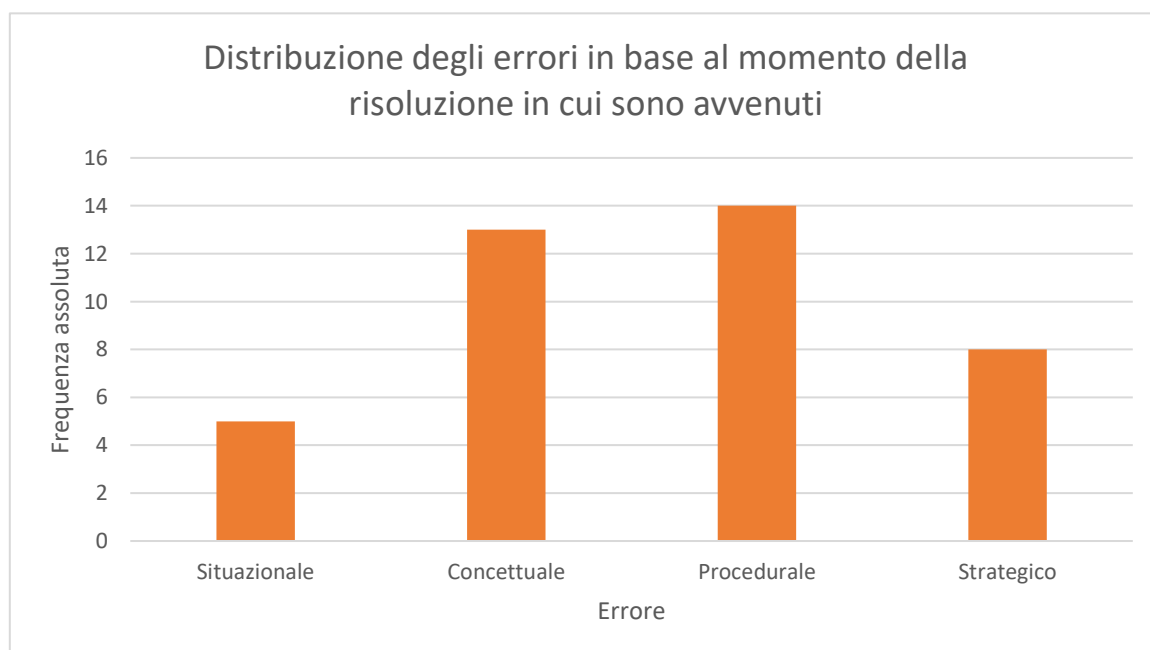


FIGURA 19: DISTRIBUZIONE DEGLI ERRORI RISPETTO AL MOMENTO DEL PROCESSO DI PROBLEM SOLVING IN CUI SONO AVVENUTI, SECONDO LA GRIGLIA IN SEZ. 3.5

Gli errori presenti nelle prove, per come sono stati categorizzati secondo queste due lenti, dovrebbero almeno in parte venire distinti dal docente: alcuni di essi, infatti, influiscono nella scelta del descrittore più adatto del livello raggiunto rispetto ad alcuni degli obiettivi specifici presenti nella griglia di valutazione. Ad esempio, la presenza di errori di *mancata comprensione del testo* o di tipo *situazionale* deve essere considerata nello stabilire il livello raggiunto nella capacità di *interpretare il testo*. O ancora, errori categorizzati come legati ad un *background matematico insufficiente* oppure di natura *procedurale* dovrebbero essere considerati quando viene valutata la competenza delle studentesse nello *svolgere calcoli specifici* e nel *concluderli*.

Tuttavia, da un confronto tra le due classificazioni degli errori appena presentate e i feedback proposti dal docente, emerge una mancata corrispondenza sistematica tra tipologia di errore e modalità di restituzione. L'assenza di una legenda che consideri segni, simboli, colori o dia riferimenti espliciti utili a fare distinzioni, indica che il docente non dà feedback distinguendo formalmente tra le diverse categorie di errore. Questa indifferenziazione riduce la chiarezza e la specificità del feedback e ne limita il potenziale formativo, poiché richiede allo studente un lavoro interpretativo per comprenderne il significato e riorientare il proprio lavoro.

Infine, l'analisi degli errori ha permesso di osservare che si è verificata in tre prove diverse la dinamica seguente: una studentessa ha sbagliato nell'ottenere un risultato intermedio; poi ha proseguito con uno svolgimento corretto, ma utilizzando la quantità errata ottenuta in precedenza; tuttavia, il docente ha comunque segnalato l'erroneità dei risultati successivi, che sono stati influenzati dall'errore intermedio.

4.5 Analisi secondo il framework degli epistemic games

Prima di iniziare l'analisi, è necessario riportare alcune considerazioni: come già anticipato nella Sezione 2.3.11, la verifica comprende due esercizi: nel primo viene richiesto di rispondere a tre diverse domande, mentre il secondo richiede una risposta unica.

Per rispondere a ciascuna domanda è stato utilizzato almeno un gioco epistemico; può essere usato sempre lo stesso, oppure può essere cambiato di volta in volta. Nel tentativo di rispondere ad una singola domanda, possono anche essere giocati più *e-games*.

Come accennato nella Sezione 2.3.11 Struttura della prova scritta proposta al termine del percorso didattico, alle studentesse con B.E.S. sono state somministrate delle prove semplificate, secondo il loro Piano Didattico Personalizzato. La semplificazione consisteva nell'aggiunta di domande intermedie, con lo scopo di guidare ciascuna studentessa nel percorso risolutivo, facendole individuare uno per volta i vari elementi utili alla risoluzione dell'esercizio.

La presenza di queste domande, pensate per guidare attraverso una precisa strategia risolutiva, inficia l'analisi degli *e-games* che le studentesse potrebbero aver voluto giocare; pertanto, queste tre prove non possono essere analizzate secondo questa lente.

Infine, il gioco epistemico *Trasliteration to Mathematics* non è stato considerato tra i possibili *e-games* giocati, perché durante la prova i ragazzi non potevano confrontarsi con altri esercizi già svolti da loro, oppure presenti sul manuale: la prova prevedeva come unici supporti i fogli protocollo, penne e matite per scrivere e la calcolatrice.

4.5.1 Esempio di applicazione dell'algoritmo per l'individuazione degli *epistemic games*

Al fine di chiarire il funzionamento dell'algoritmo per l'individuazione degli *epistemic games* (Diagramma di flusso in Figura 7), ne viene riportato un esempio di applicazione. A questo scopo viene riportato di seguito uno svolgimento del primo esercizio (Figura 20), estrapolato da una delle verifiche e trascritto in modo da non rendere riconoscibile la scrittura della studentessa: dal foglio protocollo è stata omessa solo la prima riga, riportante nome cognome della studentessa, la classe e la data.

I primi segni individuati nel foglio sono la trascrizione dei dati numerici che compaiono nel testo dell'esercizio e la trasformazione delle loro unità di misura in unità di base del Sistema Internazionale. La loro presenza manifesta l'aspettativa di doverli utilizzare ad un certo punto, nel corso dello svolgimento dell'esercizio. Tuttavia, non possono essere considerati una traccia, perché non sono associabili a una mossa, in quanto rappresentano una azione preliminare allo svolgimento vero e proprio dell'esercizio.

Al termine dell'elenco dei dati, la studentessa individua l'incognita che ritiene di dover ottenere come risultato: la forza F (in realtà il primo punto richiede di individuare il momento della forza M). " $F = ?$ " è la prima traccia, che può essere associata alla prima mossa di quattro giochi diversi: Mapping Meaning to Mathematics, Mapping Mathematics to meaning, Pictorial Analysis e Recursive Plug and Chug.

Per provare a scartare alcuni di questi giochi, si ricercano tracce delle mosse successive. Nei passaggi algebrici che seguono, sembrano essere ben distinguibili le mosse tipiche del Recursive Plug-and-Chug: La studentessa individua una prima equazione che potrebbe aiutarla a ottenere la soluzione cercata: $M = F \cdot r$ (mossa 2). In questa equazione sono presenti, oltre all'incognita, le due quantità M ed r . un dato chiamato " r " è presente nei dati (anche se si tratta del raggio della bottiglia), mentre M non è noto (questo ragionamento non ha lasciato traccia, ma coincide con la mossa 3). Viene allora individuata una nuova equazione, $M = I \cdot \alpha$ (mossa 4 e 2). Questa contiene, oltre ad M , solo quantità note (mossa 3, che non ha lasciato traccia). La studentessa ha individuato una strada risolutiva e può quindi procedere allo svolgimento: α è presente nei dati, quindi bisogna calcolare solo I . La studentessa cancella le altre parti dell'equazione, per non dover riscrivere, e calcola I . A quel punto, risalendo nel ragionamento, viene ottenuto il valore di M , e infine di F , utilizzando il valore di r presente nei dati. Il commento scritto dalla studentessa in seguito allo svolgimento non smentisce l'ipotesi: la studentessa non sente il bisogno di giustificare la scelta della prima equazione, mentre la seconda equazione viene riportata perché è "equivalente", e perché contiene quantità che sono note o che sono ottenibili.

