

Scuola di Scienze  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Corso di Laurea Magistrale in Fisica

Il modello degli *epistemic game* per la  
progettazione di strumenti di analisi di  
problemi: uno studio sull'induzione  
elettromagnetica nella scuola secondaria

Relatore:  
Prof.ssa Olivia Levrini

Presentata da:  
Ilaria Giovannelli

Correlatore:  
Dott.ssa Eleonora Barelli  
Dott.ssa Laura Branchetti  
Dott. Niccolò Vernazza

*Alla mia mamma,  
al mio babbo,  
alle mie forze*

# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>6</b>
<b>Capitolo 1 - Il contesto teorico .....</b>	<b>9</b>
1.1 Il rapporto matematica/fisica e il suo ruolo nell'insegnamento e apprendimento della fisica .....	9
1.2 Il modello degli <i>epistemic game</i> .....	13
1.3 Il caso: l'elettromagnetismo nella ricerca in Didattica della Fisica .....	23
1.4 L'induzione elettromagnetica nella ricerca in Didattica della Fisica .....	26
1.5 Dal contesto teorico allo sviluppo di attività concrete: gli obiettivi dello studio .....	31
<b>Capitolo 2 - Lo studio: contesto, metodi e attività.....</b>	<b>33</b>
2.1 Il contesto .....	34
2.1.1 Il docente e il rapporto matematica/fisica .....	38
2.2 Progettazione e realizzazione delle attività .....	42
2.2.1 Costruzione della situazione di partenza .....	44
2.2.2 Lo strumento per l'analisi di problemi e suo utilizzo in classe .....	47
2.2.3 Valutazione del percorso .....	53
2.3 Metodologia e domande di ricerca .....	55
<b>Capitolo 3 - Analisi dei dati e risultati.....</b>	<b>56</b>
3.1 Le strategie di <i>problem solving</i> degli studenti: la situazione iniziale.....	57

3.1.1 Discussione preliminare dei risultati .....	67
3.2 Le reazioni degli studenti all'intervento didattico .....	68
3.2.1 Riflessioni e discussioni collettive innescate dalla griglia .....	69
3.2.2 Utilizzo della griglia per riflessioni individuali .....	76
3.3 Valutazione del percorso .....	85
3.3.1 Valutazione dell'esperienza da parte degli studenti .....	85
3.3.2 Valutazione dell'esperienza da parte del docente .....	94
<b>Conclusioni .....</b>	<b>97</b>
<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>101</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>103</b>
<b>Appendice A.....</b>	<b>107</b>
<b>Appendice B.....</b>	<b>112</b>
<b>Appendice C.....</b>	<b>114</b>



# Introduzione

*“Sono salito sulla cattedra per ricordare a me stesso che dobbiamo sempre guardare le cose da angolazioni diverse. Venite a vedere voi stessi. È proprio quando credete di sapere qualcosa che dovete guardarla da un'altra prospettiva.”*

*[dal film “L’attimo fuggente” (1989)]*

“Guardare le cose da un’altra prospettiva”. Nel film “L’attimo fuggente”, il professor John Keating, interpretato da Robin Williams, sale sulla cattedra per insegnare ai suoi alunni come ogni cosa possa essere vista da tanti punti di vista.

Questo è anche uno dei molteplici scopi del lavoro compiuto in questa tesi e del nucleo di ricerca in Didattica della Fisica in cui esso si colloca. Questo gruppo dell’Università di Bologna, coordinato dalla prof.ssa Olivia Levrini e costituito da ricercatori, laureandi, dottorandi e docenti di scuola secondaria, affronta diversi temi e persegue vari obiettivi, tra i quali il miglioramento dell’insegnamento a livello di scuola secondaria di II grado mediante la progettazione di materiali e corsi per la formazione dei docenti.

Questo lavoro di tesi, in particolare, si colloca nel contesto dello studio delle criticità nell’insegnamento e apprendimento dell’elettromagnetismo, intrecciato al tema dell’interdisciplinarietà matematica/fisica nell’ambito del *problem solving*. L’obiettivo principale è la progettazione di uno strumento che possa portare gli

studenti ad analizzare criticamente il testo di un problema e sviluppare ragionamenti che non si limitino al mero utilizzo di strumenti matematici, ma che tendano alla formazione di competenze raffinate di *problem solving*. Questo obiettivo si è concretizzato nello sviluppo di una griglia di meta-riflessione mirata a guidare lo studente a “porsi le domande giuste” e cambiare lo sguardo al problema. Per valutarne l'efficacia, questo strumento è stato utilizzato in una classe V del Liceo Scientifico dell'Istituto di Istruzione Superiore “M. Montessori – L. Da Vinci” di Porretta Terme (BO) durante una sperimentazione svoltasi tra dicembre 2017 e febbraio 2018.

In particolare, è stato scelto di introdurre tale strumento nell'ambito dell'induzione elettromagnetica. La scelta di questo argomento come tema cardine per veicolare innovazione metodologica è stata guidata da diverse motivazioni: i) è un argomento in cui sono presenti numerose criticità per gli studenti; ii) la maggior parte delle difficoltà concettuali si ricollega alle complesse relazioni tra fenomenologia e modellizzazione e quindi al rapporto fisica/matematica; iii) è uno dei temi più importanti e probabili del curriculum italiano su cui può essere condotto l'esame finale e quindi insegnanti e scuole incoraggiano lo sviluppo di questo tipo di studio (anche in relazione alla riforma dell'esame di Stato e della seconda prova in Fisica).

Il lavoro di tesi è articolato in quattro capitoli. Nel primo viene illustrato il contesto teorico alla base dello studio, attraverso la presentazione dei principali riferimenti utilizzati: il modello di Uhdén et al. [2012] per il rapporto matematica/fisica e il modello degli “*epistemic game*” di Tuminaro e Redish [2007] per le strategie di *problem solving*. Il capitolo include anche una panoramica sullo stato dell'arte della ricerca in Didattica della Fisica sull'elettromagnetismo e sull'induzione elettromagnetica.

Nel secondo capitolo viene presentato il contesto e vengono discussi gli strumenti utilizzati nello studio: quelli utilizzati per costruire il quadro di partenza; la griglia di meta-riflessione con i suoi obiettivi, le sue motivazioni di ricerca e i suoi utilizzi nella classe; il questionario di valutazione finale per raccogliere dati su come gli studenti hanno vissuto l'esperienza nel suo complesso. Il capitolo si chiude presentando le domande di ricerca e la metodologia adottata per l'analisi dei dati.

Nel terzo capitolo si presentano l'analisi dei dati raccolti durante la sperimentazione e i risultati ottenuti.

Infine, nelle conclusioni vengono discussi, alla luce dei risultati, i punti di forza e di debolezza dello strumento progettato ed i possibili sviluppi di ricerca.

# Capitolo 1

## Il contesto teorico

### 1.1 Il rapporto matematica/fisica e il suo ruolo nell'insegnamento e apprendimento della fisica

Il tema dell'interdisciplinarietà tra matematica e fisica nell'insegnamento è oggetto di importanti studi di ricerca ma è ben lontano dall'essere sviscerato nella sua complessità.

Nei licei italiani, matematica e fisica sono solitamente insegnate dallo stesso docente che può essere laureato in matematica o in fisica; nonostante ciò, le due discipline sono insegnate in modo separato nella maggior parte dei casi, anche perché la loro integrazione richiede materiali, conoscenze e competenze che non sono solitamente sviluppate nei corsi di formazione dei docenti.

Nel 2015 la rivista *Science & Education* ha ospitato un numero speciale sul tema dell'interdisciplinarietà e Ricardo Karam, nell'introduzione a questo numero speciale, scrive: “nell'insegnamento della fisica, è normale che la matematica sia vista come un semplice strumento per descrivere e calcolare, mentre nella didattica della matematica, la fisica è comunemente vista come un possibile contesto per l'applicazione di concetti matematici che sono stati precedentemente definiti in modo astratto.” [Karam, 2015, p. 487]. Nel numero speciale sono presentati casi di studio storici per ampliare e

problematizzare gli intrecci e l'interazione tra matematica e fisica. Ad esempio Brush mostra come la matematica sia stata un istigatore di rivoluzioni scientifiche [Brush, 2015], mentre Kragh sottolinea il "potere creativo delle analogie formali in fisica", dimostrando che la matematica fornisce strutture formali che ci permettono di ragionare su fenomeni nuovi rispetto a quelli noti [Kragh, 2015]. I casi di studio lì riportati, così come quelli studiati e analizzati da Tzanakis [2016], mostrano quanto la matematica non sia stata soltanto un mero *strumento tecnico*, ma abbia storicamente svolto un ruolo molto più complesso e fondamentale nell'articolare e *strutturare* il pensiero fisico. La distinzione tra ruolo tecnico e ruolo strutturale svolto dalla matematica in fisica è alla base degli studi di Pietrocola, di Pospiech e del modello che Uhden, Karam, Pietrocola e Pospiech hanno sviluppato nel 2012 come revisione del ciclo di modellizzazione di Blum e Leiß [2005].

Questi studi si basano su un'evidenza quasi banale ma che permette di spiegare molte difficoltà che gli studenti incontrano nel *problem solving* e nella comprensione dei processi di modellizzazione matematica in fisica: le abilità tecniche "associate a pure manipolazioni matematiche" sono, per l'apprendimento della fisica, condizione necessaria ma non sufficiente, dato che "utilizzare la matematica in fisica è semanticamente diverso dalla matematica pura"; per questo occorrono abilità specifiche di tipo strutturale, ovvero abilità "legate alla capacità di utilizzare la conoscenza matematica per strutturare le situazioni fisiche" [Uhden et al., 2012, p.493].

Nell'insegnamento, la distinzione tra ruolo tecnico e strutturale della matematica emerge in modo molto evidente se non si considerano soltanto gli usuali problemi chiusi già formulati e predisposti per una loro trattazione tecnica, ma si considerano problemi che impongono di considerare i processi di modellizzazione matematica in fisica.

Nella figura seguente (1.1) è rappresentato il modello elaborato da Uhden e colleghi, per evidenziare la distinzione tra abilità tecniche e strutturali, così come l'intreccio tra matematica e fisica nel processo di modellizzazione.

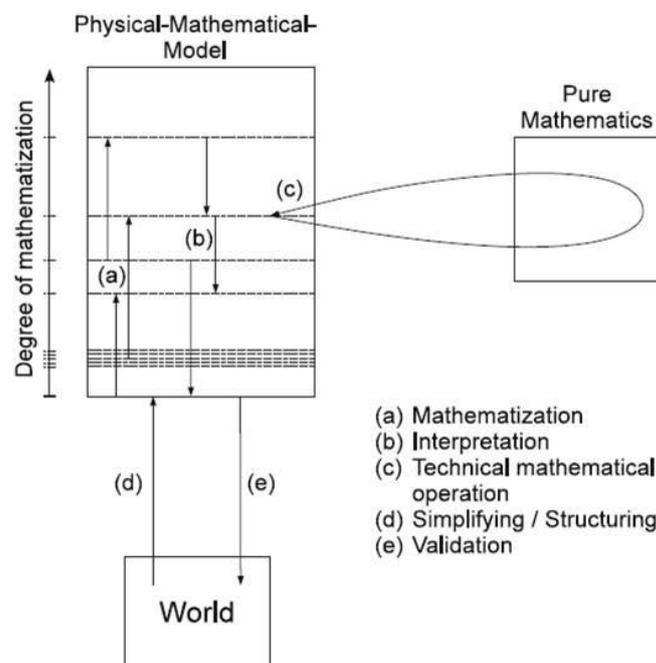


Figura 1.1: Diagramma schematico del modello presentato da Uhden et al. [2012]

Nella figura, le abilità tecniche sono rappresentate dal ciclo che si sposta dal rettangolo e torna indietro (c). Non hanno di per sé alcun riferimento fisico: sono pure capacità matematiche "correlate al dominio strumentale delle regole algoritmiche (ad esempio isolamento di una variabile, operazioni con le frazioni, operazioni di derivazione e integrazione di una funzione, risoluzione di un'equazione), alla semplice consultazione di una relazione in una lista data (es. regole di derivazione, identità trigonometriche e momenti di inerzia) o alla citazione di proprietà e teoremi usando principi di autorità (es. teorema di Pitagora o di Stokes e proprietà associativa)." [Uhden et al., 2012, p. 498].

Le abilità strutturali corrispondono ai processi chiamati "matematizzazione" (a) ed "interpretazione" (b) e sono rappresentati all'interno del rettangolo per mostrare l'intreccio fondamentale tra matematica e fisica nei processi di modellizzazione. La matematizzazione riguarda il processo di trasformazione di un problema fisico in una espressione matematica (a diversi livelli), mentre l'interpretazione è "correlata alla capacità di "leggere" le equazioni, esplicitando il loro significato con l'uso di parole e schemi, identificando casi speciali o casi limite e facendo previsioni fisiche a partire dal formalismo" [Uhden et al., 2012, p. 498].

Uhden e colleghi hanno sviluppato il proprio modello come modifica e sviluppo del *modelling cycle* di Borromeo Ferri e colleghi [2006] che si basava su una distinzione piuttosto netta tra modello matematico e modello fisico. Nel modello di Uhden e colleghi si sottolinea quanto l'ambiente fisico-matematico sia uno spazio interdisciplinare dove applicare le abilità *strutturali* (matematizzazione, interpretazione) mentre l'ambiente matematico puro è quello adibito ai passaggi *tecnici* (calcoli, manipolazioni, relazioni). All'interno del modello fisico-matematico sono presenti diversi livelli: il livello "zero", in cui si ha pura fisica qualitativa, rappresenta il livello di partenza, ossia quello che deve essere raggiunto per il passaggio da e per il mondo reale, attraverso i processi denominati rispettivamente "*idealizzazione*" e "*validazione*". I passaggi tra i diversi livelli interni di matematizzazione crescente sono permessi grazie all'utilizzo delle capacità strutturali, ossia ragionamenti logico-deduttivi. Quando si affrontano i calcoli tecnici, invece, si passa nell'ambiente della matematica pura e, non essendoci riferimenti fisici, si ritorna allo stesso livello nell'ambiente fisico-matematico.

Il modello presentato da Uhden et al. è stato utilizzato da Branchetti, Cattabriga e Levrini come chiave per analizzare articoli originali di Planck ed estrapolarne il ruolo della matematica nella costruzione e interpretazione della famosa legge di distribuzione che ha aperto la strada alla fisica quantistica [Branchetti et al., 2018]. L'analisi del caso storico ha portato alla costruzione di un documento di ricostruzione del ragionamento di Planck e di un tutorial di analisi del documento da utilizzare in contesti di formazione insegnanti. L'utilizzo del tutorial in tre diversi contesti ha permesso di mettere in evidenza una tendenza diffusa tra docenti, soprattutto se laureati in matematica, che è stata chiamata dalle ricercatrici, in forma gergale, "mancanza di *occhio grande*": gli insegnanti, non appena si chiedeva loro di ripercorrere passaggi matematici di Planck, tendevano a perdersi nei dettagli del ragionamento (in strategie di "*occhio piccolo*") e perdevano il senso dell'intero processo di modellizzazione. In riferimento al modello di Uhden et al., si è notata una tendenza a infilarsi nei dettagli tecnici e a rimanere intrappolati nel riquadro esterno della figura 1.1 (i docenti erano "*lost in detail*").

A partire da questa evidenza, le ricercatrici bolognesi hanno modificato progressivamente la griglia di analisi del documento (il tutorial), per favorire il riconoscimento, nel ragionamento di Planck, di strategie di "*occhio grande*" e per

favorire lo sviluppo di competenze per muoversi consapevolmente dal dettaglio al senso complessivo e dal senso complessivo al dettaglio.

Esempi di strategie di *occhio grande* che si voleva che gli insegnanti riconoscessero nel ragionamento di Planck erano:

- a) Anticipazione (individua l'obiettivo desiderato e prefigura il risultato che vuole ottenere attraverso strategie di *occhio piccolo*);
- b) Analogia e confronto (crea una mappatura tra il problema affrontato e un problema formulato all'interno di un'altra teoria);
- c) Costruzione dello sfondo e collocazione del problema in un nuovo background teorico (inquadra il problema in una teoria, per usare i suoi metodi, principi e risultati).

L'analisi di casi storici e degli articoli originali alla luce del modello di Uhden et al. mostra come le "strategie di *occhio grande*" siano necessarie per caratterizzare il ragionamento scientifico autentico, quello che valorizza la ricchezza del rapporto tra matematica e fisica e sottolinea il ruolo strutturale della modellizzazione matematica. Molto spesso, però, la pratica scolastica si concentra esclusivamente sullo sviluppo di competenze tecniche di *occhio piccolo* e questo, oltre a nascondere l'affascinante intreccio tra matematica e fisica, induce atteggiamenti schematici e poco efficaci per il *problem solving*. Questo è ciò che mostreremo nel prossimo paragrafo nel quale, per evidenziare e analizzare al meglio le differenze intrinseche fra i diversi schemi mentali messi in atto da studenti e esperti nel *problem solving*, presentiamo il nostro principale riferimento teorico, ossia il modello degli *epistemic game*.

## 1.2 Il modello degli *epistemic game*

In un celebre articolo del 2007, Tuminaro e Redish aspirano a fornire un quadro per offrire ai ricercatori e agli educatori un "vocabolario" (una classificazione ontologica delle strutture cognitive) e una "grammatica" (una descrizione della relazione tra le strutture cognitive) per descrivere le modalità con cui studenti ed esperti risolvono problemi e gestiscono l'uso della matematica nel contesto della fisica [Tuminaro & Redish, 2007].

Questa ricerca si basa sul modello cognitivo più generale denominato “*Resource Model*”, che fa tesoro di importanti risultati che provengono dalle neuroscienze, dalle scienze cognitive e dalla scienza comportamentale. Il modello prevede l’esistenza di diversi elementi fondamentali alla base di ogni processo cognitivo (*resource*): i) elementi di base della conoscenza memorizzati nella memoria a lungo termine (*knowledge element*); ii) modi in cui tali elementi sono collegati e associati (*knowledge structure*); iii) modi in cui tali strutture collegate sono attivate in diverse circostanze (*control structure*). La “compilazione” consiste nel combinare tra loro diversi *knowledge element* in una *knowledge structure* per ottenere un nuovo elemento di conoscenza che a sua volta, e a seconda del contesto, può essere utilizzato come elemento singolo ed irriducibile oppure può essere decomposto in elementi più semplici. L’apprendimento consiste nella modifica della rete di collegamenti (*structure*) tra i diversi *elementi* di base. Le principali risorse (*resource*) vengono identificate nella conoscenza matematica intuitiva e nelle “*primitive fenomenologiche*”, ossia in risorse cognitive intuitive, intrinseche ed irriducibili ottenute dall’osservazione dei fenomeni di tutti i giorni. Da queste ultime poi derivano le “*primitive di ragionamento*”, cioè l’astrazione delle esperienze quotidiane che generalizza e ingloba diverse primitive fenomenologiche. Per riportare un esempio chiarificatore, una primitiva di ragionamento può essere “un agente causa un effetto” che racchiude diverse primitive fenomenologiche come “una forza causa un movimento” o “una forza causa una rotazione”.

Basandosi su questo *resource model*, si assume che gli studenti abbiano un patrimonio di *resource* e la domanda affrontata da Tuminaro e Redish diventa: come sono organizzate ed utilizzate dagli studenti tali risorse per la risoluzione dei problemi in fisica? I due ricercatori propongono una classificazione delle strategie applicate dallo studente in sei *control structure*, introdotte con il termine “*epistemic game*”. Questo concetto era già stato introdotto nel 1993 da Collins e Ferguson che li avevano definiti come “complesso insieme di regole e strategie che guidano la ricerca” utilizzate dagli esperti nel loro campo di interesse [Collins & Ferguson, 1993, p. 25]. Questa definizione è stata però arricchita e riadattata per poter utilizzare questo termine anche per il comportamento degli studenti nel contesto della risoluzione dei problemi di fisica. Tuminaro e Redish li definiscono come:

“attività coerenti che utilizzano particolari tipi di conoscenza (e processi legati a quel tipo di conoscenza) per creare conoscenza nuova o risolvere un problema”.

[Tuminaro & Redish, 2007, p. 4]

Il termine “*epistemic*” indica che l'attività coinvolge forme di conoscenza (*resources*) per costruire nuova conoscenza; il termine “*game*” fa invece riferimento al fatto che si tratta di un'attività riconoscibile e coerente, dotata, come ogni gioco, di *componenti ontologiche* (una base di conoscenza e forme rappresentative) e *componenti strutturali* (inizio e fine, mosse, regole). Un *epistemic game* ha *risorse cognitive* (primitive e non, ossia concetti, principi ed equazioni) come componenti ontologiche e stati iniziali e finali, mosse permesse e regole come componenti strutturali. È inoltre un'attività *coerente* perché per un certo periodo di tempo (da pochi minuti a mezz'ora) gli studenti ragionano usando un insieme limitato di *resource* associate. Questa coerenza non implica però consapevolezza: la maggior parte degli studenti non sceglie consapevolmente di eseguire un particolare *epistemic game* né è in grado di riconoscere quale gioco sta mettendo in atto. Nella tabella successiva 1.1 riportiamo schematicamente le caratteristiche principali di un *epistemic game* (indicato anche con *e-game*) insieme ad un esempio, il “*list making*”, ossia compilare una lista in risposta ad una domanda.

**Tabella 1.1: Componenti principali di un *e-game* con riferimenti all'esempio di *list making* (tra parentesi)**

<b>Componenti ontologiche</b>	
<b>Conoscenza di base</b>	Insieme di risorse cognitive utilizzate per quel particolare <i>e-game</i> . (→ <i>insieme di elementi che considero per la risposta</i> )
<b>Forma epistemica</b>	Rappresentazione finale che guida la ricerca. (→ <i>la lista stessa</i> )

---

## Componenti strutturali

---

<b>Condizioni di partenza e arrivo</b>	Condizioni per l'inizio e la fine di un particolare <i>e-game</i> , determinate anche dalle aspettative degli studenti sul problema proposto; quest'ultime dipendono dalla classificazione del problema e da preconetti sulla natura del <i>problem solving</i> in fisica. (→ <i>Inizio: rispondere alla domanda; Fine: termine della lista</i> )
<b>Mosse</b>	Attività che si verificano durante lo svolgimento dell' <i>e-game</i> (le "regole del gioco"); a seconda del contesto, il set di mosse permesse sarà diverso. (→ <i>aggiungere o togliere un elemento dalla lista</i> )

---

Tuminaro e Redish hanno utilizzato il modello appena descritto per analizzare le strategie nella risoluzione di problemi messe in campo da studenti universitari iscritti ad un corso introduttivo di fisica e da esperti. Il lavoro di analisi li ha condotti ad identificare sei diversi *e-game* che andiamo ad elencare in ordine decrescente di complessità:

1. **"Mapping Meaning to Mathematics"**: rappresenta l'*e-game* intellettualmente più complesso. Coloro che lo praticano iniziano con la ricerca di una comprensione concettuale della situazione fisica descritta nel testo del problema e proseguono con la formulazione di una soluzione quantitativa. In figura 1.2 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse. La conoscenza di base per questo *e-game* è costituita dall'insieme di risorse fisiche e matematiche: i principi fondamentali della fisica (ad esempio la legge

sull'induzione elettromagnetica o le leggi di Ohm), la conoscenza intuitiva della matematica ma anche quelle *primitive di ragionamento*, come "un'azione causa un effetto". La forma epistemica è in genere la serie di espressioni matematiche che i solutori generano durante la seconda e la terza mossa. L'ultima mossa ("Valutazione della storia") rappresenta il momento in cui i solutori controllano la loro soluzione quantitativa confrontandola con soluzioni date o con la propria storia concettuale iniziale.

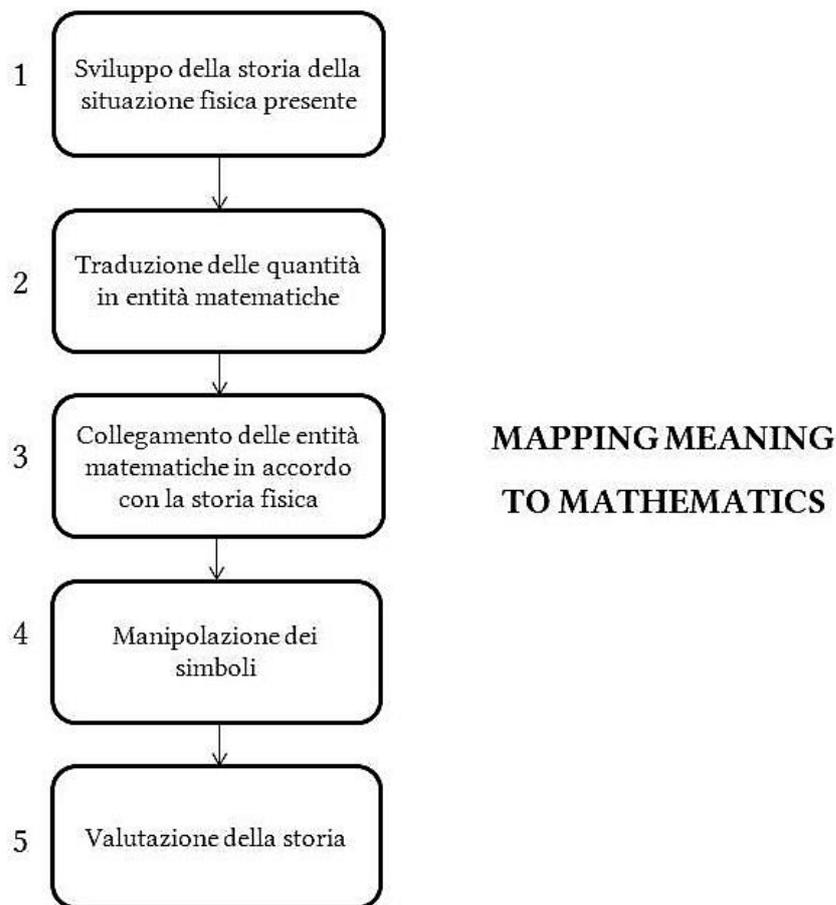


Figura 1.2: Diagramma schematico delle mosse principali nell'*e-game* "Mapping Meaning to Mathematics".

2. "**Mapping Mathematics to Meaning**": il solutore sviluppa una storia concettuale corrispondente ad una particolare equazione fisica. Le componenti ontologiche sono le stesse dell'*e-game* precedente. La differenza risiede nel punto di partenza: nel precedente i solutori traducono la storia concettuale in

espressioni matematiche, qui invece è un'equazione fisica che viene utilizzata come base per sviluppare la storia. In figura 1.3 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse.

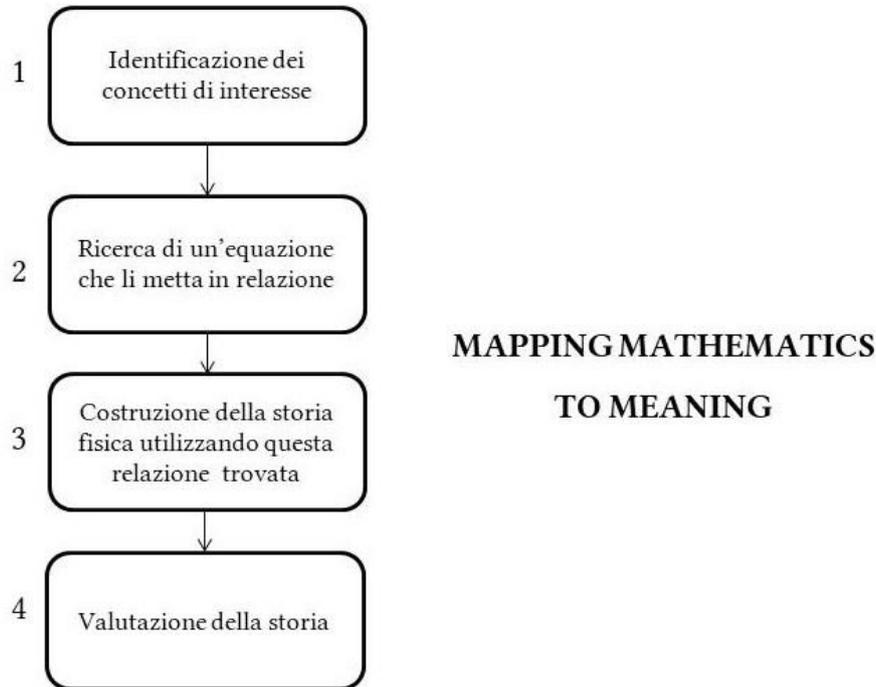


Figura 1.3: Diagramma schematico delle mosse principali nell'*e-game* "Mapping Mathematics to Meaning".

3. "**Physical Mechanism Game**": il solutore costruisce una storia fisicamente coerente e descrittiva, basata essenzialmente sulla sua intuizione del meccanismo fisico che sta alla base del fenomeno. La particolarità di questo *e-game* è che non esiste alcun riferimento esplicito a equazioni o principi fisici, la conoscenza di base utilizzata è solo quella intuitiva (*primitive*) senza far intervenire quella formale. La forma epistemica è quindi solo una descrizione dei meccanismi che si vedono alla base del fenomeno: si sviluppa una storia ma non si trova realmente la soluzione perché non si fa mai uso di una formula rigorosa. In figura 1.4 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse.

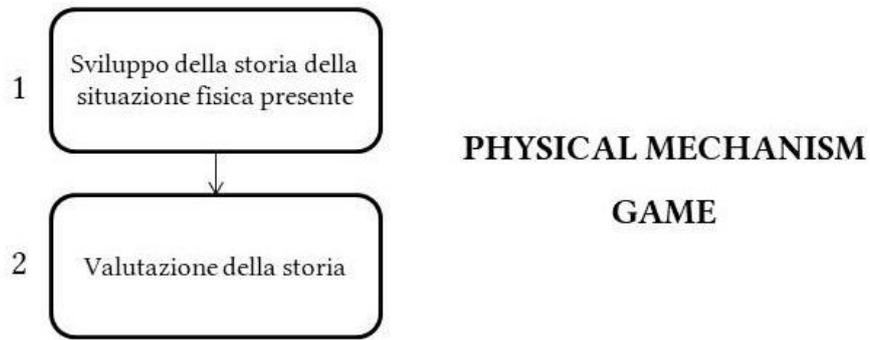


Figura 1.4: Diagramma schematico delle mosse principali nell'*e-game* "Physical Mechanism Game".

4. "**Pictorial Analysis**": il solutore crea una rappresentazione spaziale esterna che specifica le relazioni fra le varie grandezze (un diagramma di corpo libero, un disegno schematico della situazione fisica, uno schema circuitale). La conoscenza di base comprende tutte le risorse già descritte nei casi precedenti più le risorse di traduzione rappresentativa. La forma epistemica è la rappresentazione schematica costruita dal solutore. In figura 1.5 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse (che ovviamente dipendono molto anche dalla particolare forma rappresentativa scelta dal solutore).
5. "**Recursive Plug-and-Chug**": il solutore identifica le quantità ignote (*target*) e le inserisce in una qualsiasi equazione fisica che le coinvolga; l'unico scopo è produrre un risultato numerico senza alcuna comprensione concettuale delle implicazioni fisiche dei propri calcoli. La natura di questo *e-game* è *ricorsiva*: se nell'equazione scelta il solutore trova un'altra quantità incognita, andrà a ricercare una nuova equazione per poterla calcolare finché non arriva al risultato desiderato. La conoscenza di base è la comprensione sintattica intuitiva (non concettuale) dei simboli fisici. Anche se le risorse coinvolte sono molto diverse, la forma epistemica di questo *e-game* è simile a quella già vista per il "Mapping Meaning to Mathematics" e il "Mapping Mathematics to Meaning". In figura 1.6 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse e in cui si può notare la natura ricorsiva

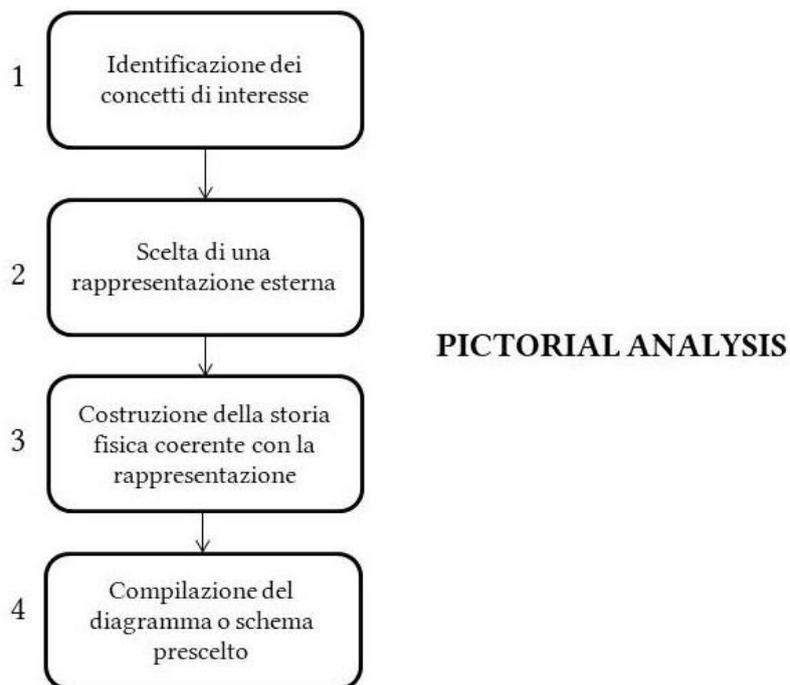


Figura 1.5: Diagramma schematico delle mosse principali nell'e-game "Pictorial Analysis".

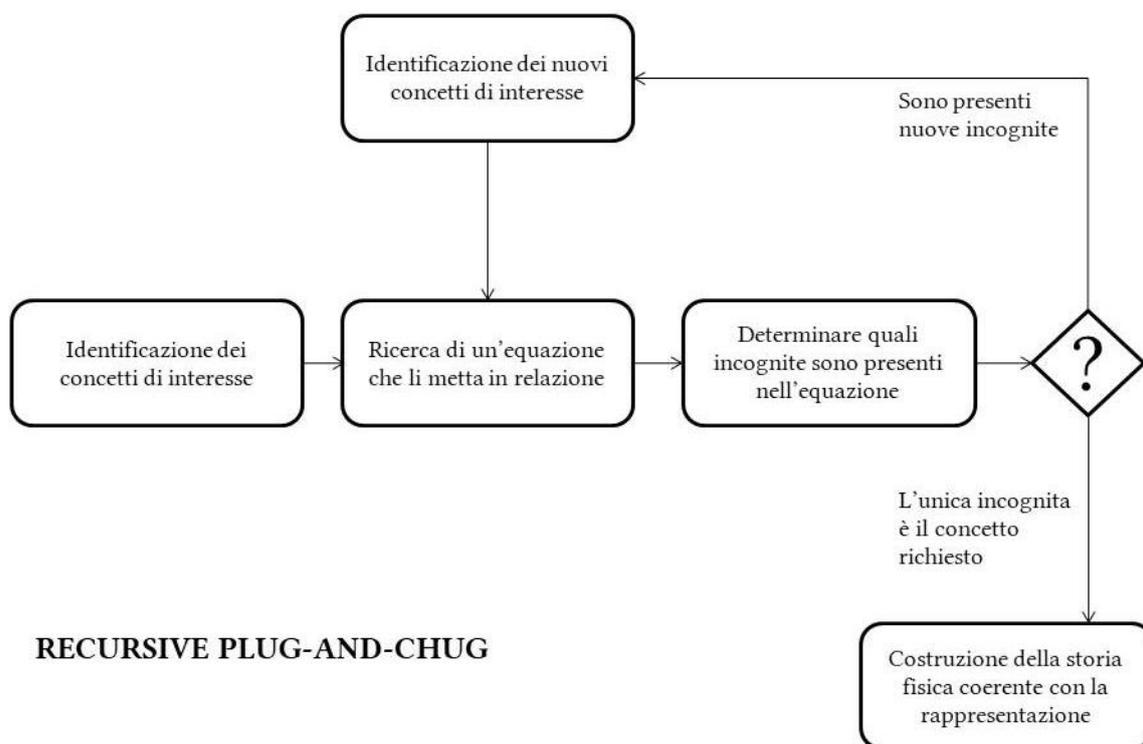


Figura 1.6: Diagramma schematico delle mosse principali nell'e-game "Recursive Plug-and-Chug".

6. **"Transliteration to Mathematics"**: il solutore fa riferimento a esempi già studiati e risolti per sviluppare la soluzione al nuovo problema, adattando e traslando le quantità e senza sviluppare una vera comprensione concettuale. La conoscenza di base consiste solo in risorse associate alla struttura sintattica delle equazioni. La forma epistemica corrisponde al modello di soluzione per il nuovo esercizio. In figura 1.7 è riportato un diagramma schematico delle principali mosse.

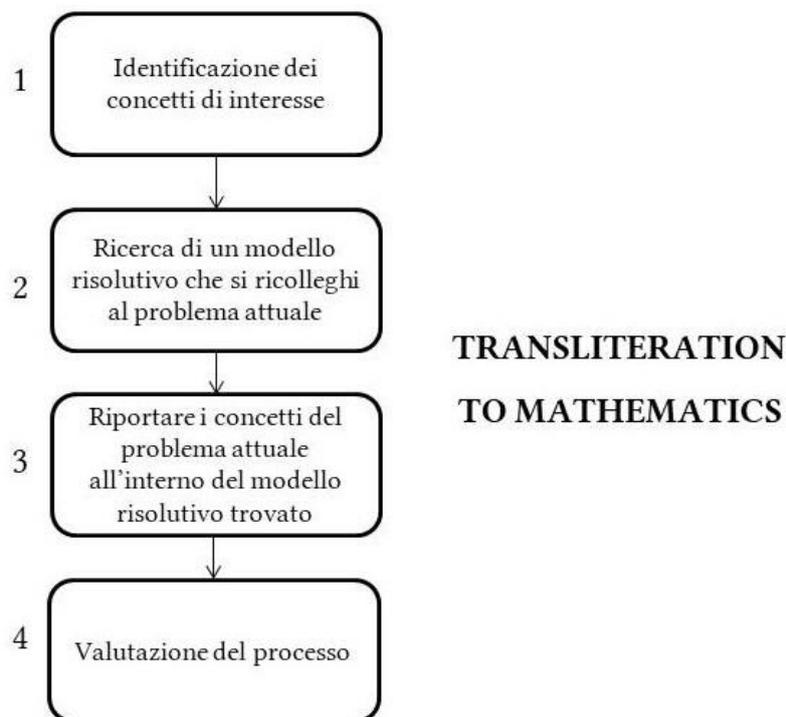


Figura 1.7: Diagramma schematico delle mosse principali nell'*e-game* "Transliteration to Mathematics".

A seconda del tipo di esercizio e della persona che lo sta affrontando, *l'e-game* attivato sarà più o meno raffinato e si appoggerà a diversi tipi di conoscenza. Ovviamente questo elenco non è esaustivo di tutte le possibili strategie di risoluzione che un solutore può mettere in atto; si tratta infatti solo delle tecniche osservate da Tuminaro e Redish durante il loro studio del 2007. Tra i principali risultati c'è che, mentre tra i solutori esperti sono ritrovabili gli *e-game* più raffinati, gli studenti tendono ad attivare soprattutto il *Recursive Plug-and-Chug* e il *Transliteration to*

*Mathematics*, ovvero i due e-game dove il ruolo della matematica è tecnico e non strutturale [Uhden et al., 2012].

Gli *epistemic game* rappresentano, insieme al modello di *modelling cycle* di Uhden e colleghi, il principale riferimento teorico che abbiamo utilizzato per progettare attività di insegnamento e apprendimento finalizzate a problematizzare la relazione tra matematica e fisica e, fin dalla scuola secondaria, a contribuire a formare abilità per mettere in atto *epistemic game* via via più raffinati: il *Mapping Meaning to Mathematics* e il *Mapping Mathematics to Meaning*. Questi giochi implicano una base di conoscenza adatta, padronanza della forma rappresentativa e la conoscenza delle regole e delle altre componenti strutturali. Implicano però anche un particolare tipo di atteggiamento di fronte ad un problema fisico: a differenza degli *e-game* più semplici in cui si mettono in gioco soltanto le informazioni acquisite in classe, gli *e-game* più raffinati richiedono che si mettano in gioco le proprie risorse primitive, quelle che servono per dare senso all'attività. Per essere disponibili ad attivare tali risorse è necessario un atteggiamento di grande fiducia verso se stessi ma anche verso il contesto in cui si opera.

Il nostro studio, in particolare, si è incentrato sul tema dell'induzione elettromagnetica come esempio concreto. Le ragioni dietro alla scelta del tema sono diverse: i) l'argomento è difficile da imparare, come rivelano molte ricerche in Didattica della Fisica; ii) la maggior parte delle difficoltà concettuali si ricollega alle complesse relazioni tra fenomenologia e modellizzazione; c) è uno dei temi più importanti e probabili del curriculum italiano su cui può essere condotto l'esame finale e quindi insegnanti e scuole incoraggiano lo sviluppo di questo tipo di studio.

Nella prossima sezione riportiamo i principali risultati di ricerca in Didattica della Fisica sulle difficoltà riscontrate dagli studenti nell'elettromagnetismo e, in particolare, nell'argomento dell'induzione elettromagnetica.

### 1.3 Il caso: l'elettromagnetismo nella ricerca in Didattica della Fisica

L'ambito dell'elettromagnetismo rappresenta una delle aree della fisica più impegnative per gli studenti di scuola secondaria e universitari [Galili et al., 2006; Guisasola et al., 2013; Saarelainen et al., 2007; Zuza et al., 2014]. Questo perché, con l'elettromagnetismo, si introduce il concetto di carica e lo studio della sua dinamica; gli studenti, abituati alle grandezze macroscopiche modellizzate e semplificate verso il microscopico (per esempio l'approssimazione a punto materiale), si ritrovano a dover eseguire uno sforzo di immaginazione "al contrario" per trattare l'elettrostatica. Da questo possono scaturire numerose difficoltà e su di esse sono presenti molti studi: alcuni suggeriscono che queste difficoltà siano simili a quelle affrontate dai primi scienziati quando stavano sviluppando la teoria dei fenomeni elettromagnetici [Galili et al., 2006], altri sostengono che le criticità siano invece dovute al disallineamento delle conoscenze trasferite da altri argomenti della fisica [Saarelainen et al., 2007; Thong & Gunstone, 2008].

In generale, di fronte ad un argomento ignoto, gli individui sviluppano spontaneamente idee e concezioni relativi alla cosiddetta "*conoscenza di senso comune*" e che derivano dall'esperienza quotidiana, prima di ricevere un qualsiasi insegnamento sull'argomento; la propria conoscenza si sviluppa intorno a questa esperienza che viene arricchita, rivista o profondamente modificata dall'esperienza formale nella fase dell'insegnamento [Amin & Levrini, 2018]. Nel caso dell'elettromagnetismo però, non avendo evidenti paralleli nell'esperienza quotidiana, quest'ultima gioca un ruolo minore nello sviluppo di concezioni alternative; una delle principali difficoltà nella comprensione di questo ramo della fisica risiede, infatti, nella non visibilità dei fenomeni elettromagnetici (ad eccezione dei circuiti elettrici di cui però non interessa trattare in questo contesto) [Tasquier, 2015]. La possibilità di osservare i fenomeni elettromagnetici non direttamente ma solo tramite diversi effetti porta problemi nel crearsi una propria rappresentazione mentale e quindi a "immaginarselo". Ad esempio, all'inizio di un corso sull'elettromagnetismo, gli studenti vengono introdotti alle forze elettriche e magnetiche, alle linee di campo e alle sorgenti di campo. Il concetto di "campo" è teoricamente più impegnativo del concetto di "forza", perché più astratto,

quindi la sua comprensione richiede un cambiamento nel pensiero teorico degli studenti. Questo cambiamento ha luogo quando si invitano gli studenti a descrivere lo spazio circostante intorno alla sorgente con un campo, senza che ci sia nessun altro oggetto con cui la sorgente interagisce e quindi senza che si eserciti una forza. In questo modo, il modello newtoniano di "azione a distanza" viene sostituito con un modello che descrive l'azione con "sorgente di campo" [Guisasola et al., 2013; Zuza et al., 2014]. Furio e Guisasola suddividono in due categorie i modelli di ragionamento degli studenti che si confrontano per la prima volta con il concetto di "campo elettrico": il modello Coulombiano (più semplice) e quello Maxwelliano (concettualmente più raffinato) [Furio & Guisasola, 1998]. Nel modello Coulombiano, l'interazione elettrica tra le cariche separate si suppone venga trasmessa istantaneamente attraverso lo spazio, indipendentemente dal mezzo esistente tra le cariche. Il modello Maxwelliano, invece, richiede il concetto di campo elettrico e l'associazione ad ogni punto dello spazio del vettore campo elettrico  $\vec{E}$ . Gli studenti rientrano di solito nel profilo Coulombiano, non utilizzano il concetto di campo in alcun modo significativo e persiste il ragionamento basato sul modello newtoniano di forza come "azione a distanza". Gli studenti, infatti, comprendono, ad esempio, che il campo elettrico sia più intenso vicino alla carica ma, non riuscendo a rielaborare questa informazione nella rappresentazione tramite linee di campo, non sono in grado di disegnare il vettore campo elettrico in un punto arbitrario di osservazione senza la presenza di un'altra carica di prova su cui agisce ("azione a distanza"). Lo spostamento ontologico dal profilo concettuale Coulombiano al profilo Maxwelliano, però, non è immediato né semplice. Furio e Guisasola, infatti, affermano che, nel contesto applicativo degli esercizi, gli studenti a volte riescono ad utilizzare il modello più adeguato tra i due, ma spesso si tratta solo di un utilizzo inconsapevole dettato dal modello risolutivo di un problema già incontrato e riadattato (nel modello degli *e-game* si potrebbe vedere come un mero *Transliteration to Mathematics*, in cui manca una reale comprensione alla base). Secondo diversi studi [Furio & Guisasola, 1998; Guisasola et al., 2013], gli studenti, sia pre-universitari che universitari, presentano difficoltà a cambiare il loro modo di pensare da un modello teorico precedentemente introdotto ad un altro più sofisticato.

Un ostacolo per questo cambiamento concettuale risiede anche nella non perfetta padronanza degli strumenti matematici, specialmente il calcolo vettoriale (su cui si basa il modello di campo) e le derivate e integrali [Allen, 2001; Furio & Guisasola, 1998; Saarelainen et al., 2007; Thong & Gunstone, 2008; Zuza et al., 2014]. Il calcolo vettoriale, anche quando imparato in ambito matematico algebrico da studenti universitari, difficilmente riesce a essere “trasferito” con efficacia e utilizzato in fisica, soprattutto perché non sono abituati al calcolo vettoriale in tre dimensioni. Le prime criticità risiedono già nella trattazione e rappresentazione dei campi, delle superfici e dei cammini come vettori con tutte le relative proprietà (principio di sovrapposizione, prodotto scalare e vettoriale, regola della mano destra). Ad esempio, la linea di campo viene intesa dagli studenti come un'entità isolata invece di guardare globalmente all'insieme di curve che rappresentano il campo nello spazio, in cui la densità di linee rappresenta l'intensità del campo. Inoltre, quando anche sembrano utilizzare gli strumenti matematici senza troppe difficoltà, gli studenti tendono ad adoperarli senza una profonda o adeguata comprensione dei concetti fisici veicolati e strutturati dalla matematica sottostanti [Uhdén et al., 2012]; la maggior parte esprime le relazioni solo in forma matematica per strategie di *problem solving* che non includono analisi anche qualitative e fenomenologiche delle rappresentazioni [Tuminaro & Redish, 2007].

Un'altra importante criticità degli studenti nell'apprendimento dell'elettromagnetismo risiede nel rapporto tra fenomeni elettrici e magnetici [Furio & Guisasola, 1998; Thong & Gunstone, 2008; Zuza et al., 2014]: da una parte, i due ambiti vengono spesso sovrapposti e confusi; dall'altra, gli studenti tendono a considerare il campo elettrico e magnetico come due grandezze separate, non riuscendo a comprendere il loro legame e a trattarli adeguatamente come interdipendenti. Un esempio di errore comune è la convinzione che nel processo di polarizzazione del campo elettrico di un'onda elettromagnetica, la componente di campo magnetico venga “bloccata” dal filtro polarizzatore [McDermott & Schaffer, 2002].

La non visibilità dei fenomeni elettromagnetici e le difficoltà con il calcolo vettoriale e il concetto di campo sono criticità comuni alla maggior parte degli argomenti dell'elettromagnetismo e in particolare del tema di nostro interesse, l'insegnamento dell'induzione elettromagnetica nella scuola secondaria superiore.

## 1.4 L'induzione elettromagnetica nella ricerca in Didattica della Fisica

L'Induzione Elettromagnetica (IEM) è uno degli argomenti fondamentali all'interno dell'insegnamento dell'elettromagnetismo, dato che le diverse leggi e concetti del campo elettrico e magnetico sono trattati insieme per la prima volta (usualmente). Gli studenti di scuola secondaria devono applicare le loro conoscenze dei concetti di base dell'elettromagnetismo come il campo, il flusso e la forza elettromagnetica. Nelle lezioni introduttive all'argomento, gli studenti apprendono che i fenomeni di IEM sono dovuti ad un campo magnetico variabile nel tempo e/o al movimento di un conduttore o circuito all'interno di un campo magnetico e/o alla presenza di due circuiti attigui in cui in uno è presente un generatore. La maggior parte dei libri di testo scolastici a livello di scuola secondaria superiore presenta la formula dell'induzione elettromagnetica nella forma:

$$fem = -\frac{\Delta\phi_S(\vec{B})}{\Delta t} \quad (1.1)$$

che in forma differenziale diventa:

$$fem = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( -\frac{\Delta\phi_S(\vec{B})}{\Delta t} \right) = -\frac{\partial\phi_S(\vec{B})}{\partial t} \quad (1.2)$$

e che viene introdotta come "legge di Faraday-Neumann-Lenz" [Amaldi, 2010; Caforio & Ferilli, 2001; Cosmelli, 2017; Giuliani & Marazzini, 2012; Romeni, 2014; Zuza et al., 2014], dai nomi di Michael Faraday (che scoprì sperimentalmente il fenomeno nel 1831) e di John Von Neumann e Emil Lenz (che lo formalizzarono matematicamente nel corso degli anni successivi). Nella formula,  $\phi$  è il flusso del campo magnetico  $\vec{B}$  concatenato al circuito, ossia il flusso attraverso una superficie  $S$  arbitraria che abbia il circuito come bordo. Se questo flusso varia nel tempo, insorge nel circuito una forza elettromotrice indotta (*f.e.m.*) pari alla derivata temporale del flusso (legge di Neumann) e tale da opporsi alla variazione di flusso (legge di Lenz). Gli studenti applicano questa legge per analizzare casi semplici, ad esempio, per calcolare la *f.e.m.*

indotta e la corrente indotta in un circuito che si trova in un campo magnetico variabile nel tempo o in un circuito in moto in un campo uniforme<sup>1</sup>.

Continuando nella spiegazione dell'LEM, lo studente di scuola secondaria scopre che la formula sopracitata è una forma particolare della legge generale dell'induzione presente nelle equazioni di Maxwell [Giuliani, 2002; Giuliani, 2010; Giuliani & Marazzini, 2012]:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.3)$$

con  $\mathbf{E}$  campo elettrico indotto non conservativo. La formula 1.1 può essere utilizzata solo in contesti specifici e presenta numerose eccezioni (un esempio è l'esperimento di Blondel) [Cosmelli, 2017; Giuliani, 2002; Giuliani, 2010; Giuliani & Marazzini, 2012; McDonald, 2015; Munley, 2004; Nussbaum, 1972; Scanlon et al., 1969]. Nonostante questo, è ancora aperta la discussione sul perché si sia radicata così tanto la formula 1.1 (o 1.2), dato che, dal punto di vista storico, Maxwell e Einstein hanno sempre trattato l'argomento con l'equazione generale. Probabilmente questo "successo" si potrebbe attribuire alla sua compattezza e semplicità nelle applicazioni, anche se la 1.1 non rappresenta nemmeno una vera legge secondo alcuni studi [Cosmelli, 2017; Giuliani, 2002; Giuliani & Marazzini, 2012; Guisasola et al., 2013; Layton & Simon, 1998] e ci si riferisce ad essa semplicemente come "regola del flusso", una comoda regola di calcolo. Tuttavia, diversi studi hanno sottolineato che la 1.1 "nasconde" molte insidie per gli studenti di scuola secondaria che si apprestano ad utilizzarla:

- Il legame tra l'approccio microscopico e macroscopico:

La regola del flusso rappresenta il punto di vista "macroscopico" del fenomeno (variazione del flusso attraverso superfici) ma, talvolta, viene presentata anche la spiegazione dell'LEM in termini microscopici, utilizzando la forza di Lorentz che agisce sulle particelle cariche in movimento [Guisasola et al., 2013]. Questa doppia descrizione in termini di campo (punto di vista "macro") e delle azioni esercitate dal campo sulla materia (punto di vista "micro") appare frequentemente in

---

<sup>1</sup> A livello di scuola secondaria non viene spiegato che in caso di circuito in moto la formula non vale e devono essere applicate correzioni relativistiche.

fisica e gli studenti l'hanno studiata sia in meccanica (campo gravitazionale) che in elettricità e magnetismo. Sfortunatamente, nel loro studio del 2013, Guisasola e colleghi hanno mostrato come molti studenti universitari di ingegneria o fisica (di primo, secondo o terzo anno) non riescano a comprendere il collegamento fra i due schemi di pensiero e hanno difficoltà nel passaggio dall'uno all'altro. Altri studi su studenti universitari al primo anno [Thong & Gunstone, 2008; Zuza et al., 2014] hanno confermato una mancanza di comprensione delle forze che agiscono sugli elettroni nel circuito al fine di produrre corrente elettrica indotta: gli studenti presentano problemi nel capire a fondo che un campo magnetico variabile induce un campo elettrico non conservativo che esercita una forza elettrica sugli elettroni nel circuito. La maggior parte degli studenti evita quindi di parlare di forze che intervengono sulle particelle cariche e parla solo di variazione del flusso magnetico.

- L'interpretazione della regola del flusso come legge causale:

Se viene fornita qualche spiegazione dell'induzione, è piuttosto al livello non specificato di "forza magnetica che *causa* corrente elettrica". Si suggerisce quindi involontariamente che la regola del flusso sia una legge *causale* (variazione del flusso del campo magnetico come causa della *f.e.m.* indotta) [Guisasola et al., 2013; Saarelainen et al., 2007; Zuza et al., 2014]. Questa errata interpretazione è supportata involontariamente anche dal fatto che quando gli studenti si trovano di fronte ad una formula del tipo  $A = B$ , sono sempre portati a pensare che il segno "=" implichi la causalità, ossia il membro di sinistra dell'uguaglianza sia la causa del membro di destra o viceversa [Rainson et al., 1994]. Inoltre, di solito, anche il linguaggio utilizzato dai libri di testo e dai docenti che spiegano l'argomento utilizza termini che rimandano involontariamente alla causalità. Questo porta gli studenti a ragionamenti causali-sequenziali scorretti in cui immaginano "un cambiamento che causa un altro cambiamento", anche se non si ha nessun ritardo temporale tra la "causa" e l'"effetto" [Hill, 2010].

L'equazione della regola del flusso rappresenta matematicamente solo una "uguaglianza di quantità" [Hill, 2010]; le variabili  $\vec{E}$  e  $\vec{B}$  delle equazioni di Maxwell infatti sono caratterizzate proprio da una "non-causalità", da una simultanea presenza e da una istantanea e reciproca influenza.

- Il concetto di "flusso":  
viene tradizionalmente introdotto all'inizio dell'elettromagnetismo nel contesto della legge di Gauss e mai più menzionato fino all'introduzione della 1.1. Alcuni studi su studenti universitari [Allen, 2001; Guisasola et al., 2013; Zuza et al., 2014] mostrano che talvolta il flusso viene erroneamente confuso con il campo stesso o viene interpretato come il campo che "fluttua" e quindi varia. Inoltre, nel calcolo del flusso gli studenti mostrano diversi problemi nell'identificare la corretta area da considerare.
- La necessità di un contatto tra le linee del flusso magnetico e la spira:  
secondo molti studenti universitari che hanno partecipato a diversi studi [Guisasola et al., 2013, Zuza et al., 2014, Thong & Gunstone, 2008] deve esserci sempre questo contatto affinché qualsiasi *f.e.m.* possa essere indotta nella spira stessa. Una possibile spiegazione di questa errata interpretazione può essere collegata all'idea delle linee del campo magnetico concepite come entità fisiche reali, quindi occorrerebbe un contatto "reale" delle linee di campo con la spira esterna.
- La legge di Lenz e la sua interpretazione:  
gli studenti tendono a sostituire l'espressione "si oppone ai cambiamenti" con l'interpretazione errata di "essere in direzione opposta"; secondo loro, quindi, nell'induzione magnetica il campo indotto è sempre opposto in direzione al campo che lo induce, piuttosto che opposto alla variazione del suo flusso [Raduta, 2001; Thong & Gunstone, 2008].