È stato possibile scartare Mapping Meaning to Mathematics e Mapping Mathematics to meaning perché durante lo svolgimento non erano presenti né senso fisico, né tentativi di dare significato al ragionamento compiuto (un esempio di questa assenza è l'utilizzo di " r "); la Pictorial Analysis non è stata considerata per mancanza di rappresentazioni e la presenza di equazioni.

In questo caso è stato possibile individuare tutte le mosse del Recursive Plug and Chug, gioco che ha portato alla risoluzione del primo punto dell'esercizio. Non sono presenti altre mosse che sono state escluse da questo ragionamento, perché sono coinvolte tutte le tracce presenti finora, e le

tracce successive riguardano la risposta alla seconda domanda. Si può allora ipotizzare che in questo caso la risoluzione sia avvenuta proprio tramite questo gioco epistemico.

Per il punto successivo, la studentessa aggiunge il nuovo dato numerico, d , e riapplica nuovamente l'equazione utilizzata nello svolgimento del punto precedente. Anche in questo caso, la studentessa individua l'incognita da trovare, permettendo nuovamente di scartare l'ipotesi che abbia scelto di giocare il Physical Mechanism Game; la risoluzione algebrica permette di scartare anche l'ipotesi di Pictorial Analysis. Tuttavia, lo svolgimento molto più breve rispetto al punto precedente e la brevità del commento che segue non offrono indizi che permettano di scartare gli altri giochi. Sono quindi state rintracciate alcune mosse, che potrebbero essere comuni ai restanti tre giochi. La presenza della risposta numerica finale e la mancanza di tracce appartenenti ad ulteriori mosse successive permettono di ipotizzare che la studentessa abbia considerato il gioco come completato.

①

$$m = 800 \text{ g} = 0,8 \text{ kg}$$

$$h = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$r = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$$

$$I = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}mh^2$$

$$\alpha = 38 \text{ rad/s}^2$$

$$F = ?$$

$$M = F \cdot r$$

$$M = I \cdot \alpha = \frac{1}{2} 0,8 (0,04)^2 + \frac{1}{12} 0,8 (0,25)^2 = (0,4)^3 + 0,07 \cdot (0,25)^2$$

$$= 0,06 + 0,004 = 0,064 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$M = I \cdot \alpha = 0,064 \cdot 38 = 2,4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{2,4}{0,04} = 61,2 \text{ N}$$

$$d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$F = ?$$

$$M = F \cdot 0,06 \Rightarrow F = \frac{M}{r} = \frac{2,4}{0,06} = 40 \text{ N}$$

c. perpendicolare verso il basso

① Per prima cosa scrivo la formula $M = F \cdot r$. Dato che il problema ci fornisce la formula del momento d'inerzia della bottiglia, possiamo calcolarlo. L'"equivalente" della prima formula è $M = I \cdot \alpha$. Avendo il momento d'inerzia e l'accelerazione angolare (fornita dal problema) possiamo calcolare il momento, successivamente possiamo calcolare la F forza con la prima formula.

Nella seconda parte del problema, abbiamo che Alice applica una $F \perp$ distante 6 cm dall'asse di rotazione. Prendiamo la prima formula $M = F \cdot r$. Il momento è lo stesso, quindi basta sostituire il raggio.

Utilizzando la regola della mano destra, si nota che la direzione e il verso del momento della forza sono $\perp$ verso il basso.

FIGURA 20: TRASCRIZIONE DI UNO SVOLGIMENTO DEL PRIMO ESERCIZIO DELLA VERIFICA SCRITTA

Infine, per quanto riguarda il terzo punto dell'esercizio, dove veniva richiesto di individuare direzione e verso del momento della forza, la studentessa subito presenta la risposta; successivamente, nel commento, riporta di avere usato la regola della mano destra. In questo caso non sono presenti equazioni, quindi gli unici giochi non scartati sono Pictorial Analysis e Physical Mechanism Game. La risposta data, pur non numerica, rimane quantitativa, e la scelta di utilizzare la convenzione della regola della mano destra per giungere alla risoluzione mostra che non è basata sull'intuizione fisica. Si può allora ipotizzare che la studentessa abbia svolto una Pictorial Analysis. Individuata l'informazione da ottenere, ossia direzione e verso del momento della forza, viene scelta la rappresentazione, ossia l'azione della regola della mano destra; lo sviluppo del racconto concettuale avviene associando ciascuna quantità a pollice e indice, mentre l'interpretazione dell'orientamento del dito medio permette di ottenere l'informazione ricercata.

4.5.2 Risultati e mappatura degli epistemic games rilevati

Il primo esercizio è stato diviso in tre punti, 1A, 1B e 1C, mentre il secondo esercizio è stato trattato in forma unica. Una studentessa ha risposto solo al punto 1A, mentre un'altra non ha risposto al punto 1C. In tutti gli esercizi, le studentesse hanno utilizzato sempre un unico gioco per ciascun esercizio.

Per 6 volte nelle risoluzioni dei punti 1A e 1B, è capitato che sul foglio l'unica traccia presente consistesse in una o più equazioni e i passaggi algebrici per risolverle, talvolta accompagnati dal nome della quantità da trovare. In quei casi non è stato possibile distinguere tra i giochi Mapping meaning to Mathematics, Mapping Mathematics to meaning e Recursive Chug-and-Plug. Non sono stati identificati casi in cui era possibile distinguere chiaramente Mapping Mathematics to meaning. Le quattro studentesse che hanno risolto il punto 1C lo hanno sempre fatto tramite la Pictorial Analysis. In Figura 21 vengono riportati gli *e-game* che sono stati giocati per rispondere alle domande dei due esercizi.

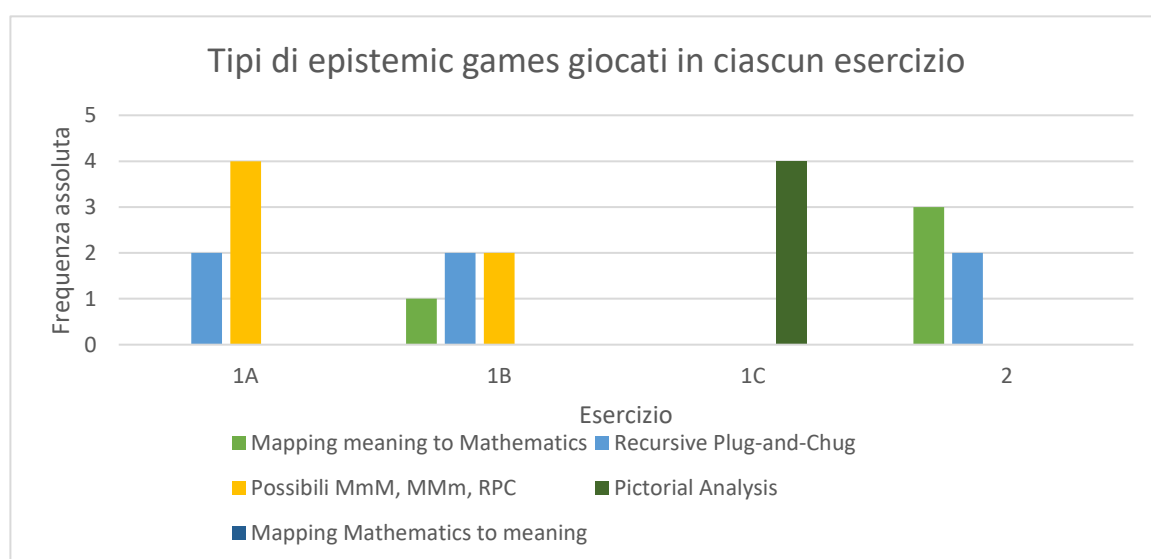


FIGURA 21: EPISTEMIC GAMES GIOCATI DALLE STUDENTESSE IN CIASCUN ESERCIZIO

Dal grafico emerge come le tracce lasciate dalle studentesse nel corso degli svolgimenti dei punti 1A e 1B non siano state sempre sufficienti per distinguere quale *e-game* è stato giocato. Questo potrebbe essere dovuto alla particolare brevità degli svolgimenti necessari per la risoluzione di tali punti. D'altra parte, richieste specifiche come quelle del punto 1C possono richiedere l'utilizzo di uno specifico gioco per la loro risoluzione: in questo caso, la Pictorial Analysis. Sia Mapping meaning to Mathematics, sia Recursive Plug-and-Chug sono stati giocati da almeno tre diverse studentesse.

La lente degli *epistemic games* è solo uno dei possibili framework che permettono di analizzare le strategie di *problem solving* in Fisica, ma può essere utilizzata qualunque lente che permetta di riconoscere e dare un nome alle diverse strategie di risoluzione che sono state utilizzate. Riuscire a distinguerle permette di commentarle e osservare quando queste non sono state efficaci per giungere alla soluzione corretta.

Tra i feedback del docente non sono presenti commenti che riguardino il modo di ragionare delle studentesse. Come già sottolineato altre volte nel corso di questo capitolo e del precedente, commenti al livello dell'autoregolazione devono essere presenti solo quando la studentessa è in grado di elaborarli, e dimostra di avere già compreso almeno a grandi linee l'argomento trattato. Tuttavia, le analisi svolte sugli errori e sulle strategie adottate mostrano che le performance della classe sono molto variegata: ad un estremo, una studentessa ha svolto solo il primo punto di un esercizio, mentre dall'altro due studentesse hanno svolto il compito interamente e correttamente, in un caso sbagliando solo due unità di misura, nell'altro senza argomentare adeguatamente il ragionamento svolto. Alcune studentesse, quindi, potrebbero ricevere con profitto feedback a livello di autoregolazione.

4.6 Confronto dei risultati ottenuti con le opinioni delle studentesse

Nel corso delle interviste è stato domandato alle studentesse se ritenessero che i feedback ricevuti in Fisica fossero chiari, o se ci fossero episodi che le avessero lasciate confuse; poi, successivamente, se cambierebbero qualcosa del modo in cui vengono valutate in Fisica. Le studentesse hanno manifestato una netta approvazione dei feedback del docente:

VALERIA: *"(...) secondo me come valuta il prof [di Fisica] è giusto."*

MARIA: *"mi sento soddisfatta abbastanza da tutto."*

VALENTINA: *"Io più o meno so sempre cosa ho sbagliato nella verifica. (...) Secondo me sono valutazioni più che oneste quelle del prof [di Fisica]."*

ANNA: *"le correzioni sono chiare, la restituzione è chiara, la valutazione è chiara (...)."*
(...)

INTERVISTATORE: *"[i commenti] lasciano qualche dubbio a volte?"*

ANNA: *"No, di solito no, magari se ho dei dubbi chiedo, però no, generalmente sono cose chiare."*

Due contributi da parte di Anna e Valeria suggeriscono che almeno una parte del feedback venga dato oralmente, mentre la verifica viene corretta:

VALERIA: *“[I commenti] sono scritti in modo semplice, e anche il prof, quando spiega le correzioni, le spiega in modo semplice, quindi io lo capisco. Quindi sì, per me sono sempre utili.”*

ANNA: (...) *“c'è più attenzione forse nella ricorrezione della verifica, anche insieme, non solo quello che trovi sul foglio scritto.”*

Tuttavia, non tutte le studentesse manifestano la stessa positività nei confronti dei feedback orali, in particolare in riferimento al tema dell'argomentazione:

SARA: *“(...) io non capivo cosa sbagliavo, io dovevo scrivere, tipo la verifica dell'urto anche se li ho sbagliati tutti, io ho scritto «questo urto è elastico», «questo è urto di qua», «questo è urto di là». Solo che diceva che non andava bene. A parte che era sbagliato quello che stavo dicendo, però non andava bene fatto così! E io non capivo!*

CHIARA: *“(...) mi ha lasciato confusa quando all'inizio dell'anno c'è una verifica di Fisica e non scrivevo e prendevo Non Ancora Raggiunto sull'aspetto dello scrivere; e allora ho chiesto al prof come potevo fare, mi ha detto di argomentare un po' i passaggi; solo che anche argomentandoli prendevo comunque Non Ancora Raggiunto su quell'aspetto, mentre il prof aveva detto che bastava anche scrivere un po'; nelle verifiche di altri che erano scritte di meno e poi la raggiunta sull'aspetto essenziale, quindi questo mi ha lasciata un po' confusa.”*

Secondo Ilaria, invece, i feedback sono chiari e precisi, e afferma di riuscire a capire cosa ha fatto bene e cosa può migliorare. Inoltre, aggiunge:

ILARIA: *“[I professori di Fisica e Matematica] guardano tutti i passaggi che tu hai fatto per capire dove è l'errore, e quindi quando poi tu arrivi lì, loro ti ridanno la verifica loro non è che ti vengono a dire: «guarda, questo l'hai sbagliato tutto proprio tutto, che pena, schifo»; dicono: «guarda: questo l'hai fatto giusto, ma qua ti sei confusa e hai fatto questa cosa qui».”*

Alcune studentesse percepiscono che il feedback non è molto informativo, ma non lo ritengono un problema, perché ritengono comunque di essere in grado di ottenere le informazioni mancanti:

MADDALENA: *“Però in realtà non ci sono effettivamente delle vere e proprie correzioni. Io... appunto, mi corregge i calcoli, magari quando ci sono le parti di testo, mi corregge la grammatica perché io non sono in grado.”*

(...)

“[L'esercizio] o lo faccio, fatto bene, o non lo faccio proprio. Quindi non ho mai fatto caso a questa cosa qua perché non mi serve. Cioè, non ci sono delle correzioni, effettivamente sul procedimento, sulla materia, su queste cose qua. Facilitava probabilmente perché le avevo già fatte, non perché [io] sono chissà che cosa. “

I: "Ok, riesci a capire da questi commenti quindi che cosa hai fatto bene, che cosa puoi migliorare?"

MADDALENA: "Sì, certo."

CHIARA: "[Il feedback] in Fisica è un po' meno dettagliato rispetto a quelli della [professoressa di Matematica], però comunque li capisco."

I: "Ok, li vorresti più dettagliati? Ti fa piacere quando sono più dettagliati?"

CHIARA: "No, in realtà è indifferente."

I: "Perché è indifferente?"

CHIARA: "Perché alla fine capisco da sola cosa ho sbagliato. Vedendo semplicemente il rosso [del professore di Fisica], la [professoressa di matematica] invece utilizza i diversi colori per i vari aspetti, però alla fine anche se non lo fa [il professore di Fisica] lo faccio io."

La classe appare apprezzare il feedback che riceve in Fisica. Questo risultato risulta in contraddizione con i risultati delle analisi svolte nel corso di questo capitolo, che evidenziano un feedback piuttosto carente in vari aspetti. Questa incoerenza potrebbe risolversi in due modi: una prima ipotesi è che, nelle loro interviste, le studentesse si stiano riferendo al feedback nella sua totalità, ovvero sia scritto che orale, e che al momento della riconsegna delle prove venga dato un feedback orale molto ampio e individuale, in grado di colmare le lacune del feedback scritto. Purtroppo, il feedback orale non è stato osservato in aula, quindi non sono presenti informazioni che permettendo di confermare o smentire con certezza tale ipotesi. Tuttavia, dall'intervista del docente, sembra che venga aperto uno spazio di dialogo durante la lezione dedicata alla riconsegna delle prove:

PROFESSORE: "Quindi, per fargli capire che invece bisogna vedere quali sono stati gli errori, [la verifica] ve la consegno e poi possiamo fare una chiacchiera, possiamo fare una discussione sul modo in cui io espressamente do la valutazione, cioè, perché ti ho dato questo punteggio al posto di un altro? Cosa c'è di diverso rispetto a un'altra verifica?"

Tuttavia, da questa singola affermazione non si capisce se avvenga un momento in cui sistematicamente ogni prova viene commentata individualmente con ciascuna studentessa, o se invece venga solo data la possibilità di chiedere commenti al docente, che risulta disponibile per chiarimenti. Questa seconda possibilità trova due possibili riscontri: uno nell'affermazione di una studentessa, che nel corso della sua intervista ha affermato:

ILARIA: "[Il professore di Fisica] è un po' meno, come si dice, è un po' meno espansivo; quindi, devi andare un po' più tu. Cioè, giustamente lui si aspetta che sia tu a capire se devi andare a chiedere delle cose oppure no."

Un altro riscontro sta nel fatto che nel corso del tirocinio, e nello specifico durante la lezione in cui sono state riconsegnate le prove del modulo di apprendimento precedente, è avvenuta solo la distribuzione delle prove e la loro correzione alla lavagna svolta direttamente dalle studentesse, ma non c'è stato un momento dedicato ai commenti individuali (né è stato proposto o richiesto, né dal docente, né dalle studentesse).

Una seconda ipotesi per provare a sciogliere la contraddizione tra risultati e interviste è la seguente: potrebbe esserci un'aspettativa comune da parte del professore e da parte delle studentesse, riguardo in che cosa consista lo studio della Fisica e a quali debbano essere le caratteristiche di un buon feedback in questa disciplina.

Anche questa ipotesi non può essere verificata tramite le informazioni raccolte, ma può essere motivata: da un lato, il docente non può essere considerato un esperto di didattica: al momento del tirocinio stava terminando il suo secondo anno di insegnamento, e, come anche già affermato nella Sezione 2.2.3 Rapporto con la Fisica non era presente nel corso dell'anno precedente, mentre veniva svolta la maggioranza dei corsi preparatori per il futuro Consiglio di Classe della CLOD.