- La confusione tra i concetti di “*f.e.m.* indotta” e “corrente indotta” e di “forza elettromotrice” e “differenza di potenziale”:

gli studenti di qualsiasi livello molto spesso tendono ad utilizzare senza distinzioni i termini “*f.e.m.*” e “corrente” indotta, senza comprendere che l’induzione di una forza elettromotrice non implica necessariamente anche la presenza di una corrente [Thong & Gunstone, 2008; Zuza et al., 2014]. Lo studio di Guisasola et al. del 2013 ha mostrato come gli studenti preferiscano ragionare sulla corrente (“*current minded*”) piuttosto che sul potenziale (“*voltage minded*”), spinti anche dal fatto che la seconda nozione è molto più complessa da trattare e comprendere per loro. Il concetto di “differenza di potenziale”, quindi, viene sostituito da quello di corrente (più immediato). Succede comunemente, infatti, che anche una batteria sia considerata dagli studenti come generatore di corrente e non come generatore di tensione.

Thong e Gunstone, inoltre, nel loro articolo del 2008, analizzano studenti universitari del II anno di ingegneria e descrivono le difficoltà a comprendere che una differenza di potenziale elettrostatico e una *f.e.m.* indotta sono due concetti distinti. Se si applica la definizione di differenza di potenziale elettrico, così come presentata nell’ambito dell’elettrostatica, si otterrebbe un valore nullo per un qualsiasi percorso chiuso. Nel caso del campo elettrico indotto, invece, questa definizione non ha alcun significato in quanto si tratta di un campo elettrico non conservativo, con caratteristiche ed origini diverse, per il quale la circuitazione calcolata per un percorso chiuso non è nulla ma uguale proprio alla variazione del flusso (in accordo con la formula di Faraday 1.1).

Alcune di queste criticità non vengono riscontrate solamente in ambito di scuola secondaria ma anche in ambito universitario, a conferma della effettiva e continua difficoltà nell’apprendimento di un modello interpretativo dei fenomeni elettromagnetici [Guisasola et al., 2013].

Inoltre, come già anticipato precedentemente, molte volte gli studenti applicano la regola del flusso meccanicamente, senza rendersi conto del significato fisico sottostante; questo tipo di applicazione meccanica di una formula con una mancanza di comprensione concettuale (strategia di *occhio piccolo*) è tipica dell'insegnamento che si concentra sulla produzione di risposte quantitative ai problemi dei libri di testo, tralasciando la comprensione concettuale [Guisasola et al., 2013].

## **1.5 Dal contesto teorico allo sviluppo di attività concrete: gli obiettivi dello studio**

Questo lavoro di tesi si ripropone di contribuire a sviluppare, anche in studenti di scuola secondaria, atteggiamenti e abilità di *problem solving* mirate ad una comprensione profonda dell'argomento e a comprendere il ruolo e il significato della modellizzazione matematica in fisica. Per fare questo, è stato progettato uno strumento di analisi dei problemi (una griglia di analisi) che, secondo le nostre intenzioni, potesse stimolare un atteggiamento di *occhio grande* e, più nello specifico, fosse in grado di:

- a) problematizzare il rapporto tra matematica e fisica;
- b) favorire la formazione di abilità che Uhden et al. chiamano strutturali;
- c) stimolare atteggiamenti adatti e produttivi per giocare *epistemic game* via via più raffinati.

Come precedentemente discusso, abbiamo scelto di porre la nostra attenzione sul tema dell'Induzione Elettromagnetica (IEM) per le criticità didattiche concernenti e per il ruolo che sta svolgendo nel dibattito italiano circa la seconda prova di fisica, ossia il ruolo di veicolare innovazione metodologica attraverso il *problem solving*.

Nel prossimo capitolo, si presenterà lo strumento progettato e il contesto in cui esso è stato utilizzato. Come si vedrà, l'intervento è stato pensato per un tipico contesto curricolare e, dunque, per poter essere utilizzato in un tempo e con modalità non invasive. L'obiettivo generale era, infatti, capire se era possibile ricevere segnali di

efficacia dell'approccio senza interventi troppo impegnativi per gli insegnanti ed efficaci solo in contesti speciali. Si sperava, cioè, di ottenere segnali di un cambiamento di atteggiamento che potesse essere promosso da uno strumento versatile, flessibile e facilmente utilizzabile in molti contesti.

# Capitolo 2

## Lo studio: contesto, metodi e attività

In questo capitolo vengono presentate le attività progettate per raggiungere gli obiettivi individuati e che sono state realizzate in una classe quinta di liceo scientifico. Le attività sono state pensate per inserirsi nel regolare percorso curricolare del docente di Fisica sull'induzione elettromagnetica e prevedono lavori di gruppo e lavori individuali.

Nella sezione 2.1 presentiamo il contesto, il profilo della classe e l'approccio scelto dal docente per l'introduzione dell'argomento; nella sezione 2.2 descriviamo la progettazione delle attività proposte agli studenti; nella sezione 2.3 presentiamo metodi e domande di ricerca che hanno guidato il nostro studio.

## 2.1 Il contesto

La classe 5AS liceo scientifico dell'Istituto di Istruzione Superiore "Maria Montessori – Leonardo Da Vinci" di Porretta Terme (BO) è costituita da 18 ragazzi (8 maschi e 10 femmine) di 18 anni. La classe è molto eterogenea: a fianco di alunni che mostrano una buona disposizione nei confronti dello studio, con impegno costante e appropriato e buone capacità, si trovano studenti introversi e poco motivati, che devono essere continuamente stimolati e che dovrebbero studiare in maniera più costante e più approfondita. Anche dal punto di vista del rendimento, il docente parla di qualche insufficienza grave contrapposta però ad altrettanti studenti di livello alto e molto alto. Dal punto di vista della partecipazione alle lezioni, il docente ritiene che i maschi siano più attivi, mentre le ragazze si mostrano comunque interessate ma più silenziose.

Il docente titolare di cattedra di Fisica presso la classe (professor Massimo Salvi) ha permesso alla laureanda (I. Giovannelli) di assistere alle lezioni introduttive sull'argomento dell'induzione elettromagnetica nel periodo dal 2 dicembre 2017 al 17 febbraio 2018 per un totale di 25 ore (3 ore settimanali). Le lezioni sono state audio-registrate e sono stati presi diversi appunti dalla laureanda. L'obiettivo era osservare le scelte didattiche del docente nella spiegazione dell'argomento e analizzare la situazione di partenza degli studenti.

L'insegnante dà molta importanza alla dimensione sperimentale: regolarmente effettua esperimenti in laboratorio e metà del voto finale degli studenti è attribuito in base alle relazioni di laboratorio redatte su esperimenti condotti in gruppo. Nelle relazioni collettive di laboratorio sono richiesti ragionamenti argomentati sul fenomeno, le formule ad esso collegate e i dati ottenuti, che permettono allo studente di porsi domande su ciò che ha svolto (limiti di validità delle formule, errori, approssimazioni e modellizzazioni). Inoltre, quando possibile, il docente utilizza un approccio sperimentale per la presentazione dei nuovi argomenti perché *“permette di catturare l'attenzione dei ragazzi e li aiuta a memorizzare e visualizzare meglio il fenomeno”*. Inoltre, iniziare il nuovo argomento con un ragionamento qualitativo guidato dal docente *“consente loro di comprenderlo e, spesso, di ripercorrere i passi compiuti dagli stessi scienziati per arrivare alla teoria finale”*.

L'approccio fenomenologico-sperimentale è stato scelto dal docente anche per presentare l'induzione elettromagnetica. È infatti partito con l'esplorazione di cosa accade se si inserisce e si estrae una calamita all'interno di una bobina collegata ad un voltmetro, ossia con la realizzazione degli esperimenti di Faraday in versione moderna. Gli studenti si sono mostrati molto interessati e partecipi, e molto a loro agio nell'interagire tra di loro e con il docente. Il brano della trascrizione che segue illustra il tono e lo stile con cui il docente introduce un tema e coinvolge gli studenti. Per garantire l'anonimato dei partecipanti allo studio, tutti i nomi utilizzati nella tesi per gli studenti sono pseudonimi rispecchianti il genere.

*Docente: C'è un misuratore di tensione, un voltmetro. [...] Lo collego a una bobina. Come si vede non c'è nessun movimento adesso della lancetta. Secondo voi cosa succede adesso se avvicino questa calamita? [la avvicina e la inserisce/toglie velocemente e la lancetta comincia a oscillare]*

*Studenti: Si muove! Sì, nel momento in cui la allontana!*

*Docente: Che osservazioni qualitative potete fare? Quand'è che si muove questa lancetta?*

*Francesco: Quando si muove il campo magnetico.*

*Docente: Quando muovo la calamita, che genera un campo magnetico.*

*Francesco: Ecco sì*

*Docente: Quindi vedete non è tanto la presenza di un campo magnetico, [...] l'effetto c'è solo quando c'è un movimento. Siete d'accordo? [disegna alla lavagna una schematizzazione del circuito] Si registra una corrente quando avvicino o allontano la calamita. E avete visto che, se la avvicino, la lancetta si muove da una parte, quando la allontano si muove dall'altra. E il fenomeno succede solo quando c'è un cambiamento. Quando c'è il campo magnetico fermo, non succede nulla.*

*Francesco: E nella bobina non c'era un generatore?*

*Docente: No no! C'è solo un misuratore e una bobina, o un avvolgimento. [...] E vi faccio notare che se tenessi ferma la calamita e muovessi la bobina il fenomeno avviene lo stesso. [...] Che altre prove si possono fare? Come dipende questo fenomeno da altri parametri? [l'insegnante fa diverse prove in cui varie diverse grandezze dell'esperimento] [...] La corrente si manifesta solo quando c'è la variazione. È la variazione che conta. Ma la variazione di cosa? Come si fa a formalizzare matematicamente un fenomeno in cui uno verifica che c'è una dipendenza dal campo magnetico ma anche dalla superficie, dalla geometria di questo circuito e dalla velocità con cui effettuo la variazione? [...]*

Dopo aver eseguito numerose prove variando i diversi parametri dell'esperimento, l'insegnante è passato da un ragionamento qualitativo alla formalizzazione

matematica della legge da parte di Neumann e Lenz, facendo un cenno al percorso storico; alla fine, ha presentato la legge di Faraday-Neumann-Lenz nella forma della regola del flusso (vedi formula 1.1), spiegando il significato dei vari termini utilizzati e ricollegando le grandezze individuate ed esplorate nell'esperimento ai simboli matematici della relazione formale, commentando i risultati.

Nelle lezioni successive, il docente ha affrontato i temi fondamentali dell'argomento: la legge di Lenz e la conservazione dell'energia, l'alternatore e il trasformatore, l'autoinduzione e il circuito RL. Tutti i temi e i concetti sono introdotti a partire da domande qualitative rivolte alla classe che partecipa con disinvoltura, provando a rispondere e ad argomentare. Questa abitudine consente agli studenti di ragionare fisicamente sulla situazione prima di confrontarsi con la formalizzazione e la conoscenza accreditata.

L'insegnante è stato molto attento, inoltre, a trattare i punti critici dell'induzione elettromagnetica (IEM), per cui ha dedicato tempo e cura a discutere il significato della legge di Lenz e alla peculiarità del campo elettrico indotto di essere non-conservativo.

Sulla legge di Lenz, ha spesso richiamato l'attenzione degli studenti sulla *variazione del flusso* (e non del campo come loro tendono a vedere) e sul fatto che la corrente indotta debba essere nel verso che ostacoli tale variazione. Ad esempio:

*Docente: [...] Nella formula [legge di Faraday-Neumann, formula 1.1] il modulo della differenza di potenziale è fissato dalla variazione di flusso e dalla variazione di tempo. Bisogna associare il “-” al verso della corrente e alla polarità che si forma nel circuito. Se inserisco la calamita la corrente va da una parte, se la tolgo va dall'altra. Quel “-” mi sta a significare che in qualsiasi caso, la corrente che si forma ha un verso tale che cerca di annullare la variazione che l'ha generata. Se inserisco la calamita, il flusso aumenta, la corrente che si genera fa in modo che il flusso diminuisca, cioè si oppone alla variazione.*

Durante la correzione di un esercizio, Giovanni ha fatto riemergere il problema e il docente ha reagito così:

*[Esercizio su una spira che ruota con velocità angolare costante in un campo magnetico uniforme, con asse di rotazione perpendicolare alla direzione del campo magnetico]*

Docente: *In che verso sarà la corrente indotta?*

Giovanni: *Orario*

Docente: *Perché secondo voi?*

Giovanni: *Perché deve essere opposto al verso del B originario, quindi se quello originario è in su questo deve essere in giù*

Docente: *Supponiamo di ragionare sul flusso, se la spira ruota così il flusso cosa sta facendo? Diminuisce no?*

Giovanni/Nicola/Luigi: *Perché?*

Docente: *Perché il coseno parte da uno, valore massimo quando sono perpendicolari, e poi diminuisce. Pensatela anche come area efficace attraverso cui B passa: quando la superficie diventa perpendicolare sarà nullo no? Quindi che verso deve avere la corrente per ostacolare la riduzione del flusso? Dovrà creare un campo magnetico che lo vada ad aumentare, quindi antiorario.*

Giovanni: *Ah ok*

Nicola: *Io non ho capito*

Docente: *Tu devi ostacolare la riduzione del flusso, legge di Lenz, giusto?*

Luigi: *E perché allora so che è antiorario?*

Docente: *Per la regola della mano destra no? Se hai un filo percorso da corrente che gira come le tue dita, il pollice è il campo magnetico [lo esegue con le mani per farlo visualizzare agli studenti]*

Nicola: *E quindi è la regola della mano destra...ma quindi scusi se ho il campo B che va verso l'alto basta che usi la regola con quello e viene già antiorario*

Docente: *Sì ma perché il flusso sta diminuendo, se stesse aumentando dovresti farlo nel verso opposto*

Nicola: *Ah ok...e come so che il flusso sta diminuendo? Ah il coseno*

Docente: *Sì o ragionando geometricamente a partire dalla condizione iniziale. [...] Si può anche ragionare in un altro modo: so che le forze devono frenare il moto, legge di Lenz e so il verso di B. Ho la legge che mi dice che  $F=ilxB$  e quindi vedo che solo nel caso di corrente in questo verso vengono le forze che frenano.*

Il ragionamento di Giovanni rispecchia quello tipico presentato nel capitolo 1, ossia l'interpretazione erranea della legge di Lenz come "essere in direzione opposta" invece di "opporsi alla variazione". Il docente è partito innanzitutto da un ragionamento matematico per convincere gli studenti che il flusso stia diminuendo ("il coseno parte da uno [...] e poi diminuisce"); ha proseguito con l'applicazione della legge di Lenz ("per ostacolare la riduzione del flusso [...] dovrà creare un campo magnetico che lo vada ad aumentare") e ha poi utilizzato la regola della mano destra per collegare la direzione desiderata del campo magnetico al verso della corrente. Nicola però ha interpretato l'utilizzo di questa regola in modo errato. Dopo averlo corretto, il docente ha deciso di utilizzare un'altra argomentazione fisica per far ragionare gli studenti sul significato

della legge di Lenz: dovendosi opporre alla variazione provocata dal moto (e quindi dovendosi opporre al moto), la corrente deve essere tale da creare una coppia di forze che frenino la spira invece di accelerarla.

Sulla forza elettromotrice e la non-conservatività del campo elettrico indotto, ha ripetuto spesso frasi come:

*[Correggendo un esercizio sul calcolo della corrente indotta]*

*Docente: Qui utilizziamo la prima legge di Ohm per calcolare la corrente  $i$ . In questo caso abbiamo una f.e.m. che svolge il ruolo di differenza di potenziale, anche se in realtà vedremo tra poco che è un discorso un po' più complicato. Se si parla di differenza di potenziale siamo di fronte a un potenziale elettrico e per avere un potenziale bisogna avere un campo conservativo; tra poco analizzeremo quella f.e.m. e vedremo che in realtà abbiamo un campo elettrico indotto non conservativo. Quindi non è proprio esatto mettere insieme le due formule, sono concettualmente diverse, però la funzione alla fine qui è la stessa. La f.e.m. ha il ruolo di differenza di potenziale e quindi va bene.*

Per quanto riguarda l'approccio microscopico (Forza di Lorentz) il docente ha deciso di non trattarlo direttamente ma di citarlo velocemente nel contesto della correzione di un esercizio.

### **2.1.1 Il docente e il rapporto matematica/fisica**

L'insegnante, laureato in Fisica, richiama spesso all'interno delle proprie lezioni concetti e ragionamenti matematici che si intrecciano a quelli fisici, per mostrare agli studenti i diversi strumenti a loro disposizione per la comprensione dell'argomento o la risoluzione di un esercizio. Un esempio che riportiamo è quello del riflettere su cosa rappresenti l'area sotto a un grafico dal punto di vista fisico. L'esempio mostra in realtà la fatica che il docente ha fatto per far cogliere il concetto di corrente efficace senza avere a disposizione il concetto matematico di integrale:

*[Lezione sull'alternatore e spiegazione dei valori efficaci]*

*Docente: Nel circuito la corrente svilupperà una certa potenza e la resistenza si scalda: viene sviluppato calore per effetto Joule. La potenza sviluppata è data da  $P=Vi=RI^2$ , come abbiamo visto l'anno scorso. Cosa succede se la corrente è variabile? Anche la potenza varia, per cui ottengo un'onda.*

Che forma ha secondo voi? C'è un numero positivo che moltiplica il quadrato del seno quindi sarà positivo poi si annulla.

[disegna il grafico della  $P(t)$ ]

La corrente efficace è l'ipotetica corrente continua che mi fornisce la stessa potenza sulla resistenza. Questa potenza trovata varia nel tempo, io voglio trovare il valore della corrente continua che mi dà la stessa potenza. Prima di tutto dovrò calcolare la potenza media. Lo capirete meglio quando farete gli integrali però intuitivamente possiamo arrivarci lo stesso. Se in questo grafico ho la potenza in funzione del tempo, cosa rappresenta l'area sotto la curva? Se prendo ad esempio questo rettangolino, per avere l'area moltiplicherò la potenza sviluppata in quel  $t$  per l'intervallo di tempo, quindi avrò il lavoro sviluppato in quel tempo. Per cui se considero un intervallo di tempo abbastanza lungo, l'area mi darà il lavoro sviluppato in quel tempo. Per avere la potenza media sviluppata dalla resistenza, mi chiedo qual è il rettangolo che ha la stessa area di questa curva.

Nicola: Sarà la metà....Stacchi la punta delle colline e la rigiri e quindi si riempiono i buchi

Docente: Esatto. Si trova che la potenza media è uguale alla metà della potenza massima. Se ora abbiamo la potenza media  $P_{med}=P_0/2=RI_0^2/2$  e la impongo uguale a  $RI_{eff}^2$ , ottengo la corrente efficace, ovvero la corrente continua che mi fornisce la stessa potenza. Prima abbiamo fatto un ragionamento semi-intuitivo geometrico per capire che la potenza media è circa la metà di quella massima e poi faccio un passaggio semplicemente matematico.

Il docente inoltre invita regolarmente gli studenti alle verifiche dimensionali dei risultati, a ragionare sul valore ottenuto e a riflettere sul ruolo e sulle condizioni della modellizzazione.

[Circuito RL]

Docente: Ovviamente un circuito così è un modello. Il circuito reale lo possiamo modellizzare con un generatore con teoricamente una resistenza interna che possiamo inglobare con una resistenza esterna che rappresenta la resistenza di tutto il filo, non solo di un punto. Stessa cosa per l'induttanza, che possiamo pensare di concentrare tutto in un punto, ovvero l'induttore, che nei circuiti reali sarà la bobina. [...]

Dopo un certo tempo il circuito si comporta come se non ci fosse l'induttore e la corrente torna ad avere il classico valore di un circuito con solo una resistenza. [...] Dal punto di vista matematico, il fatto che  $V/R$  sia un asintoto orizzontale per la funzione della corrente significa che la corrente non arriverà mai a quel valore; ma in fisica, concretamente, sperimentalmente, la corrente dopo un po' si stabilizza a quel valore e voi non riuscite più ad accorgervi di eventuali fluttuazioni, anche perché in

*fisica sapete che c'è sempre la sensibilità dello strumento. Quindi c'è una differenza fra un discorso matematico e un discorso fisico.*

---

*[Trasformatore ideale e reale]*

*Docente: Le ipotesi del trasformatore ideale sono che le spire devono essere uguali tra primario e secondario e il campo B non cambia, cioè non ci sono dispersioni nel nucleo di ferrite, anche se in realtà questo non accade nei trasformatori reali. [...] Dobbiamo fare un modello ma realistico, è ragionevole supporre che un ingegnere progetti un trasformatore in modo che abbia meno perdite energetiche possibili.*

*Cosa succede invece in un trasformatore reale? [...] Qualche riduzione del campo B si avrà nel nucleo ferromagnetico. Da dove vengono queste perdite? Il materiale è ferromagnetico ma anche conduttore, gli elettroni si possono spostare...cosa succederà quando varia il flusso magnetico?*

L'insegnante, come già detto, è titolare di cattedra solo di Fisica ma le sue lezioni sono ovviamente molto influenzate anche dai concetti e dagli strumenti matematici posseduti dagli studenti. Coordinare questi aspetti non è semplice. Il caso più complicato che l'insegnante di Fisica ha dovuto gestire riguarda lo strumento della derivata, introdotto dal docente di Matematica solo all'inizio di gennaio; nel mese di dicembre, quindi, per poter introdurre la regola del flusso in forma differenziale e trattare le equazioni differenziali per il circuito RL, il Professor Salvi ha deciso di inserire, all'interno delle proprie lezioni, alcune spiegazioni di questo concetto fondamentale. Ha in particolare introdotto il concetto di derivata come limite del rapporto incrementale e ha discusso la sua corrispondenza con il coefficiente angolare della retta tangente al grafico della funzione; dopodiché, ha applicato tale concetto alla regola del flusso per ottenere la forma differenziale della legge di Faraday-Neumann (vedi formula 1.2), definendo la "f.e.m. indotta istantanea". In seguito, ha mostrato la sua utilità negli esercizi dove la regola del flusso con le variazioni macroscopiche (formula 1.1) non può essere utilizzata, esplicitando a volte anche il ragionamento matematico/geometrico e riferendolo al significato fisico.

*[Esercizio di calcolo dell'andamento temporale della corrente indotta con una variazione non lineare del campo B nel tempo]*

*Docente: Il punto iniziale e finale sono questi ma la curva che li unisce non è più una retta ma una parabola. La corrente non è costante stavolta, per ogni intervallo di tempo  $\Delta t$  avrà un valore diverso. [...] Se ho un*

andamento lineare, devo prendere  $\Delta\phi/\Delta t$  e il rapporto viene sempre lo stesso perché è il coefficiente angolare della retta. Se invece vado a considerare l'andamento parabolico e degli intervalli di tempo piccoli, la variazione  $\Delta\phi/\Delta t$  non è costante ma cambia e cambiando la f.e.m. cambia anche la corrente. Ed è quello che ci chiede il testo, trovare l'andamento della corrente nel tempo, dato che non è costante, ed è necessario introdurre la derivata. Se prendo un  $\Delta t$  molto piccolo, questo rapporto diventa una derivata e trovo la corrente istantanea. Considero la variazione  $\Delta\phi$  in un intervallo molto piccolo, così piccolo da considerarlo istantanea.

Francesco: Ma io non voglio sapere l'intensità di corrente in questo istante o in un altro...

Docente: Sì invece, proprio quello. L'esercizio ti chiede l'intensità di corrente ma questa intensità non è più costante come prima. Prima ci aveva detto che la variazione è costante quindi non cambia se considero un intervallo di tempo piccolissimo o l'intero intervallo di tempo. [mostra alla lavagna che il rapporto  $\Delta\phi/\Delta t$  si può interpretare come coefficiente angolare di una retta e si può rappresentare nel piano cartesiano come il rapporto tra cateti di triangoli rettangoli; nel caso di andamento lineare, posso prendere qualsiasi  $\Delta t$  e ottengo sempre lo stesso rapporto] Se ora vado a considerare l'andamento non lineare, questo rapporto non è più costante quindi anche la corrente cambia e l'esercizio ci chiede proprio l'andamento della corrente nel tempo.

Giulia: Ma perché ci serve la derivata? Non posso fare "flusso finale-flusso iniziale" come sempre?

Docente: Facciamo un'analogia in cinematica, un corpo che si muove. [disegna un grafico] Questa è la posizione del corpo  $s$  in funzione del tempo  $t$ . Se prendo un tempo iniziale  $t_i$  e uno finale  $t_f$  con le relative posizioni, cosa rappresenta il rapporto tra i cateti  $\Delta s$  e  $\Delta t$ ? La velocità media del corpo in quell'intervallo di tempo. Se voglio la velocità istantanea in ogni punto, terrò fisso il punto iniziale e sposterò il punto finale fino a farli coincidere, in questo modo calcolo la velocità media in un intervallo sempre più piccolo fino ad arrivare alla velocità istantanea. Calcolare il rapporto con un  $\Delta t$  sempre più piccolo significa in matematica fare proprio la derivata della funzione  $s(t)$ . Se il limite esiste rappresenta la velocità istantanea. E uguale nel nostro caso. [...] Questo rapporto  $\Delta s/\Delta t$  non è altro che il coefficiente angolare di questa retta, se avvicino i punti fino a farli coincidere avrò il coefficiente angolare della retta tangente. E la funzione che mi restituisce il coefficiente angolare della retta tangente in ogni punto della funzione è proprio la derivata. So che non è banale, stiamo mettendo insieme tante cose sia di matematica che di fisica. [...]

Abbiamo detto che se facciamo  $\Delta\Phi/\Delta t$  troviamo il coefficiente angolare della retta secante al grafico di  $\Phi(t)$ , quindi funziona solo come valore medio perché in realtà all'interno di questo intervallo la f.e.m. potrebbe variare. Se però voglio sapere il valore istantaneo della f.e.m. autoindotta o indotta, fisso il tempo iniziale e avvicino quello finale mandando il  $\Delta t$  a zero con l'operazione di limite. Quello che trovo è la stessa cosa, cioè il

*coefficiente angolare ma non della retta secante ma della tangente in quel punto. Quindi, dal punto di vista fisico, calcolo la f.e.m. istantanea.*

*Giovanni: Io non ho ancora capito però a che mi serve trovare il coefficiente angolare della retta...cioè, non trovo l'equazione della retta, trovo solo m...*

*Docente: Ma a me non interessa sapere l'equazione della retta, è solo un'interpretazione geometrica. Il coefficiente angolare della retta si trova facendo  $\Delta y/\Delta x$  e nel caso della legge di Faraday-Neumann rappresenta proprio la f.e.m. media da  $t$  a  $t+\Delta t$ . Se invece scelgo un  $\Delta t$  molto piccolo e calcolo  $\Delta\Phi/\Delta t$ , dal punto di vista geometrico rappresenta sempre il coefficiente angolare ma della retta tangente, dal punto di vista fisico invece rappresenta la f.e.m. in quell'istante, dal punto di vista matematico è l'operazione di derivata. Sono diverse interpretazioni della stessa cosa, rappresento geometricamente delle grandezze fisiche. In fisica utilizzo la matematica per gli obiettivi che mi propongo.*

Spingere gli studenti a un ragionamento interdisciplinare matematico/fisico è tipico dell'insegnante perché “*aiuta gli studenti a rendersi conto di avere più strumenti a loro disposizione per ragionare su un problema e in vista della seconda prova, che sia di matematica o di fisica, sarà molto utile*”.

Da quello che è emerso durante le lezioni del docente, si nota che il suo atteggiamento è rivolto soprattutto al mettere in risalto il ruolo tecnico della matematica come strumento a disposizione degli alunni. Riferendoci al modello di Uhdén presentato nel capitolo 1 (figura 1.1), questo metodo utilizzato dall'insegnante potrebbe essere interpretato come un modo per “guidare gli studenti su come muoversi all'interno del “mondo” della matematica pura”. I ragazzi quindi sono abituati a parlare anche di matematica all'interno delle lezioni di fisica ma con un significato di “strumento al servizio della fisica”; quello che ci chiediamo è se sia possibile portare gli studenti a ragionare più in profondità sul rapporto tra queste due materie e a sfruttarne tutte le caratteristiche, ossia “insegnare agli studenti a muoversi anche nel mondo della modellizzazione fisica-matematica”.