D'altro canto, neanche le studentesse hanno avuto modo di sperimentare un feedback diverso, ed eventualmente migliore, in Fisica: le studentesse presenti al Manzoni dal primo anno di Liceo sono entrate in contatto con la Fisica solo tramite l'attuale docente e un suo sostituto, che però consideravano peggiore, mentre le studentesse provenienti da altri istituti e che si sono trasferite nella CLOD hanno riportato durante le interviste delle esperienze negative con la materia (alcune presentate sempre nella Sezione 2.2.3). Inoltre, le studentesse, nonostante abbiano ricevuto informazioni sulle origini, le caratteristiche e le motivazioni del progetto, non vi hanno quasi mai aderito con consapevolezza. È quindi comprensibile che non siano ancora in grado di (o non desiderino) sfruttare e ricercare un feedback dal loro docente:

PROFESSORE: molto spesso loro vedono, chiamiamolo il "voto", anche se nel loro caso è una X su una competenza, su un livello; diciamo la maggior parte dei casi, non tutti, ma diciamo un buon 70%, non è che stanno a studiare la griglia per vedere che cos'è che hanno sbagliato e perché hanno preso quella valutazione al posto di un'altra. Diciamo, loro fondamentalmente sono contenti se escono con un buon voto, e le domande se le fanno solo se il voto non è così positivo.

Al docente è richiesto, quindi, un duplice lavoro: diventare abile nel produrre dei feedback realmente chiari e informativi, e allo stesso tempo promuovere una transizione verso un apprendimento più consapevole, dirigendo tempi ed energie delle studentesse in questa direzione.

5 Proposte di sviluppo della valutazione formativa per il docente di Fisica del progetto CLOD

Nel corso dell'intervista, alcune studentesse hanno avanzato delle proposte di miglioramento delle valutazioni in Fisica. Le proposte sono variegate: Ilaria sente il desiderio di provare a sperimentare l'autovalutazione al termine delle prove orali, mentre Maddalena la trova molto utile nelle verifiche scritte.

ILARIA: "aiuta molto a me personalmente l'autovalutazione perché, come dicevo prima, mi rendo conto meglio anche io così. (...) Più che altro, se posso dire, l'autovalutazione nell'interrogazione: che tu finisci l'interrogazione, e il prof ti prende lì e compilate insieme la scheda di autovalutazione insieme a lui.

MADDALENA: "l'unica cosa che cambierei forse è quella, la riconsegna delle verifiche, riconsegnare solo la verifica corretta, dare l'autovalutazione allo studente così che la possa compilare, e poi, uno a uno, andare dal professore per sapere invece cosa pensa della mia autovalutazione, e in caso farmi dare la griglia corretta da lui."

Per Valeria sarebbe molto utile ricevere le correzioni delle verifiche in tempi più brevi:

VALERIA: "Sì, forse i tempi delle consegne e delle verifiche ci vuole un po' di meno."

Maria e Chiara, invece, vorrebbero sapere in anticipo se rischiano di avere un debito formativo per l'estate:

MARIA: "L'unica cosa che cambierei magari è, non lo so in realtà, mi sento soddisfatta abbastanza da tutto, ripeto, l'unica cosa che ero un po'... "ahh dimmelo!" era se mi dava il debito o meno."

CHIARA: "Praticamente solo con [il professore di Fisica] gli chiedo se vengo rimandata, appunto perché [Fisica] è quella che è la più in bilico come materia. Ho bisogno anche di saperlo per anche regolarsi con qualcuno, cioè capire se devo recuperare, se devo fare un'interrogazione.

Infine, Anna sente invece la necessità di un quarto descrittore nella griglia di valutazione:

ANNA: "E quindi aggiungerei uno scalino in più, che uno è più verso PR e uno rimane più verso NAR. Quindi non è solo in Fisica, ma secondo me per un livello di chiarezza superiore si potrebbe aggiungere questa cosa, perché secondo me potrebbe essere più chiara per tutte le materie."

A queste proposte, seguendo le indicazioni presentate nel primo capitolo, potrebbe essere efficace nel corso delle lezioni intensificare le pratiche di *peer education*; condividere (o perfino scegliere) con le studentesse, oltre che gli obiettivi specifici, anche i traguardi di competenza; e arricchire le lezioni con momenti di valutazione formativa rapida (se ne trovano molti esempi nel libro di Greenstein (2017)). (Ciani, Ferrari, & Vannini, 2020)

Per quanto riguarda le valutazioni, è possibile utilizzare i framework presentati nel Capitolo 3 per provare a comporre a ritroso un feedback che ne soddisfi le richieste. Viene di seguito, a titolo di

ESERCIZIO 1

h bottiglia = 25 cm $\rightarrow$ 0,25 m

m bottiglia = 800 g $\rightarrow$ 0,8 kg

r = ~~4cm~~ 0,04 m

$I = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}mh^2$

$\alpha = 38 \text{ rad/s}^2$

Calcolo del momento di inerzia

$I = \frac{1}{2}(0,8)(0,04)^2 + \frac{1}{12}0,8(0,25)^2 =$

$I = \frac{1}{2}(0,8)16 + \frac{1}{12}0,8(0,25)^2 =$

Calcolo del momento della forza

$M_o = I \alpha = 4,80 \times 10^{-3} \cdot 38 \text{ rad/s}^2 = 0,18 \text{ N} \cdot \text{m}$

$M_F = -I \alpha = \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \approx 0,00489 \text{ N} \cdot \text{m}$

$F = \frac{M}{r} = \frac{0,18}{0,04} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ N}$

$F = I/r$

momento della forza

Forza $\blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare \blacksquare$ applicata perpendicolarmente

Poiché la bottiglia deve ruotare in senso orario, la forza va applicata sul bordo destro verso il basso, generando un momento negativo rispetto all'asse verticale.

FIGURA 22: SVOLGIMENTO DELL'ESERCIZIO 1 DA PARTE DI UNA STUDENTE, TRASCRITTO

esempio, discusso e proposto un commento ad una delle verifiche scritte, di cui viene a sua volta discusso lo svolgimento, con l'obiettivo di provare a costruire una valutazione che segua con consapevolezza queste indicazioni.

ESERCIZIO 2

h scaffale = 1,30 m

v = 3 km/h

m=350 g = 0,35 kg

r = 2,5 cm = 0,025 m

- Usiamo il principio di conservazione dell'~~a massa~~-energia quando la lattina che cade ad h = 1,30 m
Quindi U = mgh
- rotolando senza slittare vuol dire che c'è legame tra velocità e velocità angolare $\rightarrow \omega = \frac{v}{r}$
- per un cilindro pieno $I = \frac{1}{2}mr^2$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}mr^2 \left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{4}mv^2 = \frac{3}{4}mv^2$$

$$gh = \frac{3}{4}v^2 \implies v = \sqrt{\frac{4gh}{3}}$$

$$v = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot 1,30}{3}} \approx 4,12 \text{ m/s}$$

$$3 \text{ km/h} = \frac{3000}{3600} = 0,83 \text{ m/s}$$

In conclusione la lattina rotola a circa 4,12 m/s, mentre il signore cammina a 0,83 m/s, di conseguenza non raggiungerà la lattina.

FIGURA 23: SVOLGIMENTO DELL'ESERCIZIO 2 DA PARTE DI UNA STUDENTESSA, TRASCRITTO

Svolgimento del primo esercizio

La studentessa trascrive subito i dati numeri presenti nel testo, trasformandoli quasi tutti in unità di base del Sistema Internazionale, tranne il raggio della bottiglia "r". Procedo poi subito a calcolare il valore del momento di inerzia, accorgendosi dopo un paio di passaggi che nel calcolo sta usando il valore del raggio r misurato in cm. Ripete quindi i passaggi a fianco, giungendo al valore corretto di I, anche se privo di unità di misura. Questo valore viene utilizzato per calcolare immediatamente sotto il momento della forza, sempre correttamente. Ancora, la studentessa calcola la forza usando direttamente la "formula inversa", ma per farlo utilizza nuovamente il valore del raggio della bottiglia "r", al posto della distanza dall'asse di rotazione, presente nel testo.

Infine, la descrizione del ragionamento che porta alla risoluzione del punto c non risulta molto chiara, e richiederebbe di ascoltare l'interpretazione della studentessa; tuttavia, la soluzione è corretta, se si considera sottinteso che l'asse verticale mantenga il verso positivo verso l'alto.

Svolgimento del secondo esercizio

Vengono nuovamente trascritti i dati numerici, cui segue un breve elenco puntato: nel primo punto viene invocata la conservazione dell'energia (meccanica); questo permette di calcolare l'energia potenziale gravitazionale U (non definita). Nel secondo punto viene invece riconosciuta la condizione di rotolamento puro, anche se a sua volta non viene nominata; né vengono definite le quantità presenti nella relazione $v = \omega r$, che potrebbe essere confusa con l'equazione che lega velocità angolare e tangenziale. Infine, viene individuato correttamente il modello di cilindro pieno alla lattina, cui è associato il relativo momento d'inerzia. A questo punto viene imposta la conservazione dell'energia meccanica, sostituendo al suo interno tutte le varie relazioni individuate nell'elenco puntato, portando alla soluzione corretta. Infine, la studentessa trasforma la velocità dell'anziano, presente nel testo, ma espressa in km/h, per poterla confrontare ed esprimere infine la soluzione corretta.