## **2.2 Progettazione e realizzazione delle attività**

Come anticipato nel capitolo 1, lo studio condotto in questa classe, benché focalizzato sull'IEM, ha obiettivi più generali e legati agli atteggiamenti e alle strategie di *problem solving* che gli studenti mettono in atto come reazione a richieste, prassi e abitudini didattiche.

Lo studio ha previsto tre fasi:

1. Costruzione dello stato di partenza circa gli atteggiamenti e le strategie messi in atto dagli studenti nel *problem solving*;
2. Progettazione di uno strumento di analisi dei problemi, mirato ad attivare atteggiamenti e ragionamenti che il modello degli *epistemic game* ha sottolineato come tipici di approcci esperti alla soluzione dei problemi, e progettazione di attività per una graduale appropriazione dello strumento;
3. Valutazione dell'intervento complessivo.

Di seguito si presentano le varie fasi dello studio.

Per favorire la lettura, si riporta un diagramma temporale con l'indicazione delle attività condotte.

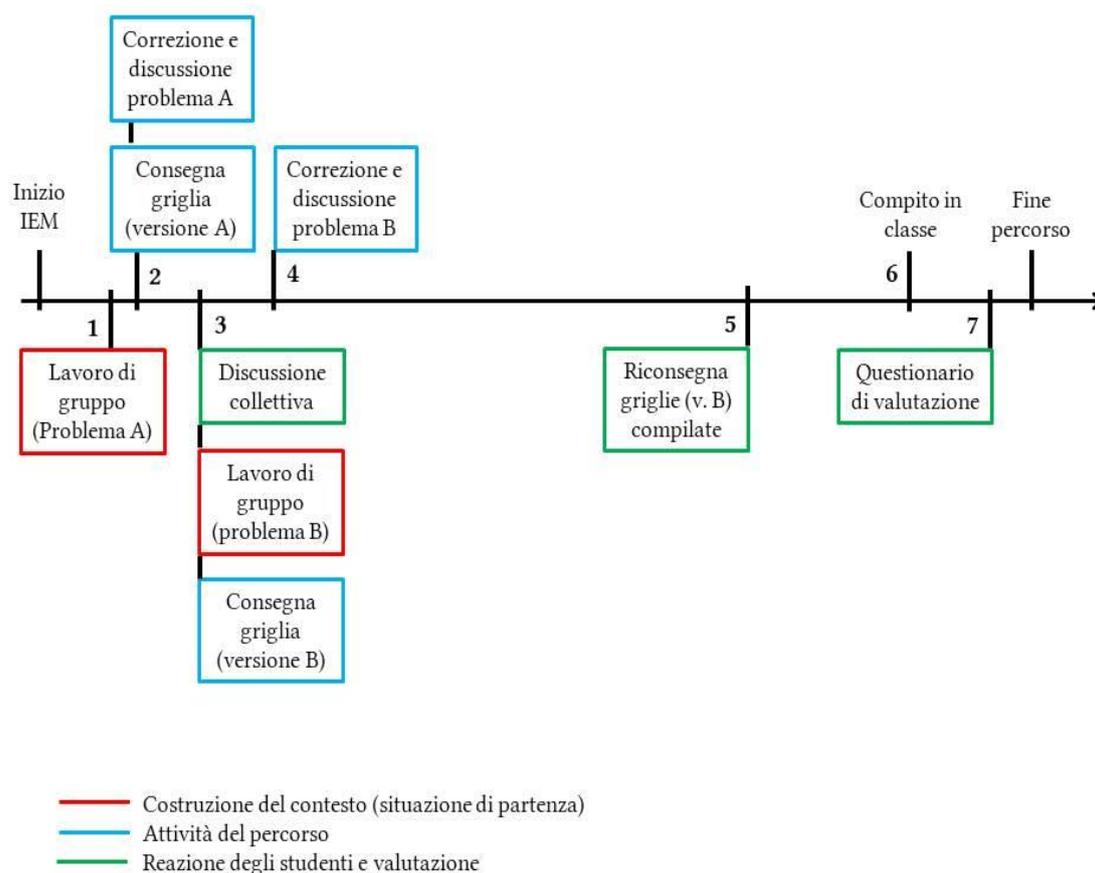


Figura 2.1 – Timeline delle attività condotte in classe

## 2.2.1 Costruzione della situazione di partenza

Per costruire il quadro di partenza, sono state progettate attività di gruppo finalizzate all'analisi e soluzione di problemi.

La prima attività è stata svolta il 12 dicembre 2017 (incontro 1). I gruppi hanno avuto a disposizione un'ora per risolvere un esercizio (problema A), commentando e argomentando le specifiche scelte di risoluzione, il tipo di ragionamento e l'interpretazione. Le discussioni di gruppo sono state audio-registrate e le risposte di gruppo sono state consegnate. I gruppi, formati da tre studenti ciascuno, sono stati costruiti con il supporto del docente per avere gruppi sia "omogenei" che "eterogenei" a livello di preparazione e attitudine alla materia; questo avrebbe permesso agli studenti di mettere in gioco realmente le proprie risorse senza affidarsi al membro più capace e noi avremmo ottenuto dati con maggior variabilità statistica possibile.

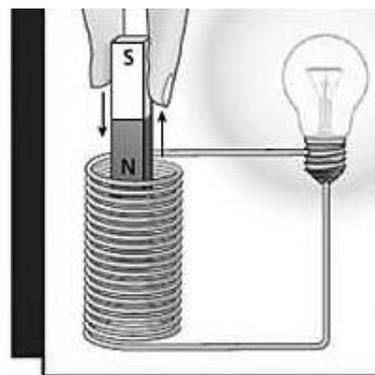
Il problema scelto per essere sottoposto agli studenti è l'esercizio n°17 pag E142 del libro "L'Amaldi 2.0" di U. Amaldi [2010], adeguatamente modificato per i nostri scopi. Riportiamo sotto la versione originale e quella modificata dell'esercizio, motivando le ragioni della scelta e della modifica.

Versione originale dell'esercizio:

### La forza elettromotrice

Una bobina è composta da 20 spire, ognuna con un'area di  $4,0 \text{ cm}^2$ , ed è collegata a un circuito che contiene una lampadina da torcia elettrica, ma nessun generatore. Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina passa dal valore zero al valore di  $9,4 \text{ mT}$ . Un ragazzo sposta la calamita vicino e poi lontano dalla bobina due volte al secondo.

- Qual è il modulo della forza elettromotrice indotta nel circuito da tale variazione di flusso?



Versione modificata e consegnata del **PROBLEMA A:**

Un circuito è costituito da una bobina (composta da 20 spire, ognuna con un'area di  $4,0 \text{ cm}^2$ ) collegata in serie a una lampadina; nel circuito non è presente nessun generatore.

Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina passa dal valore zero al valore di  $9,4 \text{ mT}$ . Un ragazzo sposta la calamita vicino e poi lontano dalla bobina due volte al secondo.

1. Qual è il modulo della forza elettromotrice indotta nel circuito da tale variazione di flusso?
2. Cosa succede se tengo ferma la calamita?
3. L'intensità della luce della lampadina cambia se avvicino o allontano la calamita?

Il primo criterio di scelta era che la formulazione del problema non doveva innescare alcun senso di disagio per la novità del linguaggio o della situazione considerata. Per questo motivo si è scelto un problema che venisse da un testo molto noto e ampiamente utilizzato, così come si è deciso di togliere dettagli inutili e poco significativi come il fatto che la lampadina fosse di una "torcia elettrica".

Il secondo criterio era che il problema fosse alla portata degli studenti. Questo significava non solo che trattasse un concetto già introdotto a lezione ma anche che gli studenti potessero avere a riferimento una fenomenologia nota e di cui avevano fatto una qualche esperienza. A questo fine, il problema scelto è sembrato particolarmente adatto perché si riferisce ad una situazione che gli studenti avevano sperimentato e osservato in classe durante la prima lezione.

Il terzo criterio era una certa ricchezza che permettesse, almeno in potenza, di attivare diversi *epistemic game*. Per favorire questo si è deciso di operare le modifiche più sostanziali, come l'eliminazione dell'immagine e l'aggiunta di due domande. Più nel dettaglio, con la nuova formulazione, si riteneva che:

- la domanda 1 avrebbe potuto indurre un *Transliteration to Mathematics* (se avessero già fatto un esercizio simile) o un *Recursive Plug-and-Chug* (se non lo avessero ancora affrontato);
- le altre domande aggiunte avrebbero potuto stimolare un ragionamento fisico e indurre strategie di *Mapping Meaning To Mathematics* o *Mapping Mathematics To Meaning*;

- l'assenza di disegno e i termini che richiamano la teoria dei circuiti (“circuito”, “in serie a”, “generatore”) avrebbero potuto innescare una *Pictorial Analysis*;
- le domande aperte e qualitative avrebbero potuto portare gli studenti a mettere in campo le proprie *primitive knowledge resource* e a mettere in atto un *Physical Mechanism Game*.

Un quarto criterio per la scelta e la formulazione del problema era l'obiettivo di raccogliere risposte estese e ricche per valutare la comprensione degli studenti dell'argomento, le eventuali difficoltà e la capacità di ragionare sulla fenomenologia in questione e sulla sua modellizzazione matematica.

Il problema è stato discusso e corretto in classe il 16 dicembre, ossia nell'incontro successivo alla sua consegna (cfr. figura 2.1, incontro 2).

Una seconda attività analoga è stata condotta il 19 dicembre (incontro 3). Agli stessi gruppi costituiti per il primo esercizio è stato sottoposto un altro problema (problema B) di uguale livello di difficoltà e scelto e modificato con gli stessi criteri illustrati precedentemente. La somministrazione di due problemi diversi, seppur con caratteristiche comuni, per questa prima fase dell'intervento aveva come obiettivo la verifica della presenza o meno di pattern comuni di ragionamento, trasversali rispetto allo specifico problema. Inoltre, la scelta di mantenere la stessa suddivisione degli studenti nei gruppi è stata guidata dalla volontà di mettere in risalto sistematicità o differenze nelle dinamiche di gruppo e nel ragionamento dei componenti. Gli alunni, in questo secondo caso, avevano a disposizione 90 minuti e i dati sono stati raccolti con le stesse modalità del primo lavoro di gruppo. Il problema consegnato è stato ottenuto a partire dall'esercizio n°2 pag E250 del libro “Nuova Physica 2000” di A. Caforio e A. Ferilli [2001]: il testo è stato mantenuto, il disegno è stato invece eliminato ed è stata aggiunta la domanda 2 (per la quale abbiamo preso spunto dal quesito n°9 del “Diagnostic Test of Students' Ideas in Electromagnetism (DTSIE)” di Sağlam & Millar, 2014).

### PROBLEMA B:

Una spira rettangolare di resistenza  $R=2\Omega$  avente i lati di lunghezza 20 cm e 30 cm rispettivamente si trova in un campo magnetico d'intensità 0,5 T generato da un elettromagnete. Il campo magnetico viene rapidamente annullato in 0,2s.

- 1) Quanto vale l'intensità della f.e.m. indotta e della corrente indotta nella spira?
- 2) Rappresenta in un grafico l'andamento nel tempo di:
  - a. Il flusso del campo B attraverso la spira
  - b. La f.e.m. indotta nella spira
  - c. La corrente indotta

Una volta costruito il contesto di partenza, il passo successivo è stato progettare uno strumento che ci permettesse di raggiungere gli obiettivi preposti, ossia aiutare gli studenti ad analizzare il problema secondo canoni "inusuali" e attivare gli *epistemic game* appropriati.

#### 2.2.2 Lo strumento per l'analisi di problemi e suo utilizzo in classe

Lo strumento costruito per innescare atteggiamenti consapevoli e via via più raffinati per l'analisi e la soluzione di un problema è una griglia da consegnare agli studenti per lavori di gruppo e/o per lavori individuali.

La griglia è articolata in quattro parti, corrispondenti a quattro diverse dimensioni che concorrono alla definizione e analisi del problema:

- a) il testo che enuncia il problema;
- b) la fenomenologia a cui il problema si riferisce;
- c) le forme di rappresentazione e modellizzazione che si possono utilizzare per descrivere ed interpretare il problema e il fenomeno cui si riferisce;
- d) il processo di matematizzazione per permettere di risolvere il problema.

Poiché si ritiene che la struttura stessa della griglia debba essere oggetto di riflessione degli studenti, si è introdotta un'ultima sezione con una riflessione critica sulla griglia stessa.

Di seguito si riporta la griglia con le domande e, oltre alle domande, con i che esplicitano gli obiettivi a cui le domande mirano. La versione della griglia consegnata agli studenti non contiene l'esplicitazione degli obiettivi, ma spazi per le risposte.

La griglia include domande generali che vanno bene per tutti i problemi e domande specifiche che rappresentano un adattamento della griglia al problema che si considera. Le domande specifiche sono riportate in corsivo e, in questo caso, illustrano come la griglia è stata adattata per essere utilizzata per analizzare il problema A.

Come emerge dagli obiettivi riportati nella griglia commentata, le domande sono state pensate per raggiungere tre diverse tipologie di obiettivi:

1. innescare mosse e strategie di *epistemic game* via via più raffinate;
2. favorire processi di meta-riflessione sulle strategie messe in atto;
3. favorire processi di riflessione critica sul testo e sui sistemi simbolici che si utilizzano spesso implicitamente nella soluzione di un problema.

GRIGLIA DI META-RIFLESSIONE [*adattata al caso specifico del problema A*]

**1. ESPLICITAZIONE DEL RAGIONAMENTO CONDOTTO PER LA SOLUZIONE DEL PROBLEMA**

DOMANDA	OBIETTIVO DELLA DOMANDA
<b>A. Quale fenomeno fisico principale è alla base di ciò che è descritto nel problema?</b>	Invito a esplicitare la prima strategia che di solito si mette in atto: prima forma di riconoscimento del problema attraverso un inquadramento generale e la costruzione dello sfondo in cui collocare il fenomeno descritto nel problema (strategia di <i>occhio grande</i> ).
<b>B. Quali termini o espressioni del testo sono chiave per riconoscere il fenomeno che sta alla base del problema e per ragionare sulla situazione descritta?</b>	Invito a condurre un'analisi puntuale del testo con riconoscimento dei dettagli critici (strategia di <i>occhio piccolo</i> ).
<b>C. Ci sono, nel testo, termini o espressioni che hai trovato ambigui e/o fuorvianti? Quali e perché?</b>	Invito a condurre un'analisi critica del testo (strategia di <i>occhio piccolo</i> ).

<p><b>D. Ci sono termini o espressioni che hai trovato inutili? Quali e perché?</b></p>	<p>Invito a condurre un'analisi critica del testo (strategia di <i>occhio piccolo</i>).</p>
<p><b>E. Hai mai visto e osservato direttamente la situazione illustrata nel problema? Se sì, quando? Questa esperienza ti può aiutare o ostacolare nella soluzione del problema? Perché?</b></p>	<p>Invito a riconoscere la fenomenologia e stimolo per l'attivazione di risorse cognitive tratte da esperienze (strategia di <i>occhio grande</i>).</p>
<p><b>F. Se dovessi “ri-raccontare” il problema a parole tue, quale “storia” racconteresti? Cosa diresti di diverso rispetto a quello che c'è nel testo?</b></p>	<p>Invito a “Sviluppare una storia della situazione fisica presente”, osservata come prima mossa negli <i>epistemic game</i> più raffinati (<i>Mapping Meaning to Mathematics</i>).</p>

## 2. ANALISI DEI CONTENUTI ATTRAVERSO UN'ESPLORAZIONE DELLA FENOMENOLOGIA

DOMANDA	OBIETTIVO DELLA DOMANDA
<p><b>G. Descrivi i seguenti elementi/concetti fisici che compaiono nel testo del problema, dicendo che cosa sono, quale significato fisico hanno e quali sono le loro principali funzioni e/o proprietà.</b> [ad esempio, in riferimento al problema A]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Circuito</i></li> <li>• <i>Bobina</i></li> <li>• <i>Lampadina</i></li> <li>• <i>Calamita</i></li> <li>• <i>f.e.m.</i></li> </ul>	<p>Invito ad estendere le risorse cognitive (<i>knowledge resources</i>), affinché si attivino non solo risorse tipicamente “scolastiche” ma anche risorse intuitive (ad es. “primitive di ragionamento” come il concetto di “variazione”). Le risorse intuitive potrebbero indurre un <i>Physical Mechanism Game</i>.</p>
<p><b>H. Se avessi una bobina non collegata a una lampadina l'effetto si avrebbe lo stesso? Spiega.</b></p> <p><b>I. Cambierebbe qualcosa se avessi cambiato la calamita con un campo B prodotto in altro modo? Spiega perché.</b></p>	<p>Invito a esplorare la fenomenologia e la casistica, per collocare la situazione specifica in uno sfondo più largo e più generale (strategia di <i>occhio grande</i> per la <i>costruzione dello sfondo</i>).</p>

<p><b>J. Cambierebbe qualcosa se avessi il campo <math>B</math> in verso opposto? Spiega.</b></p> <p><b>K. Se avessi avuto una sbarra metallica ferma e avessi mosso la calamita nello stesso modo vicino e lontano, si sarebbe verificato qualche fenomeno? Se sì, trovi somiglianze con l'induzione? Se no, perché?</b></p> <p><b>L. Ci sono elementi dell'apparato sperimentale descritto nell'esercizio (bobina, lampadina, calamita) che sono "inutili", ossia elementi senza i quali avrei avuto lo stesso il fenomeno dell'induzione? Spiega.</b></p> <p><b>M. Con quale oggetto potresti sostituire gli elementi fisici dell'apparato sperimentale (lampadina/bobina/calamita...) per avere fenomeno fisico uguale/simile? Spiega.</b></p>	<p>Invito a condurre un'attività di meta-riflessione per fare emergere eventuali difficoltà o punti non chiari, ad esempio la confusione tra f.e.m. indotta e corrente indotta (sezione 1.3 e 1.4 del capitolo 1).</p>
<p><b>N. Sulla base dell'analisi che hai appena svolto, come "ri-racconteresti" la storia del problema a parole tue al fine di sottolineare la collocazione del problema nel contesto più generale del fenomeno?</b></p>	<p>Altro invito, ora più consapevole, a "sviluppare una storia della situazione fisica presente", osservata come prima mossa negli <i>epistemic game</i> più raffinati (<i>Mapping Meaning to Mathematics</i>).</p>

### 3. RAPPRESENTAZIONE E MODELLIZZAZIONE

DOMANDA	OBIETTIVO DELLA DOMANDA
<p><b>O. Hai fatto un disegno per rappresentare il problema?</b>  <b>- Se sì, perché hai scelto proprio quella rappresentazione?</b>  <b>- In caso contrario, prova a costruire una rappresentazione grafica o una schematizzazione che sia utile a descrivere la situazione del problema e a</b></p>	<p>Invito a riconoscere l'importanza della rappresentazione, anche iconica, per focalizzare l'attenzione sugli elementi essenziali, per modellizzare e per innescare un meccanismo di <i>Mapping Meaning to Mathematics</i>.</p>

sostenere la storia che hai raccontato.

**P. Quali elementi hai rappresentato? E, in particolare, quali proprietà/caratteristiche/funzioni di ciascun elemento hai rappresentato? Quali hai invece tralasciato perché inutili per il problema?**

- *Nello specifico, quali aspetti della lampadina ti interessano? Spiega.*
- *Quali aspetti della bobina ti interessano? Spiega*
- *Quali aspetti della calamita ti interessano? Spiega.*
- *Quali aspetti del movimento della calamita ti interessano? Spiega.*

**Q. Ci sono i dettagli impliciti non sono scritti nel testo ma che hai immaginato per aiutarti nella rappresentazione? Se sì, quali e perché?**

**R. Ci sono invece dettagli del testo che non hai rappresentato perché li hai ritenuti inutili o fuorvianti? Se sì, quali e perché?**

Stimolo per sviluppare senso critico circa le scelte di rappresentazione che si operano spesso implicitamente e che, spesso, appartengono a sistemi simbolici diversi (apparato sperimentale, simboli circuitali, rappresentazione per stati (prima/dopo), simboli di processo...).

#### 4. MATEMATIZZAZIONE

DOMANDA	OBIETTIVO DELLA DOMANDA
<b>S. Quali equazioni hai utilizzato per risolvere il problema?</b>	Invito ad esplicitare la prima mossa che spesso si mette in atto nel <i>Transliteration to Mathematics</i> o nel <i>Recursive Plug-and-Chug</i> per attivare una riflessione critica.
<b>T. A partire dalle storie che hai descritto precedentemente, come hai tradotto le grandezze fisiche presenti nel testo in entità matematiche (simboli)?</b>	Invito a mettere in atto la strategia di “Traduzione delle grandezze fisiche in entità matematiche” del <i>Mapping Meaning to Mathematics</i> .

**U. Quali sono i termini che ti hanno indotto un ragionamento matematico e quali quelli che ti hanno indotto un ragionamento fisico?**

Stimolo per una meta-riflessione sulle strategie messe in atto nell'utilizzo della matematica.

**V. In quale passaggio nella soluzione del problema hai fatto un ragionamento fisico e in quale hai fatto un passaggio puramente matematico?**

## 5. RIFLESSIONE CRITICA

Attraverso le precedenti domande sei stata/stato guidata/o a riflettere sul problema attraverso:

- a) un'analisi del testo e la costruzione di una "storia",
- b) un'esplorazione della fenomenologia,
- c) un'analisi delle forme di rappresentazione/modellizzazione del fenomeno,
- d) un'analisi del processo di matematizzazione del problema.

Alla luce di questa riflessione, prova a rileggere il testo del problema e racconta se è cambiato qualcosa nella tua lettura, ovvero se ci sono parole, espressioni, aspetti che prima non avevi notato e che ora noti e commenta cosa ti sembra di avere imparato in termini di strategie di soluzione.

---

La griglia è stata consegnata agli studenti il giorno della correzione del problema A (incontro 2, 16 dicembre). È stato chiesto loro di leggerla individualmente in classe per una decina di minuti e di individuare le richieste più interessanti, inconsuete o complicate. È stato quindi chiesto di usarla a casa per analizzare il problema che avevano già affrontato e corretto.

L'incontro successivo (19 dicembre, incontro 3), le domande scelte dagli studenti sono servite come linea guida per una discussione collettiva condotta dalle ricercatrici e dalla laureanda (O. Levrini, E. Barelli, I. Giovannelli). Tutte le discussioni sono state audio-registrate e trascritte.

Lo stesso 19 dicembre, dopo aver fatto lavorare gli studenti in gruppo sul problema B senza griglia, è stata consegnata loro una versione della griglia adattata affinché potesse essere utilizzata per analizzare il problema B (cfr. Appendice A). È stata quindi data la consegna di discuterla in gruppo e di iniziare a rispondere alle varie domande, per poi completarle per casa. Le griglie completate dovevano essere riconsegnate poi alle ricercatrici.

Il 23 dicembre (incontro 4) è stata condotta dalla laureanda (I. Giovannelli) una discussione collettiva sul problema B, guidata dalle domande della griglia e da quelle dei ragazzi.

Per stimolare gli studenti a considerare seriamente le griglie, è stato detto che la riflessione stimolata da esse sarebbe stata importante per il compito in classe finale sul tema dell'induzione elettromagnetica. Il testo del compito è riportato in appendice (Appendice B) per completezza di documentazione. Esso è stato progettato dal docente di classe insieme alla laureanda (I. Giovannelli), seguendo norme e abitudini della classe e del docente. I risultati del compito non sono stati oggetto di un'analisi specifica per questa tesi, perché la tipologia di dati che essi forniscono non permette di ricostruire la strategia di ragionamento effettivamente utilizzata dagli studenti. Sono solo riportate le soluzioni o quelle spiegazioni che si ritenevano più adatte per la valutazione.

### **2.2.3 Valutazione del percorso**

Per ottenere dati su come gli studenti hanno vissuto l'esperienza didattica nel suo complesso, è stato costruito un questionario individuale di valutazione generale dell'attività. Il questionario, riportato qui sotto nella sua versione definitiva, è stato consegnato ai ragazzi il giorno 17 febbraio (incontro 7).

---

## QUESTIONARIO DI VALUTAZIONE DELL'INTERVENTO

IN UNA SCALA DA 1 A 5:

1. Complessivamente, quanto hai ritenuto utile questo percorso fatto insieme sull'induzione elettromagnetica?  
Perché?
2. Quanto ti hanno aiutato le **discussioni collettive** con tutta la classe...
  - a. ...per comprendere meglio l'argomento dell'induzione elettromagnetica?
  - b. ...per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi?
  - c. ...per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?
3. Quanto ti hanno aiutato le discussioni avute con i compagni durante i **lavori di gruppo**?
  - a. ...per comprendere meglio l'argomento dell'induzione elettromagnetica?
  - b. ...per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi?
  - c. ...per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?
4. Quanto ti hanno aiutato le **domande della griglia** consegnata...
  - a. ...per comprendere meglio l'argomento dell'induzione elettromagnetica?
  - b. ...per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi?
  - c. ...per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?
5. Fra i **quattro tipi di riflessione** proposti nella griglia, quanto hai ritenuto utile:
  - a. l'analisi del testo del problema (parte 1)?
  - b. l'esplorazione della fenomenologia (parte 2)?
  - c. l'analisi delle forme di rappresentazione/modellizzazione del problema (parte 3)?
  - d. l'analisi del processo di matematizzazione del problema (parte 4)?

DOMANDE APERTE:

- A. Ci sono state riflessioni/domande/interventi tuoi o dei tuoi compagni o degli intervistatori che ti sono rimaste impressi in maniera positiva o negativa?  
Perché?
  - B. Vorremmo proporre un analogo percorso didattico ad altri studenti. Hai qualche suggerimento o critica da segnalarci (riguardo la griglia consegnata, gli esercizi scelti, la composizione dei gruppi...) in modo tale da poterlo migliorare?
-

## 2.3 Metodologia e domande di ricerca

Come già precedentemente descritto per ogni fase specifica, la raccolta dei dati è avvenuta tramite:

- registrazioni audio (o audio-video) delle lezioni del docente, delle discussioni collettive e di quelle di gruppo durante la risoluzione dei primi esercizi consegnati (problema A e B);
- risposte scritte degli studenti nella risoluzione a gruppi;
- griglie di analisi del problema compilate e riconsegnate;
- appunti personali delle ricercatrici e della laureanda intervenute (O. Levrini, E. Barelli, I. Giovannelli).

Questi dati sono stati analizzati avendo come riferimenti teorici principali il modello degli *epistemic game* e l'interdisciplinarietà matematica/fisica nell'ambito del *problem solving*.

Il risultato di questo studio sarà presentato nel capitolo 3, in risposta a due domande di ricerca che hanno guidato l'intera analisi:

**DR1.** Quali strategie di *problem solving* sono osservabili negli studenti prima dell'intervento e prima dell'utilizzo della griglia?

**DR2.** La griglia è efficace per innescare riflessioni critiche sui processi di *problem solving*? Se sì, quali tipologie di riflessione sono innescate dalla griglia?

Le risposte a queste domande sono riportate all'interno dell'analisi dei risultati presentati nel capitolo successivo.

# Capitolo 3

## Analisi dei dati e risultati

In questo capitolo presentiamo le fasi dell'analisi dei dati raccolti durante la sperimentazione in classe presentata nel capitolo precedente, ed i principali risultati. Tale analisi è stata condotta per rispondere alle domande di ricerca. Nella presentazione dei risultati che segue, riportiamo, per ogni domanda, i dati considerati e le metodologie specifiche utilizzate per analizzarli. In generale, si è seguita una metodologia qualitativa di analisi [Anfara, Brown & Mangione, 2002; Denzin & Lincoln, 2005] per costruire un quadro sintetico di quanto accaduto in classe ed interpretarlo. L'obiettivo era infatti, da un lato, quello di riconoscere ed interpretare gli approcci degli studenti durante la sperimentazione, e, dall'altro, quello di individuare criticità e punti di forza dell'intervento didattico stesso.

Ciascuna delle sezioni che costituiscono il presente capitolo è dedicata ad una specifica domanda di ricerca. Nella sezione 3.1 sarà illustrato lo stato iniziale delle strategie di risoluzione dei problemi messe in campo dagli studenti; nella 3.2 saranno presentate le reazioni all'utilizzo della griglia così da poterne valutare l'efficacia o gli eventuali punti di debolezza. Infine, nella sezione 3.3 si analizzano le valutazioni complessive degli studenti riguardo le attività proposte.