Commento allo svolgimento e categorizzazione degli errori e delle strategie

La studentessa è riuscita a portare a termine entrambi gli esercizi, giungendo al risultato sbagliato solo nel secondo punto del primo esercizio. La presenza di numerose cancellature di fianco al secondo punto del primo esercizio fa supporre che fosse insicura su quanto scritto; mentre nel secondo esercizio non è stato cancellato nulla. Risulta chiaro che la studentessa è stata capace di accorgersi che le unità di misura del raggio erano in cm durante il calcolo di I , mentre non è possibile fare supposizioni sulla mancanza di unità di misura del momento d'inerzia. Non si può nemmeno affermare con certezza il motivo per cui la studentessa abbia usato il raggio della bottiglia invece della distanza dall'asse di rotazione, ma il fatto che quest'ultimo dato non sia mai stato riportato sul foglio protocollo, suggerisce che la studentessa non abbia letto con sufficiente attenzione il testo dell'esercizio, e, successivamente, non avendo individuato la quantità necessaria, né riuscendo a trovare alternative, abbia deciso di sostituire nell'equazione il raggio della bottiglia, per la similitudine tra il simbolo presente nell'equazione e quello usato nei dati.

Emergono quindi due errori: il primo è la mancanza di unità di misura del momento di inerzia, che può essere considerato come lacuna, rispetto alla tipologia di errore, mentre è stato considerato concettuale dal punto di vista del momento del problem solving. Il secondo errore, legato alla mancata rilevazione nel testo dell'informazione riguardante alla distanza del punto di applicazione dall'asse di rotazione, è stato categorizzato come mancata comprensione del testo e di tipo situazionale. A livello di strategie, la scelta di rinunciare ad utilizzare senso fisico per rispondere al secondo punto del primo esercizio, ha permesso di ipotizzare l'utilizzo di Recursive Plug-and-Chug, mentre nel primo punto non è stato possibile riconoscere con certezza tra quale *e-game* sia stato giocato, essendo presenti solo le equazioni. Il terzo punto, infine, per essere risolto ha richiesto l'utilizzo della Pictorial Analysis.

Nel secondo esercizio, l'elenco puntato sembra fare riferimento alle informazioni presenti nel testo che permettono di imporre delle equazioni, che non vengono mai definite con un nome. La

risoluzione è rapida e compatta, e segue il suggerimento presente nel testo della verifica di inserire i valori numerici nelle equazioni solo alla fine. Non sono mai presenti errori di calcolo aritmetico o algebrico. In questo esercizio, le affermazioni presenti nell'elenco puntato mostrano che l'interpretazione delle parole presenti nel testo viene trasformata in equazioni: questa risulta una possibile traccia della terza mossa di Mapping meaning to Mathematics.

Elaborazione del commento

Per strutturare il feedback, è stata preferita la forma di un commento unico, utilizzando la struttura “a sandwich” (anche se l'approccio del docente di apporre vari commenti a fianco delle varie parti dello svolgimento era altrettanto lecita), formata da una parte iniziale in cui vengono evidenziati gli aspetti positivi della prova, a cui seguono le criticità, e che si conclude con alcuni suggerimenti concreti per il miglioramento (Ciani, Ferrari, & Vannini, 2020). Durante la stesura sono stati considerati i vari indicatori presentati nella Sezione 3.3. Sono stati esclusi gli aspetti di comparazione rispetto alle prove precedenti, perché non sono noti eventuali progressi o peggioramenti della studentessa. A partire da queste considerazioni, viene proposto il commento seguente, da associare alla griglia di valutazione.

Sei riuscita a portare a termine entrambi gli esercizi! Hai impostato le equazioni e svolto i calcoli correttamente. Il primo esercizio, tuttavia, contiene alcuni punti critici. Nel primo punto non hai scritto l'unità di misura del momento d'inerzia, puoi ottenerla tramite analisi dimensionale. Nel secondo punto hai utilizzato il raggio della bottiglia al posto della distanza dall'asse. Forse è successo perché non avevi individuato quell'informazione nel testo. Se fosse così, sappi che tentare a caso non è mai una buona strategia, piuttosto chiedimi un consiglio! Puoi provare a dare un nome alle variabili, ad esempio: “Raggio della bottiglia: r ”, per non rischiare di confonderle. Abituati anche a usare il nome delle equazioni che imponi, usandoli per descrivere meglio i tuoi ragionamenti.

6 Conclusioni, limitazioni e possibili sviluppi

La presente ricerca si è posta l'obiettivo di indagare se, anche nel caso del progetto di scuola "senza voto" presso cui l'autore ha svolto un tirocinio, i feedback scritti risultino comprensibili e utili per le studentesse che li ricevono. Con questo scopo, sono state analizzate le prove scritte svolte al termine del modulo di apprendimento sulla dinamica rotazionale, e sono stati analizzati innanzitutto i feedback del docente, tramite lenti docimologiche, per osservare in che modo si allineino con le indicazioni presenti in letteratura. Da queste analisi, è emerso che i feedback proposti dal docente risultano prevalentemente incentrati a livello del compito, e solo in tre casi si riferiscono al livello dei processi. Anche nel caso di prove svolte quasi del tutto correttamente, non sono mai presenti feedback al livello di autoregolazione. I feedback risultano scarni: se da un lato non compaiono mai né lodi né punizioni o commenti rivolti alla persona, dall'altro mancano anche commenti che descrivano cosa è stato fatto bene, e che offrano spunti concreti di miglioramento. L'asciuttezza dei commenti compromette anche la possibilità di mantenere il feedback specifico, nonché di mantenerlo chiaro: infatti, il testo dei commenti risulta comprensibile a livello lessicale e sintattico, ma non permette di comunicare delle proposte per il recupero e il miglioramento. Anche per quanto riguarda la comparazione della prestazione, questa non si verifica rispetto alle compagne di classe, evitando così confronti che potrebbero risultare stressanti e dannosi, ma nemmeno con le prestazioni precedenti, né con gli obiettivi di apprendimento o i traguardi considerati (anche se quest'ultimi sono considerati nella griglia di valutazione). Nonostante il feedback si presenti in forma individuale, in quanto non viene mai fatto riferimento alla classe, non risultano adeguamenti nella forma quando il commento fa riferimento alle prove di studentesse con B.E.S. Infine, le correzioni non manifestano interesse nei confronti della performance delle studentesse, né sembrano presupporre esplicitamente un atteggiamento collaborativo diretto al loro miglioramento, pur rimanendo cortese e assertivo nei modi.

Successivamente, è stato analizzato lo svolgimento delle prove, a partire da alcune classificazioni proposte dalla Didattica della Fisica. Sono stati analizzati prima gli errori, categorizzandoli per tipologia e in base al momento del processo risolutivo in cui sono avvenuti. Confrontando queste analisi con i feedback del docente, è stato osservato che il docente, in fase di correzione, non ha distinto tra categorie di errore, né le ha esplicitamente commentate. Lo stesso risultato è stato ottenuto provando a confrontare il feedback con la categorizzazione delle diverse strategie utilizzate dalle studentesse tramite il framework degli *epistemic games*.

Quindi, le analisi permettono di affermare che il feedback presenta solo parte delle caratteristiche che lo renderebbero efficace secondo la docimologia, non distingue tra errori di tipo diverso né fa loro riferimento in tal senso. Tuttavia, le opinioni delle studentesse raccolte durante le interviste sembrano discordare con quanto emerge dalle analisi: le studentesse, infatti, manifestano una generale soddisfazione per i feedback ricevuti dal docente di Fisica.

L'ipotesi avanzata per provare a spiegare questa contraddizione è quella di una convergenza nelle aspettative tra quello che le studentesse si aspettano che debba (o che possa) essere un feedback in Fisica, e le aspettative del docente, che ancora non possiede una grande esperienza nel campo dell'insegnamento e non ha partecipato alle riflessioni che hanno portato alla nascita del progetto. In questa situazione, entrambe le parti risulterebbero soddisfatte del feedback proposto e ricevuto, a discapito di un apprendimento che potrebbe essere più profondo e strutturato.

Il caso studio presentato si colloca in modo diverso rispetto agli altri riportati al termine del Capitolo 1, e non permette di accertare se la condizione emersa negli articoli considerati si riproduca anche nel contesto analizzato. Non per questo, tuttavia, risulta meno interessante, in quanto comunque capace di suggerire uno spunto utile per una considerazione: se l'ipotesi considerata fosse effettivamente avvenuta, il caso analizzato sarebbe un esempio del fatto che non sia sufficiente eliminare il voto numerico per favorire un uso formativo della valutazione, ed eventualmente ottenere un approccio alla disciplina della Fisica più maturo, ma appare necessario che una scelta di questo tipo venga accompagnata da una riflessione ampia e condivisa sul ruolo del feedback e l'uso e il senso delle valutazioni fornite alle studentesse.