### 3.1 Le strategie di *problem solving* degli studenti: la situazione iniziale

Per rispondere a DR1 (*Quali strategie di problem solving sono osservabili negli studenti prima dell'intervento e prima dell'utilizzo della griglia?*) e delineare un quadro iniziale degli approcci messi in campo dagli studenti per la risoluzione di problemi, abbiamo analizzato i dati relativi alla risoluzione a piccoli gruppi degli esercizi A e B di cui al paragrafo 2.2.1. In particolare, i dati considerati consistono nelle tracce di risoluzione dei problemi consegnate dai gruppi e nelle audio registrazioni delle discussioni di ciascun gruppo, delle quale è stata analizzata la trascrizione. Sono stati selezionati questi dati in quanto la risoluzione dei relativi problemi non era stata guidata dalla griglia di meta-riflessione e, di conseguenza, possiamo ritenere che le trascrizioni dei lavori di gruppo restituiscano una fotografia degli approcci tipici messi in campo dagli studenti di quella classe di fronte a quel determinato tipo di problemi. La somministrazione di due problemi diversi, seppur con caratteristiche comuni, ha permesso di controllare la presenza o meno di *pattern* di ragionamento, trasversali rispetto allo specifico problema.

Come anticipato nel Capitolo 2, per la risoluzione dei problemi A e B, gli studenti sono stati divisi in sei gruppi di tre componenti ciascuno; tali gruppi sono stati costruiti con il supporto del docente per avere gruppi sia “omogenei” che “eterogenei” a livello di preparazione ed attitudine alla materia. In Tabella 3.1, sono riportati i componenti di ciascun gruppo e il rispettivo profilo di rendimento nella disciplina, secondo la valutazione del professore, espresso in una scala da 1 (rendimento basso) a 5 (rendimento alto).

Tabella 3.1: Composizione dei gruppi per i lavori di gruppo sui problemi A e B

	Componenti	Rendimento		Componenti	Rendimento
<b>Gruppo 1</b> (omogeneo, rendimento basso)	Michele	2	<b>Gruppo 4</b> (omogeneo, rendimento medio-alto)	Giovanni	4
	Gianluca	1		Irene	4
	Ester	1		Luigi	3

<b>Gruppo 2</b> (omogeneo, rendimento alto)	Francesco	5	<b>Gruppo 5</b> (eterogeneo)	Leonardo	4
	Dario	5		Teresa	3
	Alessia	4		Sara	1
<b>Gruppo 3</b> (eterogeneo)	Rebecca	3	<b>Gruppo 6</b> (eterogeneo)	Anna	3
	Giulia	4		Roberta	2
	Veronica	2		Nicola	4

L'analisi dei dati è stata condotta esaminando i dialoghi tra gli studenti riguardo il problema A, e, successivamente, riguardo il problema B, evidenziando i punti di difficoltà incontrati e le strategie messe in campo. In seguito, alcuni atteggiamenti tipici degli studenti ed alcuni più peculiari saranno interpretati alla luce degli *epistemic games* [Tuminaro & Redish, 2007].

Essendo il problema A il primo che gli studenti affrontavano relativamente all'IEM, nei 60 minuti dati loro a disposizione per la risoluzione si sono limitati a discutere il primo quesito riguardo il modulo della forza elettromotrice indotta nel circuito in oggetto, dalla variazione di flusso descritta. In particolare, la strategia seguita dalla maggior parte dei gruppi di studenti è stata esplicitamente quella di andare alla ricerca, nel libro di testo *La Fisica di tutti i giorni (Volume 5)* di C. Romeni [2014], di problemi simili da utilizzare come modello, oppure di formule che contenessero le variabili nominate nel testo del problema, così da poter fornire una risposta. Le formule identificate come "utili" alla risoluzione sono state per lo più la formula di Faraday-Neumann (formula 1.1) e la definizione di flusso ( $\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \alpha$ ), ma si riscontrano anche sporadici riferimenti di alcuni studenti ad altre leggi, tra cui il teorema di Gauss per il campo magnetico ( $\phi_S(\vec{B}) = 0$  con S superficie chiusa). Successivamente gli studenti, nell'utilizzare le formule citate, si interrogano riguardo l'assenza, nel testo del problema, di un dato esplicito sul valore dell'angolo  $\alpha$  tra il vettore area delle spire  $\vec{A}$  e il vettore campo magnetico  $\vec{B}$ . Questo dubbio viene affrontato allora con una nuova ricerca nel libro di testo di altre formule che

coinvolgano le quantità incognite o di ulteriori esercizi svolti che possano essere utilizzati come modello. Ad esemplificazione di questo schema di ragionamento, che si riscontra in 5 gruppi su 6, scegliamo di riportare la trascrizione di una parte dei dialoghi avvenuti nei gruppi 1 (gruppo omogeneo, rendimento basso), 3 (gruppo eterogeneo) e 4 (gruppo omogeneo, rendimento medio-alto).

*GRUPPO 1*

*Michele: [mentre il compagno sfoglia il libro] Guarda quell'esercizio, forse è simile al nostro. Confrontiamo i testi e guardiamo cosa c'è e cosa non c'è.*

*Gianluca: Eh, qua [sul libro] c'è l'angolo ma qua [nell'esercizio assegnato] non c'è, sennò è uguale. [...]*

*Michele: Ma perché qui allora non ci ha dato l'angolo?*

*Gianluca: Si vede che viene da un ragionamento teorico che noi non capiamo...*

*Ester: Ma no, vedrai che ci sarà una formula con l'angolo che noi dobbiamo invertire per avere quello che ci manca!*

*Gianluca: Dai, rovista nelle formule!*

*Michele: Secondo me, serve un'altra formula per calcolare il flusso...*

*Ester: [sfogliando] Guarda che ce n'è un'altra per il flusso, ma non so cos'è, cosa sono quei simboli?*

*Michele: [prende il libro e guarda] Boh, qui dice che  $L$  è l'induttanza...*

Nel segmento di dialogo riportato, Michele tenta di orientare il gruppo alla ricerca di un esercizio simile sul libro, per confrontare i due testi e identificare le caratteristiche comuni. Quando Gianluca riconosce come unica differenza tra i due problemi l'assenza di un dato sull'angolo tra il campo magnetico e la superficie del circuito, insieme a Michele inizia a interrogarsi sul "ragionamento teorico" che possa giustificare l'assenza di quell'elemento nel testo. Questo suggerimento di discussione viene però stroncato da Ester, la quale è convinta che sia un'ulteriore formula, contenente l'angolo  $\alpha$ , a poter fornire la risposta per trovare "quello che manca". Il suggerimento è raccolto da Gianluca che la invita a cercare tra le formule del libro una opportuna. Non vedendo possibilità per ricavare l'angolo a partire da altre formule, un nuovo intervento di Michele richiede un'altra espressione per trovare il flusso del campo magnetico; Ester la rintraccia nella formula della definizione del coefficiente di autoinduzione  $L$  di un circuito ( $\phi = L \cdot i$ ), in quanto riconosce in essa l'utilizzo del simbolo  $\phi$ , ma non sapendo come procedere si bloccano.

L'atteggiamento di ricerca di formule per ricavare quantità target per la risoluzione del problema non si rintraccia soltanto tra gruppi omogenei a basso rendimento, ma anche tra gruppi di studenti con medio-alto rendimento. Un esempio è fornito dal seguente transcript del gruppo 4.

*GRUPPO 4*

*Giovanni: Per il flusso ci serve l'angolo!*

*Luigi: Sarà l'angolo giro se [la bobina] è chiusa su se stessa.*

*Giovanni: Il coseno è 0... no, 1...*

*Irene: Ma se è 90°, il coseno è 0.*

*Giovanni: Ah boh, prendi il libro e vedi se c'è una formula...*

*Luigi: [sfogliando] Qui dice che "il flusso del campo B attraverso una qualsiasi superficie chiusa è nullo".*

*Giovanni: Ah, ma allora è 0.*

La quantità identificata come target per poi calcolare il flusso è, ancora, l'angolo  $\alpha$ . Per determinarlo, Giovanni suggerisce di cercare una formula opportuna sul libro; trova una risposta per lui soddisfacente nel teorema di Gauss per il campo magnetico, concludendo che l'angolo  $\alpha$  sia 0. Il segmento di transcript riportato permette di evidenziare come il risultato numerico corretto ( $\alpha=0$ ), l'unico riportato dagli studenti sul foglio consegnato, sia stato tuttavia il frutto di un'errata interpretazione ricavata a partire da una relazione non appropriata per il problema in esame.

È interessante analizzare anche le strategie di risoluzione messe in campo dalle studentesse del gruppo 3, evidenziando i punti di contatto e le differenze rispetto agli approcci dei due gruppi precedenti.

*GRUPPO 3*

*Giulia: Dobbiamo trovare il flusso, ragazze!*

*Rebecca: [mentre la compagna sfoglia] Aspetta, aspetta, torna indietro, qui c'è una formula con il flusso [teorema di Gauss per il campo magnetico ( $\oint_S(\vec{B}) = 0$ ) con S superficie chiusa].*

*Veronica: Ma non c'entra niente con il nostro caso! Non è una superficie chiusa...*

*Rebecca: Vabbè scusa, avevo visto quella lettera strana del flusso*

*Veronica: Ah c'è anche questa col flusso [formula del flusso autoconcatenato con un solenoide di N spire]. Questa, questa! C'è anche il numero delle superfici che noi infatti ne abbiamo 20*

*Giulia: [...] Ma scusa nella formula che ha scritto lei del flusso<sup>2</sup>, non c'è questo [uno dei simboli della formula]...*

*[...]*

*Rebecca: Sì ma comunque ci manca coseno di alfa, dobbiamo capire come cambia l'angolo!*

*Giulia e Veronica: Ah boh...*

*Rebecca: Forse è perpendicolare, forse eh...o forse dipende da come la avvicino e quindi varierà al variare dell'angolo!*

*Veronica: Boh, sì... prova a scriverlo, almeno scriviamo qualcosa!*

L'incipit di questo segmento di transcript mostra come le studentesse affrontino il problema andando, fin da subito, alla ricerca di una formula per ricavare il flusso, identificato come primo target. Dapprima, Rebecca individua la formula del teorema di Gauss per il campo magnetico, ma Veronica la interrompe, sottolineando come questa valga solo se si considerano superfici chiuse, non presenti nel testo del problema assegnato. L'attenzione si orienta allora alla formula per il calcolo del flusso autoconcatenato per un solenoide di N spire, ma Giulia la interrompe confrontando quella in seguito fornita dalla ricercatrice alla lavagna con quella indicata da Veronica. Nella formula fornita rimane però l'incognita dell'angolo  $\alpha$ : a questo punto, Rebecca propone, invece di ricorrere ad un'altra formula per determinare la grandezza incognita (come fatto dai gruppi 1 e 4), di ragionare su "come cambia l'angolo", ipotizzando che esso vari a seconda dei modi in cui la calamita viene avvicinata al circuito.

Un approccio diverso è invece quello che emerge dalla discussione tra i componenti del gruppo 2, considerati dal professore i migliori della classe in Fisica. Dopo aver individuato la legge di Faraday-Neumann come quella cruciale per la risoluzione dell'esercizio, ragionano sull'intervallo di tempo per poi passare alla discussione della variazione di flusso, riportata nel segmento di transcript che segue.

---

<sup>2</sup> Per agevolare i gruppi più in difficoltà e trattandosi sempre del primo esercizio che gli studenti affrontavano senza la guida del professore, la ricercatrice (I. Giovannelli), d'accordo con il titolare di cattedra, ha ritenuto necessario scrivere alla lavagna, come suggerimento comune alla classe, la formula di Faraday-Neumann (formula 1.1) e la definizione di flusso ( $\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \alpha$ ).

GRUPPO 2

Francesco: [...] A posto allora, abbiamo tutto, quindi calcoliamo. Ah no... aspetta! Il coseno di alfa... in realtà possiamo immaginarci che... sì, supponiamo una sola spira per ora e ci avviciniamo la calamita... [...] Dobbiamo supporre di avvicinare la calamita, supponendo che la calamita abbia campo magnetico maggiore lungo il suo asse in modo che sia perpendicolare...

Dario: ...all'intensità di corrente!

Francesco: All'area della spira, così A e B sono paralleli, l'angolo  $\alpha$  è 0 e il coseno è 1.

Alessia: Sì, giusto,  $\alpha$  è quell'angolo lì!

Francesco: Ma abbiamo fatto bene a ipotizzare questo? Sì, sì, per forza perché sennò non sappiamo il coseno

Dario: Sì, anche perché, se vedi le linee di campo, anche se la metti accanto alla bobina non cambia niente, perché tanto son sempre parallele!

Francesco: Ah, già, sì!

Lo scambio di battute tra Francesco e Dario è particolarmente interessante perché mostra come, per determinare  $\alpha$  e, di conseguenza,  $\cos\alpha$ , essi non vadano subito alla ricerca di formule contenenti la variabile target, bensì intraprendano un ragionamento che considera il meccanismo fisico alla base del fenomeno. Riflettendo sulle direzioni dei vettori campo magnetico ed area delle spire, giungono ad una risposta sia concettualmente sia numericamente corretta.

Per verificare la persistenza di questi schemi di ragionamento al cambiamento (seppur parziale) di contesto, la settimana successiva è stato somministrato agli stessi gruppi di studenti il problema B, di simile difficoltà. In questo nuovo contesto, il problema sull'angolo  $\alpha$  tra area della spira e campo magnetico, necessario per rispondere al primo quesito ("Quanto vale l'intensità della f.e.m. indotta e della corrente indotta nella spira?"), è stato "risolto" affidandosi alla risoluzione fornita dalla ricercatrice (I. Giovannelli) per l'esercizio della settimana precedente e considerando questo come modello su cui trasporre il nuovo contesto sostituendovi i nuovi dati. Ad esemplificazione di questo tipo di atteggiamento, riportiamo un breve stralcio dal transcript del gruppo 1; frasi simili, indicatori del medesimo approccio, si possono rintracciare anche negli altri gruppi, eccezion fatta per il gruppo 2.

GRUPPO 1

Gianluca: Ok, abbiamo la formula del flusso...

Ester: L'area ce l'abbiamo, il campo ce l'abbiamo...

Gianluca: Sì e il coseno di alfa se ti ricordi l'altra volta l'abbiamo lasciato indicato, andrà bene di nuovo...

Ester: Ah, ok, allora a posto!

Per la rappresentazione ed il calcolo della corrente indotta, una volta ricavata la f.e.m., l'atteggiamento più tipico è caratterizzato, come già discusso per il problema A, da una ricerca ricorsiva di formule sul libro di testo che contengano la variabile target, al fine di applicarle al nuovo contesto sostituendovi i nuovi dati. Ad esemplificazione di questo approccio, riportiamo il dialogo avvenuto tra le studentesse del gruppo 3.

GRUPPO 3

[Chiedono la formula ad un altro gruppo perché nel libro non la trovano]

Giulia: So la formula!  $V=R \cdot i$

Rebecca: Vai, scrivila!

Veronica: Ma che vuol dire?

Giulia: Ora ci ragioniamo, ma intanto scrivila!

Rebecca: Ma l'abbiamo fatta questa formula? Io non ho capito...

Veronica: V non può essere la velocità...

Rebecca: [sfogliando il libro] Ah... ma è la prima legge di Ohm!

Giulia: Ok noi abbiamo la f.e.m., secondo me questi Volt sono quelli da mettere qui nel V.

Veronica: V è la differenza di potenziale, quindi  $i=V/R$ .

Rebecca: Eh, ma la differenza di potenziale qual è?

Veronica: Qui dice "ai capi di un filo".

Rebecca: Ma noi abbiamo una spira!

Giulia: Ma, scusate, abbiamo la f.e.m.!

Veronica: Qui dice "la f.e.m. è la differenza di potenziale di un generatore tra due terminali aperti"

Rebecca: Ma noi abbiamo una spira chiusa!

Giulia: Ma se ci mettiamo la f.e.m. secondo voi funziona? A parte che abbiamo solo questa perciò...

Veronica: Per me potrebbe funzionare!

Rebecca: Sì, facciamola così!

Individuata la formula contenente la variabile target  $i$ , le studentesse discutono su cosa sostituire al posto di V: Veronica nomina la velocità, ma Giulia ipotizza che sia la f.e.m., dato che anch'essa, come il potenziale, si misura in Volt. Rebecca tenta di spiegarsi il motivo per cui la f.e.m. può essere utilizzata come differenza di potenziale e, per farlo, cerca sul libro la definizione di differenza di potenziale e di f.e.m.: le due

definizioni non sembrano essere applicabili, secondo Rebecca, al problema in esame in quanto, invece di avere fili e terminali aperti, viene considerata una spira chiusa. Invece di proseguire il ragionamento e sciogliere il dubbio, Giulia invita le compagne a sostituire  $V$  con la f.e.m., dato che comunque è l'unico valore che hanno a disposizione; Veronica e Rebecca concordano, in quanto "potrebbe funzionare".

Riguardo il secondo quesito ("Rappresenta in un grafico l'andamento nel tempo del flusso del campo  $B$  attraverso la spira, la f.e.m. indotta nella spira e la corrente indotta"), le criticità principali di approccio, comuni alla maggior parte dei gruppi, hanno riguardato: i) l'interpretazione e la modellizzazione del fenomeno descritto nel problema (per la richiesta delle rappresentazioni grafiche di flusso e f.e.m.); ii) la ricerca di formule sul libro di testo e la successiva applicazione delle stesse, senza fornirne argomentazione (specialmente per quanto concerne la rappresentazione della corrente indotta).

#### *GRUPPO 1*

*Gianluca: Facciamo il grafico. Allora, l'ordinata  $x$  sarà il tempo, il periodo è 0.2 secondi, quindi si ripete uguale.*

*Ester: L'ordinata è la  $y$ .*

*Gianluca: [...] Ogni 0.2 secondi il campo  $B$  si annulla, il flusso diventerà 0. Quindi sarà tipo una sinusoidale. [...] Il tempo non può essere negativo, quindi qua non disegno. Però  $B$  può essere sia positivo che negativo...serve la regola della mano destra per capire se è sempre positivo, sempre negativo o passa da positivo a negativo come una sinusoidale...*

*Ester: Secondo me è una sinusoidale, mi convince.*

*Gianluca: Non mi ricordo come va, se è positivo o negativo. Secondo me serve la regola della mano destra. Anzi secondo me è inutile che sia positivo o negativo...perché alla fine è solo un segno*

*Ester: Ma è una sinusoidale, fidati*

*Gianluca: Sì però solo positiva, perché ho preso il verso del campo solo positivo, non è mai negativo*

Gli studenti del gruppo 1 assumono che il fenomeno sia periodico, di periodo 0.2 s, e ipotizzano un andamento sinusoidale sia per il campo  $B$ , sia per il flusso. Gianluca si basa sui dati numerici forniti dal problema e li interpola con la funzione periodica più celebre per ricavare l'andamento nel tempo, aggiungendo però una nota sul foglio ("secondo me la positività o negatività del campo magnetico  $B$  non influisce sul grafico, perciò lo rappresenterò come positivo"). Ester non partecipa più alla

discussione e lascia a Gianluca il compito dei grafici. Lui disegna quello ipotizzato per l'andamento temporale del campo  $B$  e del flusso  $\phi$ , poi aggiunge un grafico dell'andamento di  $\phi/R$  che non era richiesto ma che probabilmente rappresenta per Gianluca la corrente indotta (confondendosi con la legge di Ohm  $i=V/R$ ). Riportiamo nella figura seguente (3.1), il foglio consegnato dal gruppo 1 con i grafici sopra descritti.

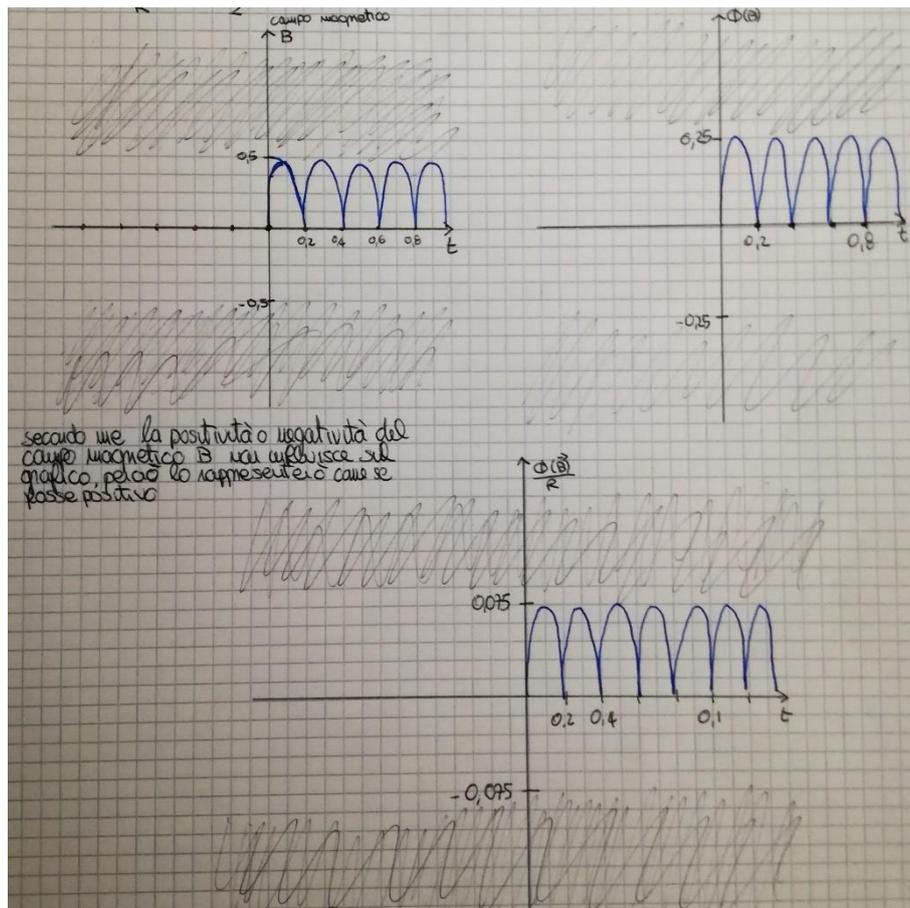


Figura 3.1: Grafici consegnati dal gruppo 1 (problema B).

Il segmento di dialogo avvenuto nel gruppo 5 mostra invece come gli studenti problematizzino la forma del grafico del campo magnetico.

**GRUPPO 5**

Sara: Mancano i grafici. Allora, abbiamo due punti: 0 secondi e 0.2 secondi

*Leonardo: Al tempo 0, vale quello che abbiamo trovato prima, al tempo 0.2 vale 0. Però abbiamo il valore del campo magnetico e quindi del flusso solo a 0 e 0.2, in mezzo cosa succede? Decresce in modo uniforme?*

*Teresa: Quando facevamo l'esperimento, [esperimento dimostrativo svolto dal docente durante la prima lezione], la lancetta si muoveva lentamente...*

*Sara: Non si può fare una prova inserendo altri numeri? Cioè in modo matematico...*

*Leonardo: Boh, non so cosa trovi, prova!*

Individuati i due punti per i quali il grafico di B deve passare, corrispondenti ai valori di tempo di 0 s e 0.2 s, Leonardo pone alle compagne la domanda “in mezzo cosa succede?”. Teresa avvia una spiegazione riferendosi all’esperimento mostrato dal docente in classe, ricordando come la lancetta del voltmetro si muovesse lentamente. Sara interrompe questo ragionamento ed invita i compagni a “fare una prova, inserendo altri numeri”; per lei, la correttezza del ragionamento è garantita dal farlo “in modo matematico”, anche se non si dispone di una funzione analitica e anche se, come esprime subito dopo Leonardo, non si conosce il significato fisico di ciò che si andrebbe a trovare.

Similmente a quanto discusso per il problema A, le criticità evidenziate sin qui si possono rintracciare, più o meno frequentemente e più o meno esplicitamente, per tutti i gruppi, ad eccezione del gruppo 2. Nel transcript che segue, la discussione è dominata principalmente dai due ragazzi (Francesco e Dario); la terza studentessa, Alessia, si autoassegna il ruolo di mediatrice tra i due compagni. Per rispondere al primo quesito posto dal problema, gli studenti non si riferiscono all’esercizio affrontato nella lezione precedente come fosse uno “stampo” da replicare ed adattare ai nuovi dati; al contrario, ragionano per “supposizioni” che diventano, per loro, il primo strumento utile per la modellizzazione del fenomeno in esame.

#### *GRUPPO 2*

*Francesco: Supponiamo che il campo magnetico sia perpendicolare alla superficie della spira*

*Dario: ... e che sia uniforme su tutta la spira.*

*Francesco: Sì, esatto.*

*Dario: Costante in ogni punto della spira.*

*Francesco: Sì, non costante nel tempo, ma il campo ha lo stesso valore in ogni punto.*

Per la realizzazione dei grafici del flusso, della f.e.m. e della corrente indotta, richiesti dal secondo quesito, Francesco e Dario dimostrano di intersecare ragionamenti “fisici” (facendo uso delle leggi e delle formule fondamentali, ossia la legge di Faraday-Neumann o la definizione di flusso) e ragionamenti invece più tipicamente “matematici” (riguardo l’espressione analitica della funzione lineare o del suo coefficiente angolare).

*Francesco: Ok, nell'altra domanda dobbiamo riportare in grafico il flusso, la f.e.m. e la corrente. Allora, A e coseno rimangono uguali quindi il flusso è direttamente proporzionale a B.*

*Alessia: Sì, esatto.*

*Francesco: Poi, sappiamo che è annullato in 0.2 secondi quindi sarà 0.03 [T] fino a  $t_0$  e diventa 0 in  $t_0+0.2$  secondi*

*Alessia: Sì, poi lo faccio andare giù così dritto*

*Francesco: Eh ma come fai a saperlo?*

*Dario: Dovresti fare il contrario della derivata, visto che la f.e.m. è la derivata del flusso, cioè l'integrale ma non mi ricordo...*

*Francesco: Sarà tipo una parabola ma dipende da come viene annullato e se è più larga o più stretta... supponiamo che sia una retta.*

*Dario: Sì supponiamo una retta perché non abbiamo i mezzi per capirlo. E il coefficiente angolare della retta è la f.e.m., infatti sarebbe  $y/x$  quindi flusso/tempo, se mi ricordo bene.*

*Alessia: Sì, esatto.*

*Francesco: Sì, e supponiamo sia costante, quindi il grafico della f.e.m. sarà un rettangolo.*

### 3.1.1 Discussione preliminare dei risultati

Nonostante la presenza di elementi idiosincratici di ragionamento, l’analisi condotta delle discussioni degli studenti in merito a due tipici problemi riguardo l’induzione elettromagnetica ha permesso di individuare due macro-approcci al *problem solving*, profondamente diversi tra loro.

L’atteggiamento più frequente, riscontrabile nei gruppi 1, 3, 4, 5 e 6, è caratterizzato da due strategie, messe in campo alternativamente o in sinergia. Entrambe queste strategie iniziano con l’identificazione di una quantità target da calcolare. Successivamente, la prima strategia consiste nel cercare, tra gli esercizi svolti del libro o in classe, un pattern di soluzione simile al problema assegnato; una volta individuato

questo pattern, esso è preso a modello ed utilizzato come “stampo” per mappare le quantità date nel nuovo problema all’interno del pattern di soluzione. La seconda strategia, invece, prevede la ricerca non di problemi simili ma di un’equazione che contenga la variabile target e la colleghi ad altre quantità; quindi, se tutte le altre quantità che compaiono nell’equazione sono note, si procede al calcolo del target, altrimenti, se altre quantità sono sconosciute, si identificano nuovi target e si cercano altre equazioni che permettano di ricavarli. Questi schemi di ragionamento, nel modello degli *epistemic game* di Tuminaro e Redish (Tuminaro & Redish, 2007), sono definiti rispettivamente *Transliteration to Mathematics* e *Recursive Plug-and-Chug* e si compongono delle “mosse” descritte sopra, rintracciabili nei discorsi degli studenti.

L’approccio del gruppo 2, formato dagli studenti a più alto rendimento nella materia, costituisce un *unicum* rispetto al resto classe, in quanto è caratterizzato da strategie più articolate di ragionamento. Anche questi studenti avviano la discussione individuando i concetti target per la risoluzione del problema e prendono in considerazione le leggi fisiche opportune che collegano il target ad altri concetti. Differentemente però dagli studenti che mettono in campo un *Recursive Plug-and-Chug*, Francesco e Dario dimostrano di essere in grado di collegare i simboli in tali equazioni al significato fisico delle variabili espresse dal testo del problema: utilizzando le parole di Tuminaro e Redish, sono in grado di “raccontare la storia” del problema utilizzando le relazioni tra concetti. Tale strategia può essere riletta in termini di *epistemic game* come *Mapping Mathematics to Meaning*, uno dei due atteggiamenti più intellettualmente raffinati rispetto al *problem solving* [Tuminaro & Redish, 2007, p. 6].

### **3.2 Le reazioni degli studenti all’intervento didattico**

L’analisi delle reazioni degli studenti all’intervento didattico nel suo complesso è stata guidata dalla seconda domanda di ricerca (“*La griglia è efficace per innescare riflessioni critiche sui processi di problem solving? Se sì, quali tipologie di riflessione sono innescate dalla griglia?*”). Per rispondere a questa domanda sono state considerate sia le registrazioni di discussioni collettive sulla griglia sia le griglie compilate individualmente. Come emergerà la griglia si è rivelata interessante per due suoi

diversi utilizzi: come strumento per innescare discussioni di classe su modi di pensare e capire la Fisica; come strumento da utilizzare individualmente al fine di problematizzare e arricchire le proprie strategie di *problem solving*. Questi risultati sono stati riconosciuti e sottolineati dagli studenti nel questionario finale e dal docente di classe, come si mostrerà nell'ultima sezione di questo capitolo, dedicata alla valutazione complessiva dell'esperienza.

Nelle due sottosezioni che seguono saranno descritti nel dettaglio i dati presi in considerazione, le metodologie di analisi e i principali risultati ottenuti per rispondere alla seconda domanda di ricerca (DR2).

### **3.2.1 Riflessioni e discussioni collettive innescate dalla griglia**

Per una prima risposta alla DR2, sono stati analizzati i dati relativi alla discussione collettiva svoltasi in classe durante il terzo incontro (cfr. figura 2.1) e, in particolare, la trascrizione dei 30 minuti di audio registrazione. Prima di tale incontro, come descritto nella sezione 2.2.2, agli studenti era stata consegnata la griglia ed era stata loro introdotta come strumento di guida nell'analisi e nella risoluzione di problemi di fisica. In particolare, era stato chiesto loro di leggerla con attenzione e di individuare quali sue parti o domande fossero per loro nuove e quali stimolassero riflessioni insolite. Queste stesse domande sono state riproposte da I. Giovannelli e dalla prof.ssa Olivia Levrini all'intera classe durante il terzo incontro, suscitando una discussione che ha visto come protagonisti Francesco e Nicola, sebbene non siano mancati anche interventi da parte di altri studenti e studentesse e, in generale, tutta la classe si sia mostrata reattiva e partecipe. In Figura 3.2 riportiamo uno schema del flusso temporale della discussione collettiva, costruito rappresentando gli interventi dei partecipanti e la durata dell'intervento (l'unità di tempo utilizzata è 2 secondi). Lo schema mostra in modo evidente una predominanza degli interventi degli studenti rispetto ai brevi interventi dei ricercatori e una forma di partecipazione molto dialogata, con scambi diretti anche tra studente e studente [Levrini et al., 2018].

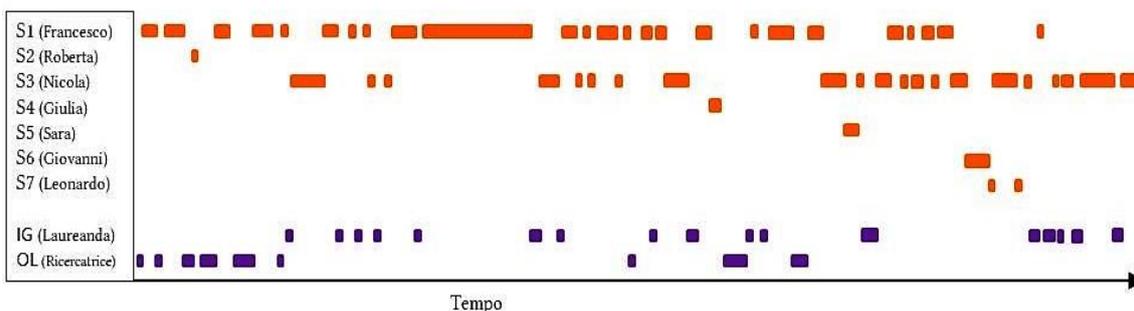


Figura 3.2: Schema temporale della discussione collettiva (l'unità di tempo rappresentata è 2 secondi).

L'analisi della trascrizione della discussione ha permesso l'individuazione di tre macro-temi introdotti e dibattuti dagli studenti. Tutti i macro-temi possono essere visti come inerenti il rapporto tra matematica e fisica nella risoluzione di problemi. Riguardano: i) il ruolo svolto dalla modellizzazione nell'analisi di un problema, ii) il legame tra l'esigenza di concretezza dei dati e la necessità di astrazione per la comprensione della situazione in esame, e iii) la relazione tra la situazione particolare espressa dallo specifico problema e la sua estensione al caso generale. In Appendice C è riportata la trascrizione completa della discussione tra gli studenti, organizzata graficamente per mettere in evidenza i tre macro-temi. Per offrire un quadro sintetico del loro susseguirsi durante la riflessione collettiva, in Figura 3.3 ne è fornita una rappresentazione grafica.

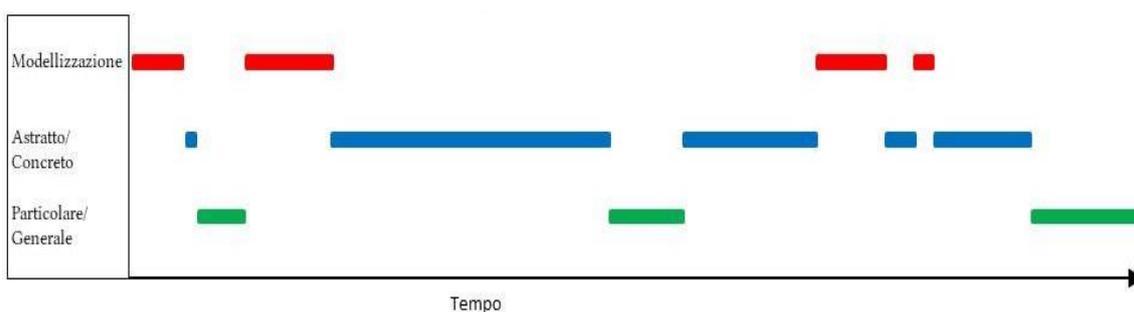


Figura 3.3: Schema temporale della discussione organizzata per macro-temi: in alto (rosso), il ruolo rivestito dalla modellizzazione; al centro (blu) il legame tra l'esigenza di concretezza dei dati e la necessità di astrazione; in basso (verde) la relazione tra la situazione particolare espressa dal problema e la sua generalizzazione.

Dopo questo quadro introduttivo costruito per dare immagini sintetiche della discussione, procediamo ad analizzare una selezione dei dialoghi avvenuti; i commenti hanno l'obiettivo di evidenziare, nelle parole degli studenti, lo snodo dei macro-temi lungo la discussione, la vivacità degli scambi e la varietà delle posizioni epistemologiche emerse.

La discussione prende le mosse a partire dall'invito, da parte della Prof.ssa Levrini, a ragionare sulla griglia e alla sua articolazione.

*Prof.ssa Levrini: Mi date il vostro parere su quello che state facendo, sulla griglia, su com'è organizzata?*

*Francesco: C'è un'analisi molto più approfondita del testo, noi non ci facciamo molto caso, ci basiamo solo sui dati da inserire nelle formule. Però magari ci sono aspetti che non ci guardiamo ma che magari ci servono...*

*Prof.ssa Levrini: Per esempio?*

*Francesco: Per esempio abbiamo ragionato su cosa poteva servire e cosa no affinché capissimo il problema che ci veniva posto e abbiamo notato che parlando di induzione ci serve principalmente la differenza e la variazione più che il circuito e la lampadina: quelli sono elementi secondari e noi non ci abbiamo pensato.*

Il primo aspetto di novità notato da Francesco è l'attenzione al testo del problema; questa richiesta è percepita come nuova rispetto ad un approccio che vede solitamente la ricerca dei "dati da inserire nelle formule" come il primo passo verso la risoluzione. L'analisi testuale, invece, permette di esplicitare le ambiguità del testo e di isolare gli elementi inessenziali distinguendoli da quanto è necessario prendere in considerazione. Ad esemplificazione, Francesco si riferisce all'esercizio A affrontato durante i lavori di gruppo e nota come, senza utilizzare la griglia, non avessero posto attenzione gli "elementi secondari" citati nel testo (ad esempio, il circuito e lampadina). Al contrario, una riflessione su ciò che "non serve" consente di mettere maggiormente in luce gli aspetti essenziali (ad esempio, per il calcolo della f.e.m., la variazione di flusso). La riflessione sugli aspetti testuali evidenziati dalla griglia prosegue con un dialogo tra Nicola e Francesco che introduce un primo importante macro-tema: il problematico legame tra l'esigenza di concretezza dei dati e la necessità di astrazione.

*Laureanda (IG): Cosa ti interessa del campo?*

*Francesco: La variazione*

*Laureanda (IG): Ti interessa la sorgente?*

*Francesco: No*

*Nicola: Però aiuta a rendere un po' più concreto il problema!*

*Laureanda (IG): Quindi riesci a figurartelo meglio...*

*Nicola: Esatto. Avere una calamita ti aiuta a modellizzare meglio.*

*Francesco: Da un lato è utile avere un problema estremamente astratto perché la mente si applica più rapidamente a quel problema che non a uno concreto. [...] Una volta che ci è chiaro il fenomeno che si verifica è come una formula che abbiamo nella nostra mente e che dobbiamo applicare alla realtà. [...] Invece nel momento in cui lo acquisiamo ci è più comodo passare attraverso il concreto, vale a dire pensare che ci siano una spira, una calamita, una lampadina [...] ed essere sottoposti a tanti problemi dello stesso tipo, scritti in modo diverso [...] e questo ci permette di astrarre il ragionamento e di ottenere la formula, che poi è quello che ci interessa.*

*Laureanda (IG): Siete tutti d'accordo? Cosa c'è secondo voi di differenza tra un problema astratto e un problema concreto?*

*Nicola: Un problema concreto utilizza dei modelli realistici. Utilizza degli strumenti esistenti, la lampadina, la calamita, un circuito, delle cose che io posso immaginarmi. Invece un modello astratto è lo stadio precedente, cioè avendo un modello astratto dobbiamo costruircelo noi il modello concreto.*

Le posizioni espresse da Francesco e Nicola riguardo la comprensione di un fenomeno sono nettamente diverse: il primo studente esprime la necessità di una moltitudine di casi concreti differenti per poter “astrarre il ragionamento ed ottenere la formula”; per il secondo, il punto di partenza per la comprensione è il modello astratto, lo stesso che permette di costruire poi “modelli concreti” applicabili a problemi realistici. Nelle parole di questi studenti e nel loro utilizzo dei termini “astratto” e “concreto” si possono riconoscere tracce di due posizioni epistemologiche che hanno caratterizzato per secoli, più o meno esplicitamente e in modo più o meno raffinato, il dibattito filosofico e scientifico: empirismo da un lato e razionalismo dall'altro. In realtà, queste due posizioni sono ancora molto confuse ma si può notare che sta iniziando ad avvenire un processo di consapevolezza che riflettono di conseguenza anche due modalità di risoluzione dei problemi (due *epistemic game*) differenti.

Altro punto saliente della discussione che si lega al tema concreto/astratto è l'intervento di Giulia a commento della riformulazione del problema A proposta da Francesco.

*Laureanda (IG): Francesco, scusa mi leggi come avresti riscritto il testo [del problema A]?*

*Francesco: Date  $N$  spire ognuna di area  $A$ , viene applicato a esse un campo magnetico variabile che passa da 0 a 9,4 con una frequenza di 2 volte al secondo.*

*Laureanda (IG): Altri pareri? Nessuno avrebbe strategie diverse? Perché tra un esercizio astratto e concreto cambia anche come modellizzate ciò che vi si presenta...*

*Giulia: Io però sarei portata anche in un caso astratto a crearmi un modello, [...] sarei portata comunque a disegnare il circuito.*

Il seppur breve intervento di Giulia raccoglie il consenso, manifestato per alzata di mano, di larga parte della classe che concorda su questa modalità di approccio rispetto a un problema “astratto”. La sua posizione è ancora diversa rispetto a quelle di Nicola e Francesco: di fronte ad un problema, la sua strategia iniziale è quella di pensare al fenomeno descritto, di immaginarselo nella realtà, di costruirsi un’immagine concreta. Viceversa, Francesco, davanti ad un problema come quello da lui espresso, riconosce già il modello astratto (matematico) e applica la formula appropriata.

Questi due tipi di approcci alla comprensione e alla risoluzione di problemi possono anche essere letti alla luce del modello degli *epistemic game* [Tuminaro & Redish, 2007]. In particolare, l’astrazione e la rappresentazione matematica del problema tipiche di Francesco possono essere intese come la prima mossa per la conduzione di un “*Mapping Mathematics to Meaning*”. Al contrario, il bisogno di Giulia di raccontare a se stessa la storia fisica (“concreta”) del problema, per avere a disposizione un contesto sul quale ragionare, può essere considerato la prima mossa del “*Mapping Meaning to Mathematics*”. Questi approcci trascendono la contingenza della risoluzione di specifici esercizi e, come evidenzia tutta la discussione oggetto della presente sottosezione, mettono in luce diversi “modi di guardare” la fisica, nel suo peculiare intreccio con la matematica.

La modellizzazione, già introdotta dai tre studenti, diventa il macro-tema attorno al quale si articolano gli interventi successivi.

*Laureanda (IG): Secondo voi cosa significa sapere bene l'argomento? Avete detto che "se lo conosco bene, so già mettermi nel contesto giusto"... che cosa intendete? Che vi ricordate che c'era una formula adatta allo scopo?*

*Nicola: No, la conoscenza non è quella, non è che ho quei quattro numeri da mettere nella formula e so trovare il risultato. So che termini metterci, so che modello c'è sotto e so utilizzare la formula per arrivare al risultato.*

*Francesco: La difficoltà nel problema di fisica non è tanto nel caso astratto, è il passaggio dal concreto all'astratto. I problemi più difficili del libro sono quelli in cui c'è un caso concreto che viene presentato...*

*Nicola: ...in cui non riesci a ricondurti...*

*Francesco: Esatto*

*Nicola: ...e chiaramente devi fare delle semplificazioni, supporre che non ci sia attrito per esempio...*

*Francesco: Esatto. È quello il momento più difficile della modellizzazione. Questi problemi astratti e puliti alla fine, una volta studiati...*

*Nicola: ...sono i più facili!*

La modellizzazione richiesta per la risoluzione di un problema è intesa da Francesco e Nicola come una "semplificazione" della realtà espressa dal problema, come una "pulitura" del testo, affinché possa rimanere l'astratto, l'essenziale, per cui sia possibile applicare la formula corretta e trovare il risultato.

Strettamente connesso al tema della modellizzazione è il terzo elemento che emerge come macro-tema portante della discussione svolta in classe: la relazione tra la situazione particolare espressa dallo specifico problema in esame e la sua estensione al caso generale.

*Francesco: A priori potremmo scrivere 300 problemi in modi diversi e, probabilmente, più problemi leggo, più chiaro mi si fa il fenomeno che si verifica!*

*Laureanda (IG): [Problemi] dove ti variano i dati?*

*Francesco: Indipendentemente dal dato, alla fine è un numero, io intendo dove ti variano le condizioni!*

*Nicola: Effettivamente è vero. [...] Da più problemi con diverse situazioni si arriva più facilmente alla regola generale.*

*[...]*

*Laureanda (IG): Nicola dice: "sono in grado [di risolvere il problema] perché riconosco quel caso particolare", giusto Nicola? "So risolverlo perché so come ragionare in quel frangente"...*

*Nicola: Sì*

*Laureanda (IG): Secondo te è possibile che io ti dia tutti i casi particolari?*

*Nicola: Se ho la conoscenza piena dell'argomento non c'è bisogno di dare tutti i casi particolari, so come muovermi.*

*Laureanda (IG): Ma tu avevi detto che la conoscenza piena ce l'hai quando ti do tutti i casi particolari e quindi sai riconoscerlo e applicarlo...*

*Nicola: No, non è che me li deve dare lei, me li trovo io. Nel senso che se io studio questo argomento, dopo non è che io so le formule, cioè le so applicare solo nei casi in cui mi danno i quattro termini da mettere nella formula. La piena conoscenza non è questa, ma è sapere come trovare questi quattro termini e usarli anche indirettamente, cioè anche nei casi in cui devo usare la formula indirettamente. La vera conoscenza è proprio quella di non aver bisogno di sapere a memoria i casi particolari ma poter venirne a capo proprio nei casi particolari.*

Dal dialogo tra Nicola e Francesco, mediato da IG, emerge che il legame tra casi particolari e loro generalizzazione è ritenuto cruciale per la comprensione e, quindi, per la risoluzione efficace dei problemi. Entrambi gli studenti concordano sull'utilità di essere sottoposti a diversi problemi caratterizzati da situazioni e condizioni diverse, per poter arrivare "più facilmente alla regola generale". Tuttavia, emerge una forte differenza tra la posizione espressa da Francesco e quella di Nicola: mentre Francesco considera la comprensione il risultato del confronto e dell'allineamento tra diverse istanze specifiche del problema, secondo Nicola la "piena conoscenza" precede il confronto con i casi particolari, essendo ciò che permette di affrontarli e gestirli.

L'analisi condotta di alcuni segmenti della riflessione collettiva ha mostrato come i macro-temi siano stati innescati dalla struttura della griglia; essa si è rivelata uno strumento in grado di avviare una vera e propria meta-riflessione oltre il dato materiale del problema, ponendo domande profonde che permettevano agli studenti di esplicitare e confrontarsi sul proprio rapporto con gli strumenti disciplinari e sul rapporto matematica e fisica nell'analisi di un problema. Questo si è concretizzato in un dialogo, come si è cercato di mostrare, in cui parole e concetti critici si susseguivano attraverso i ragionamenti dei ragazzi e delle ragazze stessi, i quali sono stati i veri protagonisti della discussione. Questo risultato non era per niente scontato perché la classe non era abituata a questo tipo di riflessione ed è stata una piacevole sorpresa anche per il docente di classe.

### 3.2.2 Utilizzo della griglia per riflessioni individuali

Per arricchire la risposta alla seconda domanda, sono state analizzate le 15 griglie compilate dagli studenti relativamente al problema B, la cui discussione era iniziata già in classe a gruppi durante il terzo incontro.

L'analisi effettuata ha seguito come traccia l'articolazione della griglia (cfr. §2.2.2) e si è deciso di seguire la stessa scansione anche nell'esposizione dei risultati in questa sottosezione. Essa risulta pertanto articolata in quattro paragrafi riguardanti rispettivamente i) l'analisi del testo e la ricostruzione della "storia" del problema; ii) l'esplorazione della fenomenologia; iii) le forme di rappresentazione e modellizzazione; iv) il ruolo del processo di matematizzazione. Saranno riportate, per ciascuna sezione della griglia, le risposte di alcuni studenti che saranno analizzate evidenziandone i punti di forza e quelli di criticità, interpretandole ove possibile, anche alla luce della letteratura di ricerca esposta nel capitolo 1.

#### *Analisi del testo del problema e ricostruzione della "storia"*

La prima parte della griglia ha fornito risultati piuttosto omogenei tra il gruppo di studenti, come testimonia l'uniformità delle risposte. Tutti gli studenti hanno riconosciuto nell'induzione elettromagnetica il fenomeno fisico principale alla base di quanto descritto nel problema e sono stati in grado di riconoscere alcuni termini e concetti chiave per ragionare sulla situazione (es. "annullamento del campo magnetico", "forza elettromotrice", "corrente indotta", "resistenza"). Non hanno evidenziato termini o espressioni ambigui ma la maggioranza di loro ha ritenuto inutile la specifica dell'avverbio "rapidamente" in relazione all'annullamento del campo magnetico e la presenza dell'elettromagnete come sorgente del campo.

*Non avrebbe fatto differenza avere un semplice magnete. (Giulia)*

*È sottinteso in "campo magnetico" che sia generato da un elettromagnete o magnete. (Rebecca)*

Si è potuto notare una generalizzata incomprensione della domanda riguardo l'eventuale utilità degli esperimenti visti in classe per visualizzare il nuovo sistema

fisico. Infatti, solamente quattro studenti si sono riferiti, nella risposta, all'esperimento mostrato dal docente nella lezione introduttiva all'induzione, sottolineando come questo li avesse aiutati nella immaginazione del fenomeno o nel ricordarlo.

*Vedere gli esperimenti in classe mi ha aiutato a visualizzare il sistema fisico in quanto immaginandomi questo sistema mi sono ricordata l'esperimento visto. (Irene)*

*Più che a visualizzarlo o comprenderlo (non è difficile!), mi aiutano a ricordarlo, siccome un esperimento resta più impresso di una spiegazione teorica. (Francesco)*

I restanti 11 studenti non hanno fatto esplicito riferimento all'esperimento visto in classe ma hanno scritto di aver utilizzato, per risolvere il problema in oggetto, il precedente problema A. In particolare, alcuni sottolineano di aver utilizzato quel problema come modello per gestire l'utilizzo della formula per il flusso del campo magnetico, specie per quanto riguarda il valore dell'angolo da considerare.

*Sì, mi sono servito dello stesso procedimento applicato nel precedente problema per ottenere la f.e.m. (Nicola)*

*Sì, [ho utilizzato il precedente problema] per quanto riguarda il  $\cos\alpha$  che appariva nella formula  $\Phi = BA\cos\alpha$ . (Sara)*

Come domanda conclusiva di questa prima fase di analisi, era chiesto agli studenti di "ri-raccontare" il problema con le proprie parole. A questa richiesta, alcuni rispondono che non è necessario modificare nulla, perché il problema è già sufficientemente chiaro ed informativo, mentre altri lo riformulano eliminando gli elementi precedentemente individuati come inutili.

*Trovo la stesura del testo molto chiara e concisa, non la cambierei, forse eliminerei solo "rispettivamente", "rapidamente" e "elettromagnete". (Teresa)*

Un solo studente ha approfittato di questa domanda per esprimere una sua considerazione riguardo la presenza di domande e richieste specifiche nel testo del problema, ritenute da lui come limitanti in quanto già indirizzavano il ragionamento, togliendo spazio al ragionamento. Nel riformulare il problema, egli elimina ogni dato

numerico sostituendolo con un simbolo: ciò è coerente con la sua posizione epistemologica, che vede l'astrazione come il primo passo della comprensione di un problema, già argomentata e discussa nella precedente sottosezione.

*[...] Le domande poste nella fase finale danno indicazioni chiare su come agire e cosa cercare. Se esse non fossero presenti saremmo portati ad un'analisi più attenta e completa del problema. "Una spira di area  $A$  si trova in un campo magnetico di intensità  $B$  ad essa  $\perp$  che viene portato a zero in un tempo  $t$ . Analizza la situazione." (Francesco)*

### ***Esplorazione della fenomenologia correlata al problema***

L'analisi dei contenuti concettuali del problema inizia con la richiesta agli studenti di descrivere alcuni elementi che compaiono nel testo (spira, campo magnetico, f.e.m. e corrente indotta), specificando il loro significato fisico e le loro principali funzioni e proprietà. Pochi studenti sono in grado di dare risposte complete e corrette sul piano concettuale ma coloro che lo fanno sono in grado, già in questa fase, di collegare questi concetti abbozzando un primo ragionamento che li porterà poi alla soluzione del problema.

*La spira [è] ogni singola unità di una molla/bobina, in questo caso di materiale conduttore. In questo caso ci serve definire la spira solo per quanto riguarda il vettore  $\vec{A}$ . Il campo magnetico [è il] campo vettoriale prodotto nello spazio dal moto di una carica o da un materiale ferromagnetico. In questo caso, ci serve l'intensità di  $\vec{B}$  per definire  $\Delta\Phi(B)$ . La f.e.m. è una variazione di potenziale indotta attraverso induzione elettromagnetica. Se il circuito è chiuso questa f.e.m. provoca una corrente detta indotta. (Nicola)*

Tuttavia, la maggior parte delle risposte, in linea con i risultati di ricerca esposti nel capitolo 1, mette in luce alcune difficoltà nella comprensione di questi concetti fondamentali. Ad esempio, il campo magnetico e la forza elettromotrice sono identificate da molti studenti come forze: il primo è definito come una forza generata da una calamita; il secondo come la forza usata dal generatore per spostare elettroni lungo il circuito. È interessante notare come, in alcuni casi, a definizioni scorrette siano affiancate da formule matematiche, come a voler completare e dare autorevolezza alla definizione.

*Il campo magnetico [è la] forza generata da una calamita nello spazio. La f.e.m. [è la] forza che muove gli elettroni. (Leonardo)*

*La f.e.m. [è la] forza indotta dalle azioni magnetiche che si esercitano sul circuito.  $F = -\Delta\Phi_s(B)/\Delta t$ . (Rebecca)*

*Campo magnetico [è la] forza generata da una calamita. La f.e.m. [è la] forza che il generatore usa per spostare le cariche elettriche compiendo un lavoro contro le forze del campo. La corrente indotta [è il] moto delle cariche elettriche nel circuito. (Sara)*

Le domande successive guidano gli studenti a “giocare” con il testo del problema, variandone le condizioni e le situazioni fisiche. Le domande dalla H alla K della griglia mostrano una buona omogeneità nelle risposte: esse sono per lo più corrette ed argomentate. Le risposte più complete sono fornite da Francesco, ma anche numerosi altri studenti rispondono correttamente, seppur in maniera più sintetica.

*[Variando il campo magnetico lentamente invece che rapidamente l'effetto si avrebbe lo stesso? Spiega.]*

*Sì, ma più blandamente. Perché  $\Delta\Phi/\Delta t$  esprime una velocità di variazione. Più la variazione è veloce, più la f.e.m. è intensa.*

*[Cambierebbe qualcosa se avessi cambiato l'elettromagnete con una calamita? Spiega.]*

*No. Basta che ci sia un campo magnetico.*

*[Cambierebbe qualcosa se il campo B aumentasse? Spiega.]*

*Sì, se B aumentasse invece di diminuire cambierebbe il segno della f.e.m. (il verso della corrente indotta).*

*[Cambierebbe qualcosa se muovessi la spira mentre il campo B varia? Spiega.]*

*Se il campo fosse costante (o, nel caso di una variazione, se avessi uguale intensità iniziale e finale (diverse tra loro)) in tutti i punti della spira (non avesse insomma intensità decrescente dalla sorgente verso l'esterno) e se si muovesse la spira mantenendola  $\perp$  al campo magnetico, non cambierebbe nulla. Se la spira venisse inclinata rispetto a  $\vec{B}$  e/o se B non fosse costante in ogni punto dello spazio cambierebbe il flusso di  $\vec{B}$  attraverso la spira, dunque la f.e.m.*

*(Francesco)*

Maggiori difficoltà sono incontrate nella risposta alla domanda M, in cui si chiede se cambi qualcosa sostituendo una spira con una sbarra metallica. Alcuni studenti rispondono correttamente che il fenomeno si presenterebbe comunque (nonostante il docente, a questo punto del percorso, non abbia ancora affrontato l'argomento dal punto di vista della forza di Lorentz); la maggior parte di loro, invece, afferma che per avere induzione elettromagnetica è necessario un circuito chiuso.

L'esplorazione della fenomenologia guidata dalla griglia converge nella richiesta di una nuova riscrittura del problema. Nonostante le riformulazioni del testo non siano molto diverse dall'originale, è interessante notare come le domande della griglia abbiano portato in alcuni casi a riconoscere l'inessenzialità della spira che può essere sostituita anche da un qualsiasi materiale conduttore.

*La racconterei nello stesso modo, omettendo l'elettromagnete e sostituendo la spira con un qualsiasi materiale che può essere un conduttore. (Dario)*

### ***Analisi delle forme di rappresentazione e modellizzazione***

La terza sezione della griglia è progettata per indagare le forme di rappresentazione utilizzate dagli studenti e per guidarli a riconoscere gli elementi critici per la modellizzazione della situazione fisica, prima di procedere alla sua matematizzazione. La maggior parte degli studenti dichiara che si sono serviti di un disegno per rappresentare il problema e, nello spiegare il perché, esplicitano che questo li ha aiutati nella visualizzazione e nella concretizzazione, eliminando gli elementi superflui.