La presente ricerca possiede numerose limitazioni: innanzitutto l'impossibilità di generalizzare i risultati dovuta alla natura dell'analisi di un caso studio. Inoltre, è stato considerato ed analizzato unicamente il feedback scritto relativo a una sola verifica, riducendo notevolmente la quantità di informazioni raccolte. Un altro fattore limitante è stato lo svolgimento delle lezioni da parte dell'autore, che ha avuto un ruolo attivo nel corso del tirocinio, influenzando inevitabilmente le dinamiche sia tra studentesse che tra studentessa e docente. Ancora, non è stato possibile osservare il momento in cui sono state corrette le prove, togliendo all'analisi dati ulteriori. Infine, il tirocinio è stato svolto per un periodo di tempo ristretto, mentre osservazioni in tempi più lunghi avrebbero potuto permettere di osservare l'evoluzione del progetto e trarne ulteriori risultati.

6.1 Possibili sviluppi

Vengono infine riportati alcuni dei possibili sviluppi che potrebbero seguire a questa tesi. Innanzitutto, potrebbe essere rilevante cercare dati che rafforzino o smentiscano l'ipotesi proposta al termine delle analisi svolte in questa tesi. Queste analisi potrebbero essere estese anche in molti modi, ad esempio integrando le valutazioni in forma orale. Come già osservato nel corso della rassegna della letteratura (Sezione 1.7), non sono molti gli articoli che descrivono la pratica della scuola senza voto; pertanto, rimangono molti aspetti da esplorare. Il progetto della CLOD è stato studiato al termine del suo primo anno di messa in pratica, e le valutazioni in Fisica non hanno ancora trovato una forma definitiva. Si tratta di una occasione importante per osservare quali scelte vengono compiute e quali aspetti vengono modificati con il passare del

tempo e in che modo. In tal senso sarebbe interessante analizzare l'evoluzione del progetto nella sua complessità, considerando non solo i feedback, ma anche come cambiano le opinioni di studentesse e docenti. A partire dall'Anno Scolastico 2025-2026 è stato allestito presso l'istituto un nuovo laboratorio di Fisica. Negli articoli in rassegna non viene mai fatto riferimento ai laboratori: un possibile sviluppo potrebbe consistere nell'indagare le dinamiche che si instaurano quando le sperimentazioni non vengono valutate con voti numerici, osservando, ad esempio, se e in che modo ciò possa favorire un orientamento maggiormente esplorativo, argomentativo e collaborativo.

Si desidera esprimere un sincero ringraziamento alle studentesse, al docente di Fisica e a tutto il consiglio di classe della CLOD, nonché agli uffici e alla direzione delle Scuole Manzoni, che con la loro disponibilità hanno reso possibile questo lavoro.

Bibliografia

Amaldi, U. (2020). *Il nuovo Amaldi per i licei scientifici.blu. Meccanica e Termodinamica*. Zanichelli.

Anderman, E. M. (2006). The Effects of Personal, Classroom, and School Goal Structures on Academic Cheating. In E. M. Anderman, & T. B. Murdock, *Psychology of Academic Cheating* (p. 87-106). Elsevier Science & Technology, . .

Arte, V. (2023). *Crescere senza voti*. Mondadori.

Arte, V., Benvenuto, G., Marini, M., & Livi, S. (2022, Dicembre). La ricerca-azione diventa ricerca-formazione. Genesi e vita del progetto "La Scuola delle Relazioni e delle Responsabilità". *RicercaAzione*, 14(2).

Bacchi, S. (2023, aprile 5). *Dentro la scatola nera #1. Racconti di scuola "senza voto"*. Tratto da La ricerca Loescher: <https://laricerca.loescher.it/dentro-la-scatola-nera-1-racconti-di-scuola-senza-voto/>

Bacchi, S., & Romagnoli, S. (2019). *La classe senza voto*. Milano: Loescher.

Barbier, J.-M. (1989 (ed. or. 1977)). *Valutazione dei processi formativi*. Torino: Loescher.

Benvenuto, G. (2024). *La scuola delle relazioni e della responsabilità*. Edizioni Nuova Cultura.

Benvenuto, G., Natalini, A., & Gervasi, M. (2025). Valutazione descrittiva e opinioni degli studenti: risultati preliminari di una ricerca nella scuola secondaria. *Form@re - Open Journal per la formazione in rete*, 25(2), 603-615.

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Inside the black box: Raising standards through classroom assessment. *Phi Delta Kappan*, 80(2), p. 139-148.

Brookhart, S. M. (2010). *Formative Assessment Strategies for Every Classroom: An ASCD Action Tool*. ASCD.

Butera, F., Buchs, C., & Darnon, C. (2011). *L'évaluation, une menace?* Parigi: Presses Universitaires de France.

Caronna, T. (2021, luglio 21). *La valutazione degli studenti e le sue fasi: diagnostica, formativa e finale*. Tratto da Orizzontescuola.it: <https://www.orizzontescuola.it/la-valutazione-degli-studenti-e-le-sue-fasi-diagnostica-formativa-finale/>

Castillo-Montoya, M. (2016). Preparing for Interview Research: The Interview Protocol Refinement Framework. *The Qualitative Report*, 21(5), 811-831.

Castoldi, M. (2015). *Didattica generale*. Mondadori università.

- Ciani, A., Ferrari, L., & Vannini, I. (2020). *Progettare e valutare per l'equità e la qualità nella didattica*. Milano: Franco Angeli.
- Clark, M. R. (2017). Reducing the Use of and Emphasis on Grades in High School Physics Classes.
- Corsini, C. (2023). *La valutazione che educa*. Milano: FrancoAngeli.
- Corsini, C. (2025). *La fabbrica dei voti. Sull'utilità e il danno della valutazione a scuola*. Laterza.
- Costa, S., Soledad Norton, L., & Pirchio, S. (2024). Discourses about grades and competency-based evaluation: Exploring communicative and situated meanings at an Italian high school. *Social Psychology of Education*, 27, 2177–2198.
- De Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational psychologist*, 31(2), 105-113.
- De Mauro, T. (2018). *Il nuovo De Mauro*. Tratto da Internazionale: <https://dizionario.internazionale.it/>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. New York: Plenum Press.
- Di Sessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(3), 105-225.
- Domenici, G. (2003). *Manuale della valutazione scolastica*. Urbino: Laterza.
- Elliot, A. J., & Church, M. A. (1997). A hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation. *Journal of personality and social psychology*, 72(1), 218-232.
- Elliot, A. J., & Harackiewicz, J. M. (1996). Approach and Avoidance Achievement Goals and Intrinsic Motivation: A mediational analysis. *Journal of personality and social psychology*, 70(3), 461-475.
- Elliot, A. J., & McGregor, H. A. (2001). A 2x2 achievement goal framework. *Journal of personality and social psychology*, 80(3), 501-519.
- Frabboni, F. (2000). *Manuale di didattica generale*. Laterza.
- Frabboni, F., & D'Amore, B. (2005). *Didattica generale e didattica disciplinare*. Milano: Mondadori.
- Franceschini, G. (2017). Didattica generale e valutazione espansa: aspetti epistemologici e metodologici. *Studi sulla Formazione*, 20(2), p. 331-342.
- Gioka, O. (2006). Assessment for learning in physics investigations: assessment criteria, questions and feedback in marking. *Physics Education*, 41(342).
- Gong, Y. X., Rebello, N. S., Melloch, M. R., & Brophy, S. P. (2016). Analytic Framework for Students' Cognitive Mistakes in Studying Electromagnetic Fields. *ASEE Annual Conference & Exposition* (p. #15594). American Society for Engineering Education.

- Greenstein, L. (2017). *La valutazione formativa*. UTET Università.
- Grolnick, W. S., & Ryan, R. M. (1987). Autonomy in Children's Learning: An Experimental and Individual Difference Investigation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52(5), 890-898.
- Hattie, J. (2016). *Apprendimento visibile, insegnamento efficace. Metodi e strategie di successo dalla ricerca evidence-based*. Erikson.
- Hattie, J., & Clarke, S. (2018). *Visible Learning: Feedback*. Routledge.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *Phys. Teach.*, 3(30), 141.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: a historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological bulletin*, 119(2), 254-284.
- Kohn, A. (2013). The Case Against Grades. *Counterpoints*, 451, 143-153.
- Kustus, M. B. (2011). *Student Understanding of Cross Product Direction and Use of Right-hand Rules: An Exploration of Representation and Context-dependence*. Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Landini, A., & Favari, S. (2023). Un modello di valutazione multidimensionale per la scuola secondaria: verso un cambio di paradigma per una continuità verticale. *Lifelong Lifewide Learning*, 19(42), 332 - 342.
- Leahy, S., Lyon, C., Thompson, M., & Wiliam, D. (2005). Classroom assessment minute by minute, day by day. *Educational Leadership*, 63(3), 18-24.
- Lovett-Hooper, G., Komarraju, M., Weston, R., & Dollinger, S. J. (2007). Is Plagiarism a Forerunner of Other Deviance? Imagined Futures of Academically Dishonest Students. *Ethics & Behaviour*, 17, 323-336.
- Majidy, S. (2024). Addressing misconceptions in university physics: A review and experiences from quantum physics educators. *arXiv*. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.20923>
- Mancino. (2024). Tratto da Scuole Manzoni: <https://www.scuolemanzoni.it/wp-content/uploads/2024/11/FISICA-MANCINO-1.pdf>
- Marini, M., & Arte, V. (2021). Innovare la scuola: un progetto di sperimentazione didattica nella "Scuola delle Relazioni e della Responsabilità". *Quale scuola per i cittadini del mondo?* (p. 383-397). Roma: Pensa Multimedia.

- Marini, M., Montebello, M., Arte, V., Livi, S., & Benvenuto, G. (2023). Didattica innovativa e pedagogia inclusiva. L'esperienza degli studenti e delle studentesse nella Scuola delle Relazioni e della Responsabilità. *QTimes*, 1(1). doi:Doi: 10.14668/QTimes_15116
- Marton, F., & Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Inc. Publishers.
- Mashood, K. K. (2014). *Development and evaluation of a concept inventory in rotational kinematics*. Mumbai: Homi Bhabha Centre for Science Education; Tata Institute of Fundamental Research.
- Maton, K. (2014). A TALL order? Legitimation Code Theory for academic language and learning. *Journal of Academic Language & Learning*, 8(3), A34-A48.
- Mattioli, A. (1990). *Guida pratica alla valutazione. orientamenti e strumenti per una valutazione utile*. Faenza: Faenza Editrice.
- McNeil, L. M. (1986). *Contradictions of control: School structure and school knowledge*. Routledge & Kegan Paul.
- MIUR. (2010, Ottobre 7). *Indicazioni Nazionali per i Licei*. Tratto da Istruzione.it: <https://www.istruzione.it/alternanza/allegati/NORMATIVA%20ASL/INDICAZIONI%20NAZIONALI%20PER%20I%20LICEI.pdf>
- National Research Council, Division of Behavioural and Social Sciences and Education, and Board on Science Education. (1997). *Science Teaching Reconsidered: A Handbook*. National Academies Press.
- Oduro, E. O. (2015). Assessment in mathematics classrooms in Ghana: a study of teacher's practices. University of Sussex.
- Orosz, G., Farkas, D., & Roland-Levy, C. (2013). Are competition and extrinsic motivation reliable predictors of academic citing? *Frontiers in psychology*, 4, 87.
- Pulfrey, C., Buchs, C., & Butera, F. (2011). Why Grades Engender Performance-Avoidance Goals: The Mediating Role of Autonomous Motivation. *Journal of Educational Psychology*, 103(3), 683–700.
- Rafika, R., & Syuhendri, S. (2021). Students' misconceptions on rotational and rolling motions. *Journal of Physics Conference Series*, 1816(012016).
- Redazione. (2025, settembre 29). *Nuovo regolamento valutazione: voto delle singole prove, trimestre e quadrimestre, "media dei voti"*. Bruschi fa chiarezza. Tratto da Orizzontescuola: <https://www.orizzontescuola.it/nuovo-regolamento-valutazione-voto-delle-singole-prove-trimestre-e-quadrimestre-media-dei-voti-bruschi-fa-chiarezza/>
- Regione Emilia-Romagna. (2022). *Tra presente e futuro. Essere adolescenti in Emilia-Romagna nel 2022*. Bologna: Centro stampa Regione Emilia-Romagna.

- Regola, S., Maffia, A., & Manolino, C. (2024). Manipolazione Algebrica e Disabilità Visive: Tre Studi di Caso a Confronto. *La Matematica e la sua Didattica*, 32(2), 189-208.
- Rimoldini, L. G., & Singh, C. (2005). Student understanding of rotational and rolling motion concepts. *PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS- PHYSICS EDUCATION RESEARCH*, 1(010102).
- Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. *Instructional science*, 18(2), 119-144.
- Sarioğlu, A. B., & Küçüközer, H. (2014). 11th Grade Students' Conceptual Understanding about Torque Concept: A Longitudinal Study. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 6(2), 162-175.
- Steenkamp, C. M., Rootman-le Grange, I., & Müller-Nedebock, K. K. (2021, Novembre). Analysing assessments in introductory physics using semantic gravity: refocussing on core concepts and context-dependence. *Teaching in Higher Education*, 26(6), 871-886.
- Stevens, S. S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science*, 103(2684), 677-680.
- Sutton, R. (2010). Making formative assessment the way the school does business: The impact and implications of formative assessment for teachers, students and school leaders. In A. L. A. Hargreaves, *Second international handbook of educational change, volume 23 of the series Springer international* (p. 883-899). Springer.
- Svendsen, B., & Burner, T. (2023). Gifted students and gradeless formative assessment: a case study from Norway. *Journal for the Education of the Gifted*, 46(3), 259–275.
- Tuminaro, J., & Redish, E. F. (2007). Elements of a Cognitive Model of Physics Problem Solving: Epistemic Games. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 3(2).
- Vertecchi, B. (2003). *Manuale della valutazione*. Milano: FrancoAngeli.
- Walker, J. S. (2024). *Il Walker seconda edizione. Corso di Fisica. Per il triennio delle Scuole superiori. Con e-book. Con espansione online vol. 1*. Linx.
- Weeden, P., Winter, J., & Broadfoot, P. (2009). *Valutazione per l'apprendimento nella scuola. Strategie per incrementare la qualità dell'offerta formativa*. Erickson.
- Whitmell, T. E. (2020). Teachers navigating their experiences of going gradless in Ontario Canada.
- Wilkinson, S. S. (1980). *The relationship of teacher praise and student achievement: A meta-analysis of selected research*. University of Florida.
- Wisniewski, B., Zierer, K., & Hattie, J. (2020). The Power of Feedback Revisited: A Meta-Analysis of Educational feedback research. *Frontiers in psychology*, 10, 3087.

Appendice A

Griglia di valutazione utilizzata per la correzione della verifica del modulo di apprendimento sulla dinamica rotazionale

Studente:	Valutazione		
	Non Ancora Raggiunto	Raggiunto negli Aspetti Essenziali	Pienamente Raggiunto
Analizzare: esaminare la situazione fisica proposta formulando le ipotesi esplicative attraverso modelli, analogie, o leggi.			
Interpretare il testo 1. m, sostituire valori in l; b. 90°, r c. comprendere direzioni 2. cilindro, v trasl			
Dedurre il modello o la legge che descrive la situazione problematica 1. a. $M=I\alpha$ b. $M=rF\sin\theta$ c. mano destra 2. cons E mecc U_i rotolamento puro K_{tot} $I_{cilindro}$			
Utilizzare il corretto simbolismo 1. segno vettore 2. zero energia potenziale,			
Sviluppare il processo risolutivo: formalizzare situazioni problematiche e applicare gli strumenti matematici e disciplinari rilevanti per la loro risoluzione.			
Impostare un procedimento risolutivo 1. a. $M=I\alpha$ b. $M=rF\sin\theta$ 2. cons E mecc U_i rotolamento puro K_{tot} $I_{cilindro}$			
Svolgere i calcoli specifici 1. l, α $M=I\alpha$ b. $M=rF\sin\theta$ 2. (ricavare l), $v=\omega r$, ricavare v			
Concludere i calcoli 1. l, α a. M , b. F , 2. (l), v; confronto con l'altra velocità.			
Argomentare: descrivere il processo risolutivo adottato e comunicare i risultati ottenuti valutandone la coerenza con la situazione problematica proposta.			
Conoscere i contenuti teorici 1. l M α , reg. mano destra 2. rotolamento puro, cons. en. mecc., $I_{cilindro}$			
Utilizzare la terminologia specifica 1. nel corretto contesto 2. nel corretto contesto			
Costruire un discorso coerente 1. costruzione della frase 2. costruzione della frase			

Appendice B

Fronte e retro del pre-test distribuito all'inizio del tirocinio

NOME: _____ COGNOME: _____

Bologna, 23 aprile 2025

Pretest

Esercizio 1:

Traccia sul foglio la distanza tra il punto e la retta presenti nel disegno.



Esercizio 2:

Un ventilatore appeso al soffitto sta ruotando attorno al suo asse. Considera queste due affermazioni che riguardano due punti qualsiasi del ventilatore che non siano lungo l'asse:

- 1: Ogni particella sul ventilatore ha la stessa velocità tangenziale.
- 2: Ogni particella sul ventilatore ha la stessa velocità angolare.

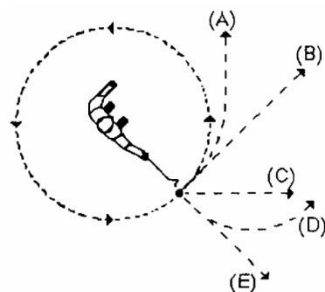
Indica se sono vere entrambe, o solo la prima, o solo la seconda, o nessuna delle due.