*Sì, per visualizzare meglio il problema. (Teresa)*

*Ho usato una rappresentazione che faciliti la comprensione del fenomeno e soprattutto che lo concretizzi. Ho rappresentato solamente la spira con le dimensioni relative per rendere più concreta la superficie dell'area. Non mi è interessato raffigurare la calamita, mi interessa solamente l'intensità e la variazione del campo magnetico. (Roberta)*

*Si trattava della schematizzazione più semplice e immediata, senza elementi superflui. (Giulia)*

La scelta della rappresentazione operata da Francesco è da ricondurre, invece, ad un'esigenza non di concretezza, bensì di semplificazione, grazie all'astrazione matematica. La rappresentazione da lui scelta è, infatti, di tipo grafico, e mostra la variazione del campo magnetico nel tempo.

*Sì. Ho disegnato il grafico che mostra la variazione di B. Mi permette di comprendere rapidamente la variazione che studio. (Francesco)*

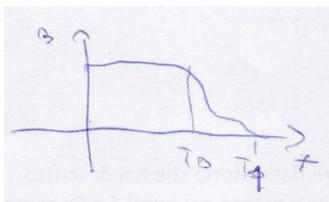


Figura 3.4: Rappresentazione di Francesco in risposta alla domanda Q della griglia.

Le domande successive richiedono un'esplicitazione delle proprietà degli oggetti e dei processi descritti dal problema utili ai fini della modellizzazione. Nel rispondere, gli studenti riescono ad identificare che della spira sono importanti forma e resistenza; dell'elettromagnete interessa il campo magnetico generato; di tale campo l'intensità e la direzione (solo pochi studenti scrivono esplicitamente che ciò che conta è la misura iniziale e finale per poter calcolare la variazione).

### ***Processo di matematizzazione***

Nell'ultima sezione, la griglia pone domande che hanno permesso agli studenti di esplicitare il ruolo della matematica e il processo di matematizzazione nell'analisi e nella risoluzione di un problema. Dopo aver scritto le equazioni utilizzate per la risoluzione del problema (la maggior parte degli studenti cita la definizione di flusso di campo magnetico, la legge di Faraday-Neumann e la legge di Ohm), agli studenti è chiesto quali termini nel problema abbiano indotto un ragionamento di tipo matematico e quali un ragionamento, invece, fisico. In merito a questa domanda le risposte degli studenti sono molto diverse e riflettono diversi modi di intendere i modelli fisici e l'intreccio, nei problemi, tra fisica e matematica. Ad esemplificazione della varietà di risposte fornite dagli studenti, vengono riportate le frasi di due ragazzi

e di due ragazze. Dario e Teresa considerano "matematiche" le quantità presenti nel testo esplicitamente sotto forma di dato numerico, Giulia le grandezze relative alla geometria del problema (in questo caso le dimensioni della spira), mentre per Francesco sono i concetti astratti che non si riferiscono ad enti materiali (campo magnetico, resistenza, lunghezza). I ragionamenti fisici, invece, sono indotti dagli "oggetti concreti", dagli "enti materiali" (spira, elettromagnete) o dai processi descritti nel testo (annullamento del campo magnetico), in quanto spingono a ragionare sul fenomeno, operandone una modellizzazione.

*I ragionamenti matematici [li faccio con] le "quantità", ossia le grandezze misurate ( $2 \Omega$ ,  $0.5 T$ , ...). I ragionamenti fisici [li faccio con] l'annullamento del campo magnetico e la presenza della spira. (Dario)*

*I dati mi hanno indotto un ragionamento matematico, gli oggetti concreti un ragionamento fisico. (Teresa)*

*La matematica c'è quando ho i lati di 20 e 30 cm, la fisica quando ho la resistenza e il campo magnetico. (Giulia)*

*Tutti i termini referenti a enti materiali (spira, elettromagnete) mi spingono a ragionare sul fenomeno, visualizzandolo. Concetti astratti come "campo magnetico" o "resistenza" o "lunghezza" mi portano a matematizzare il fenomeno. (Francesco)*

Degli stessi studenti riportiamo anche le risposte all'ultima domanda della griglia, relativamente a ciò che contraddistingue, in generale, un ragionamento fisico da uno matematico. Su questo, gli studenti danno risposte simili e rivelano in generale una visione piuttosto naïve della relazione tra matematica e fisica in un problema; la matematica è infatti considerata solamente nella misura in cui porta a svolgere dei calcoli e dei meri passaggi di sostituzione di dati numerici alle variabili. Questa modalità di pensiero è stata anche confermata da una discussione successiva (23 dicembre, incontro 4) in cui Nicola afferma (e tutti concordano) che "la fisica è la scienza della natura [...], lo sviluppo matematico del fenomeno fa parte della matematica. [...] Secondo me è la matematica che serve alla fisica". Si nota quindi che, nonostante nella discussione collettiva precedente siano emerse osservazioni interessanti sul rapporto matematica/fisica, queste rappresentano "solo" un punto di partenza per una consapevolezza su ciò che è stato affermato e un cambiamento della loro concezione

sulla relazione fra queste due materie. Ricordiamo, infatti, come enunciato nel capitolo 1, che il docente nelle sue lezioni affronta anche elementi matematici ma sempre in un'ottica di "fornire agli studenti diversi strumenti"; questo atteggiamento ovviamente si riflette anche nelle risposte degli studenti.

*Ragionamento fisico [significa] capire quale fenomeno è presente e di conseguenza che formule usare. Ragionamento matematico [si fa] quando bisogna disegnare il grafico e usare le formule sostituendo a delle entità fisiche dei numeri. (Dario)*

*Il ragionamento fisico [è] capire quali formule utilizzare ed adattarle al problema. Il ragionamento matematico [sono i] calcoli. (Teresa)*

*[Ragionamento] fisico [è la] individuazione delle formule necessarie. [Ragionamento] matematico [è il] calcolo dell'area della spira e l'applicazione delle formule (quindi calcolo. (Giulia)*

*Il momento della modellizzazione è quello in cui si ragiona "fisicamente", trasformando il fenomeno in legge matematica. Una volta ottenuta la formula di soluzione, il procedimento è puramente matematico. (Francesco)*

### **Commento generale sulle griglie**

A conclusione dell'analisi condotta nei paragrafi precedenti, riportiamo i commenti generali forniti da alcuni studenti al termine della griglia. La maggior parte dei commenti sottolinea l'utilità dello strumento per cogliere gli elementi fondamentali nel testo del problema, "scartando" quelli inutili per la risoluzione ed arrivando ad una schematizzazione più essenziale; in questo modo, si sentono favoriti nel ragionare su problemi simili.

*Ragionando in modo così approfondito sul problema, penso di averlo capito meglio e credo di avere imparato a svolgere meglio esercizi simili. Penso che mi abbia aiutato anche a cogliere gli elementi fondamentali e a concentrarmi su di essi, "scartando" quelli secondari o inutili. (Teresa)*

*Ora riesco meglio a eliminare subito gli elementi inutili e selezionare quelli più importanti. Mi è più facile immaginare il problema in maniera più schematica. (Leonardo)*

*Dando questa schematizzazione, ho potuto organizzare meglio il mio ragionamento, non tralasciando passaggi e quindi con più precisione ma anche più velocemente perché sono riuscita a focalizzarmi su ciò che mi interessa maggiormente per la risoluzione del problema. (Irene)*

Alla luce di questi commenti, la prima parte della griglia inerente l'analisi del testo mostra la sua efficacia ma anche alcune sue criticità: tale analisi infatti può essere percepita dagli studenti in un'ottica di semplificazione e di velocizzazione della risoluzione, e questo potrebbe portare, in alcuni casi, ad un "appiattimento" del problema che elimina dettagli critici in favore di una sempre maggiore schematizzazione per dati essenziali.

Tuttavia, il commento di un'altra studentessa mostra il suo apprezzamento anche delle altre sezioni della griglia (in particolare la seconda, sull'esplorazione della fenomenologia).

*Questa analisi mi ha aiutata a soffermare la mia attenzione su alcune caratteristiche del problema che non avrei considerato, ovvero mi ha fatto comprendere il fenomeno attraverso la riflessione approfondita sul perché ciò accade e sul che cosa accadrebbe nel caso in cui l'apparato sperimentale fosse diverso, ragionamento che non avrei fatto in modo autonomo ma che aiuta nella risoluzione. (Veronica)*

Questo atteggiamento va in una direzione diversa rispetto a quello evidenziato dai commenti precedenti: per Veronica, la griglia è stata uno strumento di arricchimento e problematizzazione per una comprensione più profonda e consapevole.

Come commento generale che riprenderemo anche a conclusione della tesi, la griglia sembra essere risultata molto efficace per sollevare le "questioni giuste" e per attivare atteggiamenti e modi di guardare che la letteratura ha evidenziato essere alla base delle strategie più raffinate di *problem solving*. Non si ha la pretesa che un utilizzo di questo strumento per l'analisi di due problemi possa avere implicazioni osservabili in termini di competenze, ma l'atteggiamento e il tipo di ragionamenti che stimola sono molto promettenti e sono riconosciuti come tali anche dal docente di classe e dagli stessi studenti, come mostreremo nel prossimo paragrafo.

### **3.3 Valutazione del percorso**

Concludiamo il capitolo 3 presentando come gli studenti e docente titolare di cattedra hanno vissuto l'esperienza e quanto abbiano ritenuto efficace e significativo lo strumento di analisi utilizzato. L'analisi permetterà di comprendere meglio i punti di forza della tipologia di lavoro e le criticità emerse durante il corso della sperimentazione. I commenti forniti dagli studenti stessi e dal docente saranno utili per una rilettura ed una riconsiderazione dei risultati esposti nelle precedenti sezioni.

#### **3.3.1 Valutazione dell'esperienza da parte degli studenti**

Al termine del percorso svolto in classe, durante il settimo ed ultimo incontro, agli studenti è stato consegnato il questionario di valutazione dell'intervento, già descritto nella sezione 2.2.3. L'analisi dei 18 questionari consegnati sarà articolata in tre parti. Nella prima si darà una visione complessiva, con l'aiuto di alcuni grafici, degli indici di gradimento degli studenti; nella seconda si citeranno alcuni commenti facenti riferimento ad aspetti generali della sperimentazione (la durata ed il collocamento temporale, il ruolo dei lavori di gruppo, la compresenza di due figure docenti); nell'ultima si condurrà un'analisi di una selezione di risposte relativamente alla percezione delle competenze acquisite per la risoluzione di problemi da parte di studenti e studentesse. Nonostante alcuni risultati saranno riportati anche in forma grafica, considerati l'obiettivo dello studio e le caratteristiche del campione, l'analisi non intende avere alcun valore di tipo statistico. Tutti i grafici riportati vogliono essere soltanto un modo sintetico di rappresentare quanto è emerso dalla valutazione degli studenti, senza alcuna pretesa di generalizzazione.

Nel grafico in Figura 3.5 sono riportati gli indici di gradimento degli studenti (in una scala Likert da 1 a 5) sull'utilità complessiva del percorso svolto. Nessuno di loro attribuisce ad esso il livello massimo di gradimento, soltanto uno studente ne segnala la completa inutilità mentre la maggior parte degli studenti lo ritiene mediamente utile.

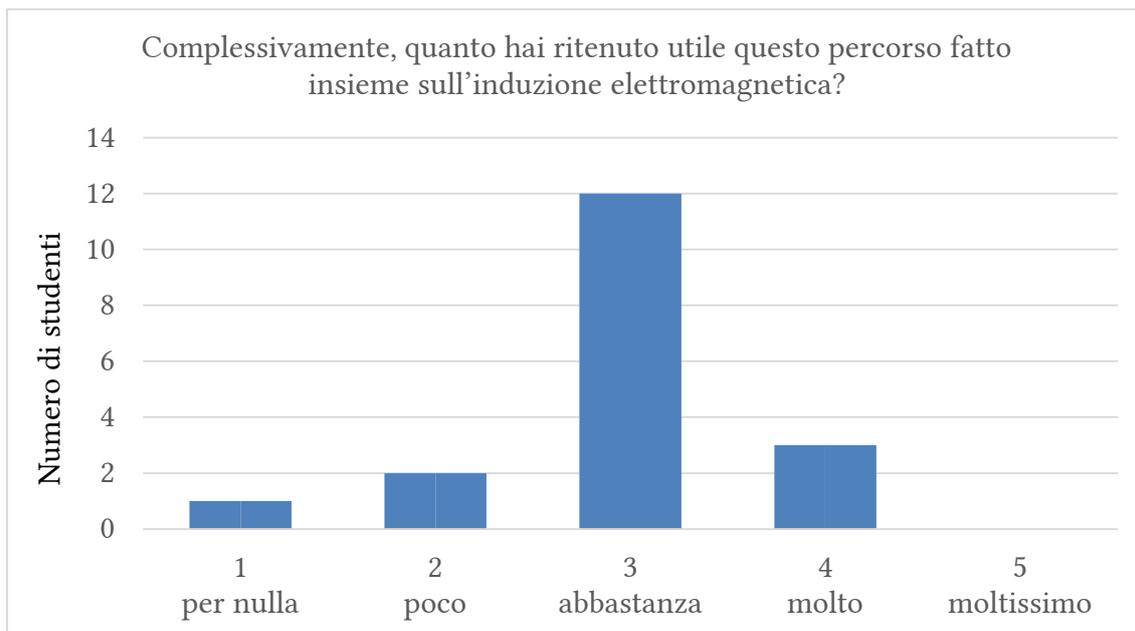


Figura 3.5. Grafico relativo alla domanda del questionario “*Complessivamente, quanto hai ritenuto utile questo percorso fatto insieme sull’induzione elettromagnetica?*” (Numero totale di studenti: 18)

Per analizzare più nel dettaglio l’efficacia dei vari momenti ed elementi della sperimentazione, il questionario proseguiva con la richiesta di una valutazione sull’aiuto, ottenuto grazie alle discussioni collettive, ai lavori di gruppo e alla griglia, su tre diversi piani: per comprendere meglio l’argomento in esame; per arricchire le strategie di *problem solving*; per approfondire la tematica della relazione tra matematica e fisica.

Nei grafici delle Figure 3.6, 3.7 e 3.8 sono mostrati sinteticamente i punteggi assegnati dagli studenti rispettivamente alle discussioni collettive, ai lavori di gruppo e all’utilizzo della griglia. Dal confronto di queste tre valutazioni sui singoli aspetti del percorso, emerge in particolare che, secondo gli studenti, le discussioni (sia quelle collettive sia quelle in piccoli gruppi) hanno contribuito maggiormente alla comprensione dell’argomento, mentre ritengono che la griglia li abbia aiutati a sviluppare ed arricchire le strategie di risoluzione dei problemi.

Inoltre, quando è richiesto di valutare l’efficacia e l’utilità delle quattro sezioni della griglia, ciascuna delle quali voleva innescare un diverso tipo di riflessione, gli studenti rispondono attribuendo i voti più alti alla parte di analisi del testo del problema, seguita da quella di esplorazione della fenomenologia; come atteso, le sezioni più

esigenti dal punto di vista epistemologico e critico (l'analisi delle forme di rappresentazione e modellizzazione e del ruolo della matematica) sono quelle che hanno ottenuto i minori indici di gradimento a livello complessivo. Questi risultati, riportati nel grafico di Figura 3.9, possono essere ben interpretati se si considerano i risultati esposti nella sezione 3.2.2: infatti, era stato messo in evidenza che gli studenti hanno una visione piuttosto naïve del concetto di matematizzazione in fisica, dal momento che riducono il complesso ed articolato intreccio tra le due discipline ad una mera dipendenza tecnica. Perciò, è possibile ritenere che la scarsa utilità riconosciuta dagli studenti a questa sezione della griglia sia in parte dovuta ad una difficoltà di comprensione del problema in sé della matematizzazione. Tuttavia, questo risultato suggerisce di migliorare la scrittura delle domande griglia per meglio esplicitare i nessi critici su cui si vuole che gli studenti focalizzino l'attenzione.

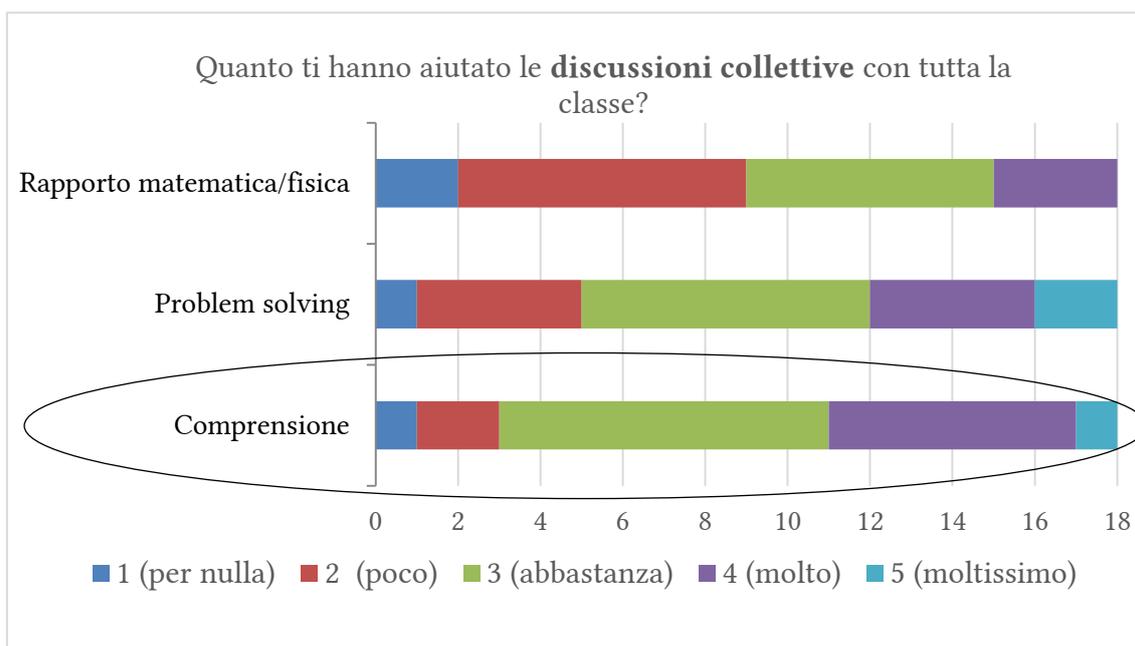


Figura 3.6. Grafico relativo alla domanda del questionario “Quanto ti hanno aiutato le **discussioni collettive** con tutta la classe per comprendere meglio l'argomento dell'induzione elettromagnetica? Per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi? Per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?”

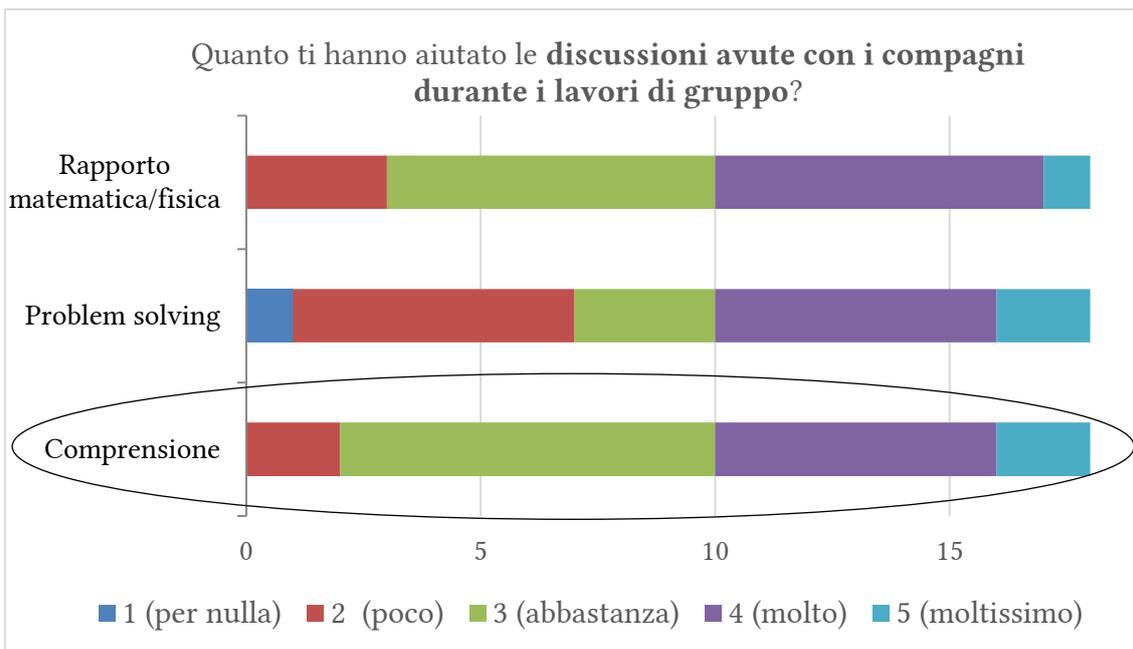


Figura 3.7: Grafico relativo alla domanda del questionario “Quanto ti hanno aiutato le **discussioni avute con i compagni durante i lavori di gruppo** per comprendere meglio l’argomento dell’induzione elettromagnetica? Per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi? Per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?”

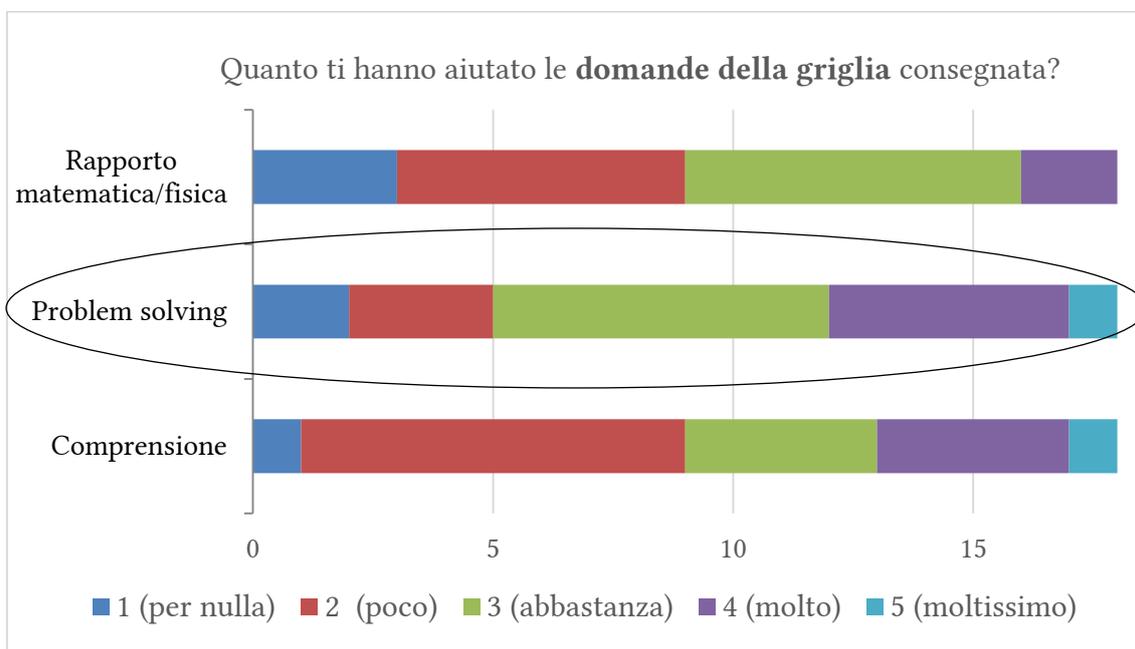


Figura 3.8: Grafico relativo alla domanda del questionario “Quanto ti hanno aiutato le **domande della griglia** consegnata per comprendere meglio l’argomento dell’induzione elettromagnetica? Per arricchire le tue strategie di risoluzione dei problemi? Per approfondire la tematica del rapporto matematica/fisica?”

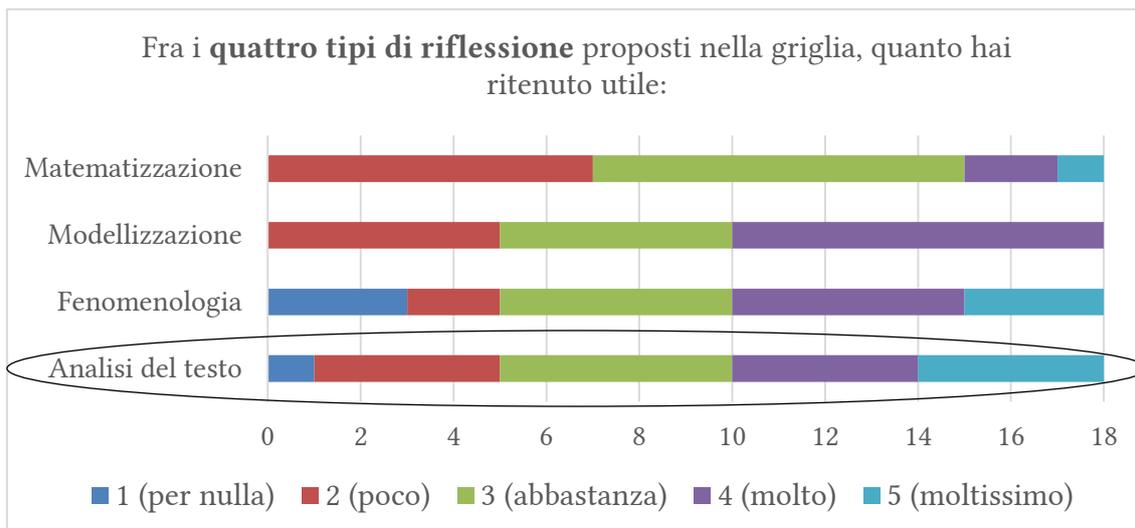


Figura 3.9: Grafico relativo alla domanda del questionario

“Fra i **quattro tipi di riflessione** proposti nella griglia, quanto hai ritenuto utile:  
 l’analisi del testo del problema (parte 1)? l’esplorazione della fenomenologia (parte 2)?  
 l’analisi delle forme di rappresentazione/modellizzazione del problema (parte 3)?  
 l’analisi del processo di matematizzazione del problema (parte 4)?”

Dopo aver dato, coi grafici, un quadro generale e sintetico della valutazione da parte degli studenti, abbiamo focalizzato l’analisi sulle risposte che hanno dato, nel questionario, alle tre domande aperte (1, A e B).

I commenti di alcuni studenti, specialmente coloro con un rendimento più basso nella disciplina, esprimono un apprezzamento a livello generale del percorso in quanto, avendo dedicato più tempo allo studio dell’argomento, sentono di aver raggiunto un maggiore livello di comprensione ed approfondimento.

*Abbiamo affrontato l’argomento in modo diverso, soffermandoci più a lungo e affrontando gli esercizi in maniera più approfondita, con l’aiuto di specialisti. Ciò mi ha permesso di comprendere alcuni aspetti dell’induzione elettromagnetica in modo sicuramente efficace*

*(Nicola; valutazione di utilità complessiva: 3)*

*Guardare criticamente l’argomento e starci sopra un tempo maggiore mi ha aiutato. [...] L’argomento [...] mi è stato molto chiaro e credo di avere delle conoscenze più approfondite rispetto agli altri argomenti. Magari poter fare questo lavoro più spesso per chi la fisica non la capisce subito al volo!*

*(Roberta; valutazione di utilità complessiva: 3)*

Quattro studenti hanno considerato come aspetto negativo la lunga durata temporale dell'intervento: avevano la sensazione che si stesse "perdendo tempo" rispetto alla preparazione all'esame di Stato<sup>3</sup>. Anche per questa ragione, concordano con la maggioranza della classe nel sostenere l'importanza di dedicare a questo tipo di riflessione uno spazio già a partire dal secondo anno di scuola secondaria, quando gli argomenti possono considerarsi più semplici e non si ha il vincolo temporale dell'esame di Stato da rispettare. In questo modo, a loro parere, sarebbe più semplice abituarsi ad un diverso tipo di approccio ai problemi, dal momento che ci si potrebbe concentrare maggiormente sull'articolazione della griglia e sulle domande che pone.