Esercizio 3:

In geometria, si può misurare un angolo anche in radianti, oltre che in gradi. Secondo te, cosa significa che un angolo misura 1 radiante? Prova a spiegarlo usando le idee di cerchio, raggio e arco.

Esercizio 4:

Una palla pesante è attaccata ad una corda e viene fatta roteare lungo una traiettoria circolare su un piano orizzontale (come in figura). Nel punto indicato nell'immagine, la corda si stacca improvvisamente dalla palla. Osservando questa scena dall'alto, indica il percorso della palla in seguito al distacco dalla corda.



Esercizio 5:

Una ragazza spinge una slitta su una superficie ghiacciata molto liscia, dopodiché ci sale sopra. Cosa succede? Perché?

Cosa succederebbe se la superficie fosse sabbiosa?

Cosa potrebbe fare la ragazza se, rimanendo dentro la slitta, volesse fermarsi prima?

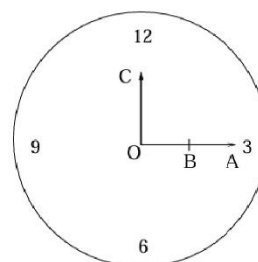
Esercizio 6:

Tre ragazzi con la stessa massa stanno correndo nel parco: Giorgio è salito sulle spalle di Matteo, che corre ad una certa velocità v . Sara invece corre da sola, al doppio della loro velocità. Della loro energia cinetica potremo dire che:

- (a) Giorgio e Matteo hanno maggiore energia cinetica di Sara.
- (b) Giorgio e Matteo hanno uguale energia cinetica di Sara.
- (c) Giorgio e Matteo hanno minore energia cinetica di Sara.
- (d) Non si può dire nulla.

Esercizio 7:

In figura si trova un orologio appeso ad un muro, con due lancette: la lancetta dei secondi e quella dei minuti (la lancetta delle ore non è presente nel disegno). Il punto A si trova sulla punta della lancetta dei secondi, mentre a metà della stessa asta si trova il punto B (in altre parole, chiamando O il centro dell'orologio, si può dire che il segmento OA è lungo due volte il segmento OB). Sulla punta della lancetta dei minuti si trova invece il punto C.



ω_A , ω_B e ω_C sono le velocità angolari dei tre punti A, B e C rispettivamente.

Queste velocità angolari in che relazione sono tra loro? Scegli tra le quattro opzioni seguenti quella che ritieni corretta:

- (a) $\omega_A > \omega_C > \omega_B$
- (b) $\omega_A = \omega_B = \omega_C$
- (c) $\omega_A = \omega_B > \omega_C$
- (d) $\omega_A > \omega_B = \omega_C$

Appendice C

La verifica al termine del modulo di apprendimento sulla Dinamica Rotazionale, nella versione completa e, successivamente, semplificata.

Scuole Manzoni, Via Scipione Dal Ferro 10/2, 40138 Bologna (BO)

VERIFICA DI FISICA

Cognome e nome: Classe: Data:

- Svolgere gli esercizi mostrando tutti i passaggi (è consentito l'uso della calcolatrice). Si consiglia di svolgere prima tutti i calcoli algebrici senza sostituire i valori numerici, e fare questa operazione solo dopo aver ottenuto l'espressione finale.
- Il presente foglio va consegnato insieme al foglio protocollo di bella copia. Eventuali fogli di brutta copia, sia protocollo sia singoli, non verranno ritirati.
- Eventuali calcoli svolti a matita non verranno considerati in fase di valutazione.
- Non è consentito l'uso di correttori e/o bianchetti.

Tempo di svolgimento: 110 minuti

ESERCIZIO 1

Durante un sabato sera, la tua compagnia di amici decide di giocare al gioco della bottiglia. Alice vuole cogliere l'occasione per provare a baciare il ragazzo che le piace; ti chiede quindi di aiutarla, sfruttando le tue grandi conoscenze in fisica. Sull'etichetta della bottiglia di vetro c'è scritto che la tara è di 800 grammi. Riconosci che la bottiglia vuota è un oggetto dalla forma un po' particolare, alto $h=25$ cm e con un raggio di 4 cm. Cercando su google scopri che per questo oggetto il momento di inerzia vale $I=\frac{1}{2}mr^2+\frac{1}{12}mh^2$. Da una attenta analisi della situazione riesci anche a comprendere che la accelerazione angolare necessaria per il tiro perfetto è di $38 \frac{rad}{s^2}$.

- Quanto momento della forza dovrà applicare Alice per fare ruotare la bottiglia esattamente quanto desidera?
- Alice applicherà una forza perpendicolarmente alla bottiglia, distante 6 cm dall'asse di rotazione. Quanta forza dovrà applicare per ottenere quel valore di momento della forza?
- Sapendo che la bottiglia ruoterà in senso orario, quali sono la direzione e il verso del momento della forza?

ESERCIZIO 2

Mentre si trova al supermercato a fare acquisti, un anziano cliente distratto urta uno scaffale. Dal ripiano colpito, alto 1,30 m, cade una lattina di thé da 350g. La lattina arriva a terra e comincia a rotolare senza strisciare né slittare. Il signore, poiché anziano, si mette a inseguire la lattina camminando a 3 km/h. Sapendo che il raggio della lattina è di 2,5 cm, riuscirà a raggiungere la lattina?

Per entrambi gli esercizi, descrivi o commenta lo svolgimento a parole, descrivendo e argomentando il procedimento che hai scelto di seguire, quali equazioni hai scelto di usare e perché ti sembrano adatte.

Scuole Manzoni, Via Scipione Dal Ferro 10/2, 40138 Bologna

VERIFICA DI FISICA

Cognome e nome: Classe: Data:

- Svolgere gli esercizi mostrando tutti i passaggi (è consentito l'uso della calcolatrice). Si consiglia di svolgere prima tutti i calcoli algebrici senza sostituire i valori numerici, e fare questa operazione solo dopo aver ottenuto l'espressione finale.
 - Il presente foglio va consegnato insieme al foglio protocollo di bella copia. Eventuali fogli di brutta copia, sia protocollo sia singoli, non verranno ritirati.
 - Eventuali calcoli svolti a matita non verranno considerati in fase di valutazione.
 - Non è consentito l'uso di correttori e/o bianchetti.
- Tempo di svolgimento: 110 minuti

ESERCIZIO 1

Durante un sabato sera, la tua compagnia di amici decide di giocare al gioco della bottiglia. Alice vuole cogliere l'occasione per provare a baciare il ragazzo che le piace; ti chiede quindi di aiutarla, sfruttando le tue grandi conoscenze in fisica.

Sull'etichetta della bottiglia di vetro c'è scritto che la tara è di 800 grammi. Riconosci che la bottiglia vuota è un oggetto dalla forma un po' particolare, alto $h=25$ cm e con un raggio $r=4$ cm. Cercando su google scopri che per questo oggetto il momento di inerzia vale $I=\frac{1}{2}mr^2+\frac{1}{12}mh^2$.

Calcola il momento di inerzia della bottiglia, utilizzando i dati.

Da una attenta analisi della situazione riesci anche a comprendere che la accelerazione angolare necessaria per il tiro perfetto è di $38 \frac{rad}{s^2}$.

Quale equazione mette in relazione il momento d'inerzia, l'accelerazione angolare e il momento delle forze?

- a) Quanto momento della forza dovrà applicare Alice per fare ruotare la bottiglia esattamente quanto desidera?

Qual è l'equazione che mette in relazione la forza, il momento della forza e la distanza dal punto di rotazione?

- b) Alice applicherà una forza perpendicolarmente alla bottiglia, distante 6 cm dall'asse di rotazione. Quanta forza dovrà applicare per ottenere quel valore di momento della forza?

ESERCIZIO 2

Mentre si trova al supermercato a fare acquisti, un anziano cliente distratto urta uno scaffale. Dal ripiano colpito, alto 1,30 m, cade una lattina di thé da 350g e di raggio 2,5 cm.

Quale e quanta energia possedeva la lattina in cima al ripiano?

La lattina arriva a terra e comincia a rotolare senza strisciare né slittare.

Tutta l'energia di partenza si converte in energia cinetica. Qual è l'espressione dell'energia cinetica della lattina?

Quale condizione si verifica quando un oggetto rotola?

Calcola il momento di inerzia della lattina.

Sfruttando questa condizione, calcola la velocità di traslazione della lattina, ovvero v .

Il signore, poiché anziano, si mette a inseguire la lattina camminando a 0,83 m/s. Riuscirà a raggiungere la lattina?

Confronta le due velocità.

Per entrambi gli esercizi, descrivi o commenta lo svolgimento a parole, descrivendo e argomentando il procedimento che hai scelto di seguire, quali equazioni hai scelto di usare e perché ti sembrano adatte.