*A mio parere un percorso del genere non andrebbe proposto ad una classe quinta, quanto piuttosto ad una terza o a una quarta. Si tratta di un'attività dispendiosa dal punto di vista del tempo, che potrebbe non sempre giovare ad una classe che si deve preparare all'esame di stato.*

*(Giulia; valutazione di utilità complessiva: 3)*

*Non [ritengo] molto utile questo percorso perché [...] abbiamo perso tempo in vista dell'esame.*

*(Gianluca; valutazione di utilità complessiva: 1)*

*Secondo me l'esperimento funziona, magari proporlo a una classe diversa da una quinta può aiutare gli studenti ad approcciarsi diversamente alla fisica da prima e poter scegliere un proprio metodo a cui prima non avevano pensato. Altro motivo per cambiare classe potrebbe essere l'ansia degli studenti per la maturità. Per il resto ho trovato utile il percorso proposto e le sue modalità di svolgimento.*

*(Alessia; valutazione di utilità complessiva: 3)*

*[Sarebbe utile] farlo [il percorso didattico] a classi tra la seconda e la terza in modo che possano utilizzare questi strumenti e riuscire ad interpretare meglio un problema di fisica anche negli anni successivi. Essendo più facili gli argomenti di seconda e terza, probabilmente, si riuscirebbe a concentrarsi più sulla griglia senza aver troppe difficoltà a capire l'argomento*

*(Anna; valutazione di utilità complessiva: 3)*

---

<sup>3</sup> Come disciplina oggetto della seconda prova nei licei scientifici, nell'anno scolastico 2017/2018 in cui è stata svolta la sperimentazione, è stata scelta Matematica e non Fisica e lo si è saputo durante il percorso.

Diversi ragazzi e ragazze hanno menzionato il valore dei lavori di gruppo e delle discussioni collettive per confrontare diversi pareri ed osservare diversi approcci risolutivi; pareri discordanti, invece, sono emersi riguardo la composizione dei gruppi: alcuni hanno apprezzato l'omogeneità dei gruppi per permettere a tutti di dare il proprio contributo senza affidarsi a un "driver" che monopolizzasse la discussione, mentre altri hanno lamentato il fatto che i gruppi più deboli fossero svantaggiati.

*Mi ha colpita la composizione dei gruppi che ci ha permesso di affrontare il problema usando le nostre capacità e senza la presenza di un membro più bravo che magari ci condizionava e risolveva il problema senza il nostro intervento.*

*(Irene; valutazione di utilità complessiva: 3)*

*I gruppi li ho trovati poco equilibrati; giusti per vedere il tipo di risoluzione ma in certi gruppi, senza aiuto, non si riusciva a completare nulla.*

*(Giovanni; valutazione di utilità complessiva: 4)*

Un ultimo aspetto generale che emerge dai commenti di alcuni studenti è l'apprezzamento per la compresenza di due figure docenti (il titolare di cattedra e la laureanda) che hanno dato nuovi stimoli, oltre all'opportunità di confrontare diverse prospettive ed approcci alla disciplina.

*La presenza di due docenti in classe, con due possibili risposte ad ogni domanda è di grande aiuto, forse l'aiuto più importante apportato da questa esperienza.*

*(Francesco; valutazione di utilità complessiva: 3)*

*Confrontarsi con un'universitaria ci ha sicuramente aiutato ad avere nuovi spunti per il nostro studio.*

*(Alessia; valutazione di utilità complessiva: 3)*

Dopo aver riportato e commentato le valutazioni di alcuni studenti sugli aspetti di carattere più generale del percorso didattico, ci focalizziamo sull'analisi di una selezione ristretta di risposte che ci permettono di ottenere indicazioni sulla qualità e l'efficacia dell'intervento, relativamente alla percezione della tipologia di competenze acquisite per la risoluzione di problemi.

Consideriamo le risposte fornite nei questionari da quattro studenti, due ragazzi e due ragazze. Come mostrato in Tabella 3.2, i loro giudizi complessivi sull'utilità del percorso svolto sono confrontabili, così come il loro rendimento scolastico nella disciplina (cfr. Tabella 3.1).

Tabella 3.2: Valutazione complessiva all'intervento paragonata al rendimento dello studente.

Nome	Valutazione complessiva	Rendimento
Giovanni	4	4
Dario	4	5
Anna	3	4
Irene	3	4

Nei loro commenti gli studenti attribuiscono l'efficacia del percorso a diversi fattori. Giovanni nota come aspetto positivo il fatto che l'intervento lo abbia guidato verso una "schematizzazione" di problemi. In particolare, ritiene di aver fatto propria una strategia di suddivisione di problemi difficili in problemi semplici, tanto da essere riuscito ad applicarla anche a problemi "abbastanza complessi" come quelli affrontati durante il compito in classe sull'argomento. La griglia, per lui, è stata poco utile (come conferma la valutazione 2 da lui attribuita all'efficacia della griglia per arricchire le strategie di *problem solving*) perché non è riuscito a cogliere il significato della sua articolazione e degli snodi tra le sezioni.

*Il percorso è risultato utile per essere riuscito a schematizzare problemi complessi in sub-problemi meno complicati e più facilmente risolvibili. In particolare le delucidazioni durante la lezione e un aver reso meno complessi i problemi mi sono tornate particolarmente utili nella verifica degli argomenti, in problemi anche abbastanza complessi. [...] La tabella era un po' troppo lunga e divisa in "capitoli" che non ho ben capito. (Gabriele)*

Anche il punto di vista di Dario sul nuovo approccio introdotto con questo tipo di percorso è positivo. Se per Giovanni il cuore della attitudine acquisita era nella

suddivisione in problemi via via più elementari, il punto focale del commento di Dario è la soddisfazione nell'essere riuscito a capire a fondo il problema grazie all'eliminazione dei suoi "aspetti superflui", a cui la griglia, nelle sue due prime sezioni (analisi del testo ed esplorazione della fenomenologia), invitava.

*È stato un metodo nuovo per approcciarsi ad un argomento. È stato abbastanza utile per capire le varie sfumature dell'argomento e dei problemi ad esso legato. Fare un'analisi critica di tutti gli aspetti relativi ai vari problemi è stato decisivo per capire fino in fondo la natura del problema, eliminando gli aspetti superflui. (Dario)*

Una prospettiva complementare, ma molto differente, è quella che emerge dalle risposte delle due studentesse considerate per questa analisi, Irene ed Anna. La prima nota un cambiamento significativo nel suo modo di affrontare i problemi: mentre prima era abituata a cercare di arrivare ai risultati tramite una cieca applicazione di formule che trascurava quasi completamente la comprensione del fenomeno, ora è stata guidata ad un nuovo approccio che le permette di immaginare la "realtà del problema", arrivando a comprenderlo meglio.

*Non ho potuto vivere a pieno questa esperienza in quanto sono stata assente per motivi di salute in diverse lezioni affrontate insieme. Tuttavia la differenza l'ho sentita anche io, soprattutto nel modo di avvicinarmi ai problemi. All'inizio, il mio era un approccio più oggettivo e distaccato e cercavo solo il modo di risolvere il problema raggiungendo il risultato applicando le formule senza comprendere completamente il fenomeno. Invece l'analisi più o meno guidata mi ha permesso di cogliere e di immaginare la realtà del problema. (Irene)*

La seconda studentessa, Anna, nel segnalare gli aspetti che ha ritenuto positivi dell'esperienza didattica, si sofferma in particolare su una domanda che nella griglia ricorre diverse volte, chiedendo di cimentarsi con la riscrittura del testo del problema. Anna riconosce questa richiesta come nuova, inedita: sembra andare infatti nella direzione di uno "sforzo ulteriore", normalmente irrilevante per la risoluzione numerica di un problema; tuttavia la studentessa attribuisce a tale domanda una grande importanza perché questo stesso "sforzo" è positivo, nella misura in cui spinge ad un'analisi più articolata. Un ampliamento e un arricchimento delle prospettive è segnalato anche in merito alle discussioni di gruppo.

*Non trovando la fisica facile e non capendola così bene, non sono riuscita a fare questo percorso interamente. In ogni caso questo percorso è stato elaborato bene e con molto impegno, sebbene non sia riuscita a renderlo utile 5 per me. Riflettere assieme aiuta molto a velocizzare le cose e ad interpretare in più modi lo stesso fenomeno. [...] “Come potremmo riscrivere il problema?” mi è rimasta impressa perché per riscriverlo bisogna aver compreso bene il problema, e quindi uno sforzo ulteriore che aiuta a risolverlo meglio, perciò in maniera positiva. (Anna)*

Riteniamo utile un breve confronto conclusivo tra le prospettive che emergono dai commenti dei due ragazzi e delle due ragazze riguardo al percorso seguito in generale e alla griglia in particolare. A parità della tipologia di intervento messo in campo e di strumenti proposti, Giovanni e Dario si focalizzano maggiormente sugli aspetti di “semplificazione” rispetto alla risoluzione dei problemi, mentre Irene e Anna valorizzano di più quelli che riguardano un “ampliamento” rispetto alle strategie ordinarie. Queste parole riflettono due modi diversi di approccio alla griglia e, più in generale, a un intervento di questo genere. È importante sottolineare come questi commenti provengano da studenti di livello “molto buono” o “eccellente” in Fisica, a parere del professore: tuttavia, sia Irene sia Anna fanno riferimento nelle risposte al questionario alla loro insicurezza nella disciplina e alla grande difficoltà a comprenderla. Questo risultato può essere facilmente collocato all’interno di un panorama ampio di ricerche che recentemente sono state avviate riguardo alle differenze tra ragazzi e ragazze nella percezione della propria competenza scientifica [Hazari et al., 2010; Zeldin et al., 2008].

### **3.3.2 Valutazione dell’esperienza da parte del docente**

Al termine della sperimentazione, è stato chiesto al docente titolare di cattedra, Professor Massimo Salvi, di esprimere un commento sul percorso seguito. In generale il giudizio è stato molto positivo. Come docente, ha apprezzato gli argomenti trattati, la struttura degli interventi e le domande e i temi di discussione sorti a volte anche spontaneamente. Il suo parere è che i dibattiti collettivi siano serviti molto agli

studenti per comprendere meglio il fenomeno e la sua complessità, raggiungendo una più profonda consapevolezza:

*“Ora si rendono conto che ci sono tanti aspetti di un fenomeno e che questo può essere trattato in diversi modi. Stanno emergendo aspetti di maggiore consapevolezza. [...] In genere non si riescono ad aprire discussioni di quel genere dato che ci si concentra soprattutto sullo svolgimento del programma e per le meta-riflessioni non sono pensati momenti specifici durante l’anno (in questo anche i testi a disposizione non aiutano, pare che la meta-riflessione sia un tabù o qualcosa che ognuno deve fare per proprio conto). Credo che riflessioni/discussioni di quel tipo andrebbero proposte più spesso in classe. Questo potrebbe essere molto utile anche per orientare le competenze degli alunni verso quelle che sono auspiccate dalle indicazioni nazionali e che sono necessarie alla risoluzione delle prove che si stanno proponendo per l’esame finale (sia di matematica che di fisica)”*.

Dal punto di vista delle competenze per la risoluzione di problemi, il docente non ritiene che sia avvenuto un cambiamento sostanziale rispetto alla situazione di partenza (*“probabilmente avendo più tempo a disposizione avrebbero avuto maggiori miglioramenti”*). Ciò è in linea con le aspettative che avevano guidato la progettazione di questo intervento che puntava ad innescare atteggiamenti e riflessioni che il modello degli *epistemic game* ha presentato come punto di partenza per approcci esperti alla soluzione dei problemi.

Per quanto riguarda la partecipazione in classe, il docente ha affermato che in questi incontri ha visto gli studenti in generale più attenti (*“di solito sono più distratti”*) e con un coinvolgimento particolare di alcuni studenti (*“Mi sono meravigliato, alcuni di loro si sono proprio lanciati, hanno dato il meglio di sé, come Filippo, Niccolò e Giorgia”*). Nonostante la maggiore attenzione fosse riscontrabile in tutti gli studenti, per alcuni ha prevalso il timore di essere giudicati (*“secondo me in diversi hanno preferito non esprimersi per paura di fare figuracce”*).

Dal punto di vista delle scelte didattiche, il professor Salvi ha affermato che *“il percorso mi ha spinto a rivedere il formato della prova proposta in una maniera che ritengo più adatta alla preparazione del tipo di prova che gli studenti di liceo scientifico potrebbero affrontare in fisica. L’idea di una commistione fra teoria ed esercizio all’interno degli stessi esercizi mi sembra buona. Anche il confronto con una osservatrice partecipante e competente come una laureanda in fisica è utile per migliorare la modalità di esposizione e di presentazione del programma e per avere un punto di vista diverso sia sulle domande*

*poste dagli studenti (in questo spesso mi è stato utile avere una seconda interpretazione delle domande che mi venivano poste), sia sui contenuti.”*

# Conclusioni

L'obiettivo generale di questo lavoro di tesi è aiutare gli studenti a “guardare le cose da un'altra prospettiva”. Per poterlo ottenere abbiamo sviluppato, come è stato descritto nel capitolo 2, uno strumento che li aiutasse ad analizzare problemi di fisica sotto diversi punti di vista; in particolare, è stata progettata una griglia di meta-riflessione articolata in quattro sezioni in cui vengono affrontati tipi di riflessioni insolite per gli studenti: l'analisi del testo del problema, l'esplorazione della fenomenologia correlata alla situazione presentata, le scelte operate in tema di modellizzazione e rappresentazione e, infine, il processo di matematizzazione che porta poi alla risoluzione finale. Lo strumento è stato pensato per essere utilizzato in un tipico contesto curricolare con modalità non invasive. L'obiettivo specifico era, infatti, capire se era possibile ricevere segnali di un cambiamento di atteggiamento che potesse essere promosso da uno strumento versatile, flessibile e facilmente utilizzabile in molti contesti. Lo studio pilota eseguito in una classe V di liceo scientifico e l'analisi dei dati ottenuti ci ha permesso di osservare se l'utilizzo di questa griglia di meta-riflessione innescasse ragionamenti e riflessioni negli studenti.

Lo studio, durato da dicembre 2017 a febbraio 2018, ha previsto tre fasi: la prima di costruzione della situazione di partenza circa le strategie di *problem solving* messe in atto dagli studenti; la seconda di progettazione dello strumento; la terza di valutazione dell'intervento. Lo stato di partenza dei ragazzi è stato delineato mediante l'analisi della risoluzione a gruppi di due problemi e quello che si è ottenuto conferma la messa in atto di approcci di risoluzione di problemi già evidenziati come tipici da parte degli studenti non esperti da Tuminaro e Redish [Tuminaro & Redish, 2007],

ossia una ricerca ricorsiva di formule o di esercizi svolti da utilizzare come modello (da loro etichettati come *epistemic game* denominati “*Recursive Plug-and-Chug*” e “*Transliteration to Mathematics*”). L’unica eccezione erano due studenti che riuscivano a mettere in campo ragionamenti più raffinati e a compiere il passo dello “sviluppo della storia” dei due e-game più articolati (i *Mapping*).

La griglia è stata applicata per l’analisi degli stessi problemi sia in lavori di gruppo sia individualmente ed è stata utilizzata per stimolare discussioni collettive. Il tipo di discussioni e di riflessioni che ha stimolato sono molto promettenti e sono stati riconosciuti come tali anche dal docente di classe e dagli stessi studenti.

L’analisi condotta sulla discussione collettiva del 19 dicembre (terzo incontro del percorso) ha mostrato come la griglia abbia innescato un vivace e fluente dibattito tra gli studenti con minimi interventi delle ricercatrici, incentrato su macro-temi introdotti e gestiti dagli stessi ragazzi e che si ricollegano al tema generale dell’interdisciplinarietà matematica/fisica: i) il ruolo svolto dalla modellizzazione nell’analisi di un problema; ii) il legame tra l’esigenza di concretezza dei dati e la necessità di astrazione per la comprensione della situazione in esame; iii) la relazione tra la situazione particolare espressa dallo specifico problema e la sua estensione al caso generale. Questo risultato non era per niente scontato perché la classe non era abituata a questo tipo di riflessione e il docente è solito utilizzare ragionamenti matematici nelle sue lezioni principalmente per “fornire agli studenti diversi strumenti”. Riferendosi al modello di Uhden presentato nel capitolo 1 (figura 1.1), gli studenti, fino ad ora guidati sul capire come muoversi all’interno del “mondo” della matematica pura, stanno iniziando, a nostro parere, a diventare consapevoli dell’“esistenza” del “mondo” della modellizzazione fisico-matematica e della varietà delle “mosse” che essi possono eseguire al suo interno.

Anche l’insegnante e gli studenti stessi hanno riconosciuto i risultati positivi di questa discussione. In particolare, uno degli elementi più interessanti è stato il dibattito tra la posizione di due studenti (Francesco e Giulia) sul rapporto astratto/concreto: l’astrazione e la rappresentazione matematica del problema tipiche di Francesco possono essere intese come la prima mossa per la conduzione di un *epistemic game* intellettualmente raffinato come il “*Mapping Mathematics to Meaning*”. Al contrario, il bisogno di Giulia di raccontare a se stessa la storia fisica (“concreta”) del problema, per avere a disposizione un contesto sul quale ragionare, può essere

considerato la prima mossa dell'altro *epistemic game* più articolato, ossia il “*Mapping Meaning to Mathematics*”. Questi approcci, come si è notato dagli interventi dei ragazzi, trascendono la contingenza della risoluzione di specifici esercizi e mettono in luce diversi “modi di guardare” la fisica nel suo peculiare intreccio con la matematica; anche i due “*Mapping*” potrebbero quindi in realtà riflettere due tipi di prospettive idiosincratiche nel vedere il rapporto fisica-matematica.

L'analisi del questionario di valutazione ha messo in luce anche che la maggior parte degli studenti ha ritenuto utile la griglia per ampliare le proprie strategie di *problem solving*. Inoltre, hanno apprezzato le discussioni collettive, che permettevano di confrontarsi in maniera insolita per loro, e le suddivisioni in gruppi tali per cui tutti i membri potevano mettere in gioco le proprie conoscenze senza la prevalenza del membro più capace.

Le risposte al questionario, così come una nostra valutazione complessiva, hanno evidenziato anche alcune criticità come la necessità di iniziare ad utilizzare questo tipo di strumenti prima dell'ultimo anno, il problema di coinvolgere anche studenti intimiditi dalle discussioni mediante domande dirette e l'importanza di adeguare i metodi di valutazione in modo che vengano valorizzati anche questo tipo di ragionamenti.

Il docente, dal canto suo, è stato piacevolmente sorpreso e soddisfatto del percorso e di ciò che ha innescato. Per questo e altri commenti positivi ricevuti da diversi insegnanti, si è deciso di utilizzare questa griglia progettata per gli studenti anche in un contesto di formazione in servizio dei docenti. Questa sperimentazione avrà luogo a marzo 2018 e confidiamo di poter avere reazioni che ci aiutino a capire meglio la portata dello strumento.

Come già precedentemente affermato, in un arco di tempo così limitato non sarebbe stato possibile osservare cambiamenti radicali nelle strategie di risoluzione messe in atto dagli studenti, ma è comunque molto interessante osservare come abbia innescato meta-riflessioni spontanee e profonde che trascendevano il semplice approccio al problema. Questo era uno degli scopi principali di questo strumento la cui versatilità lo rende molto adatto per un suo utilizzo in contesti molto diversi tra di loro (per temi di fisica, livelli e contesti scolastici) e lo rende potenzialmente interessante per diventare un veicolo concreto di innovazione didattica.



# Ringraziamenti

Inizio ovviamente col ringraziare quelle splendide persone che hanno sudato con me su questo lavoro di tesi: grazie a tutto il gruppo di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Bologna e all'“unità anti-crisi”.

In particolare, grazie alla prof.ssa Olivia Levrini che mi ha fatto scoprire la poliedricità della Fisica e mi ha “fatto salire sulla cattedra”. Grazie di avermi dato la possibilità di fare questo bellissimo percorso, della sua pazienza e della sua disponibilità.

Grazie a Laura, Niccolò, Giulia e Giovanni che mi hanno accompagnato: grazie per i vostri consigli, la vostra gentilezza e il vostro immancabile supporto.

Ultima ma non ultima, ringrazio anche Eleonora, una santa, a cui ho rotto le scatole per ogni minimo dubbio; con lei ho condiviso anche qualche mese a prendere appunti, quindi non è solo una correlatrice, è un'amica (anche se non ha i capelli “abbastanza rossi”). Grazie della tua pazienza e del tuo aiuto.

Subito dopo ringrazio l'I.I.S. “M. Montessori-L. Da Vinci” di Porretta Terme (BO) che dopo essere stato il luogo della mia formazione e della sofferenza sui banchi, è stato anche la mia “prima prova sul campo”.

Grazie in particolare al professor Salvi, Max, un grande, per la sua disponibilità e simpatia: dopo essere stato il mio mentore, mi ha permesso di fare con lui questa esperienza così emozionante. Grazie Prof.

Grazie al mio babbo, mio insegnante di vita, a cui ho insegnato tanti metodi “quantistici” per far funzionare il computer.

Alla mia mamma: non tutti i supereroi portano il mantello.

Grazie alla mia nonna per avermi insegnato la curiosità scientifica con il suo "lillirillò infilato col filo" che ancora mi fa impazzire.

A Fabio, che sei arrivato da poco ma in realtà non te ne sei mai andato. Hai fatto con me "quello che la primavera fa con i ciliegi".

A G. S. che mi ha insegnato a saltare perché non è mai grande quanto sembra. Grazie di avermi accompagnato nella salita, non ce l'avrei mai fatta.

Grazie a quelle amiche che occupano un posto nel mio cuore: a Marika (e le nostre serate), a Chiara (che pur così lontana è sempre così vicina) e a Elena (e il tuo immancabile sostegno).

Ad Aurelia che non mi riconosce più: il tuo aiuto è stato importante. Grazie.

A mia zia Nadia che mi ha insegnato a non mollare mai. E ad avere pazienza con mio babbo.

A Leandro e il suo abaco.

A Serena, Daniele, Noemi, Elia, Mary, Silvano, alla mia famiglia toscannaccia. Perché fra teiere inguardabili e risate, è sempre una gioia immergersi nel loro amore.

A colei che è stato l'inizio di tutto: la mia maestra Floriana che mi ha fatto innamorare della matematica. Sono passati anni ma la "signorina di Firenze" deve tutto questo anche a te.

A Carla e Giusi, che mi hanno visto crescere e quasi fischiare giù dal terzo piano. Grazie del vostro affetto.

*Nunc plaudite omnes*

# Bibliografia

- Allen, L. D. (2001). *An Investigation into Student Understanding of Magnetic Induction*. The Ohio State University.
- Amaldi, U. (2010). *L'Amaldi 2.0*. Zanichelli.
- Anfara, V. A., Brown, K. M., Mangione, T. L. (2002). *Qualitative Analysis on Stage: Making the Research Process More Public*. *Educational Researcher*, 31(7), 28-38.
- Amin, T. (Ed.), Levrini, O. (Ed.). (2018). *Converging Perspectives on Conceptual Change*. London: Routledge.
- Blum, W., & Leiß, D. (2005). "Filling up" the problem of independence-preserving teacher interventions in lessons with demanding modelling tasks. Working group 13: Applications and modelling, 16-23.
- Branchetti, L., Cattabriga, A., Levrini, O. (2018). *Training secondary school teachers to deal with interdisciplinarity between physics and mathematics: the case of the black body model*. Inviato a Science & Education.
- Brush, S.G. (2015). *Mathematics as an instigator of scientific revolutions*. *Science & Education*, 24 (5-6), 495-513.
- Caforio, A., Ferilli, A. (2001). *Nuova Physica 2000. Per le scuole superiori (Volume 3)*. Mondadori Education, ISBN: 8800497268.
- Collins, A., Ferguson, W. (1993). *Epistemic Forms and Epistemic Games: Structures and Strategies to Guide Inquiry*. *Educational Psychologist*, 28(1), 25-42.
- Cosmelli, C. (2017). *L'induzione elettromagnetica: un problema di coerenza*. PLS 2017, Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma.
- Denzin, N. K., Lincoln, Y. S. (2005). *The SAGE Handbook of Qualitative Research* [3rd ed.] Sage Publications, Inc.
- Furio, C., Guisasola, J. (1998). *Difficulties in learning the concept of electric field*. *Sci. Educ.* 82 511-26.

- Galili, I., Kaplan, D., Lehavi, Y. (2006). *Teaching Faraday's law of electromagnetic induction in an introductory physics course*. American Journal of Physics, Vol.74, No.4. DOI: 10.1119/1.2180283.
- Giuliani, G. (2002). *Induzione elettromagnetica: fisica e flashbacks*. La fisica nella scuola, quaderno XIV.
- Giuliani, G. (2010). *Vector potential, electromagnetic induction and 'physical meaning'*. Eur. J. Phys. 31 871-880. DOI:10.1088/0143-0807/31/4/017.
- Giuliani, G., Marazzini, P. (2012). *Induzione elettromagnetica: un possibile percorso didattico*. La Fisica Nella Scuola, XLV, 2.
- Guisasola, J., Almudi, J. M., Zuza, K. (2013). *University Students' Understanding of Electromagnetic Induction*. International Journal of Science Education, Vol. 35, No. 16, 2692-2717. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.624134>.
- Hazari, Z., Sonnert, G., Sadler, P. M., Shanahan, M.-C. (2010). *Connecting high school physics experiences, outcome expectations, physics identity, and physics career choice: A gender study*. Journal of Research in Science Teaching, 47, 978–1003. <http://doi.org/10.1002/tea.20363>.
- Hill, S. E. (2010). *Rephrasing Faraday's Law*. The Physics Teacher, 48, 410. <https://doi.org/10.1119/1.3479724>.
- Karam, R. (2015). *Introduction of the Thematic Issue on the Interplay of Physics and Mathematics*. Sci & Educ 24: 487–494. DOI 10.1007/s11191-015-9763-9.
- Kragh, H. (2015). *Mathematics and Physics: The idea of a pre-established harmony*. Science & Education, 24 (5-6), 515-527.
- Layton, B., Simon, M. (1998). *A Different Twist on the Lorentz Force and Faraday's Law*. The Physics Teacher, Vol. 36, 474-479.
- Levrini, O. (2015). *Appunti e slide del corso Didattica della Fisica*. Alma Mater Studiorum, Università di Bologna.
- Levrini, O., Cattabriga, A., Branchetti, L. (2017). *L'interdisciplinarietà tra fisica e matematica nella formazione degli insegnanti*. Formazione Iniziale degli insegnanti, Congresso Nazionale, Trento.
- Levrini, O., Levin, M., Fantini, P., Tasquier, G. (2018). *Orchestrating classroom discussions that foster appropriation*. Inviato a Science Education.
- McDermott, L. C., Schaffer, P. S. (2002) *Tutorials in Introductory Physics*. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- McDonald, K. T. (2015). *Blondel's Experiment*. Joseph Henry Laboratories, Princeton University (June 11, 2010; updated December 30, 2015).
- Munley, F. (2004). *Challenges to Faraday's Flux rule*. Am. J. Phys., Vol. 72, No. 12. DOI: 10.1119/1.1789163;

- Nussbaum, A. (1972). *Faraday's law paradoxes*. Phys. Educ. 7 231.
- Raduta, C. M. (2001). *General students' misconceptions related to Electricity and Magnetism*. Ohio State University. [arXiv:physics/0503132](https://arxiv.org/abs/physics/0503132).
- Rainson, S., Tranströmer, G., Viennot, L. (1994). *Students' understanding of superposition of electric fields*. American Journal of Physics 62, 1026. DOI: 10.1119/1.17701.
- Romeni, C. (2014). *La Fisica di tutti i giorni (Volume 5)*. Zanichelli. ISBN:9788808335166.
- Romeni, C. (2014). *Fisica, Esperimenti e Realtà (Volume 2)*. Zanichelli. ISBN:9788808834744.
- Saarelainen, M., Laaksonen, A., Hirvonen, P. E. (2007). *Students' initial knowledge of electric and magnetic fields - more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions*. Eur. J. Phys. 28, 51-60. DOI: 10.1088/0143-0807/28/1/006.
- Sağlam, M., Millar, R. (2014). *Diagnostic Test of Students' Ideas in Electromagnetism*. University of York, Department of Educational Studies. ISBN:185342627X
- Scanlon, P. J., Henriksen, R. N., Allen, J. R. (1969). *Approaches to Electromagnetic Induction*. American Journal of Physics 37, 698. DOI: 10.1119/1.1975777.
- Tasquier, G. (2015). *Appunti e slide del corso Laboratorio di Didattica della Fisica*. Alma Mater Studiorum, Università di Bologna.
- Tasquier, G., Levrini, O., Dillon, J. (2016). *Exploring students' epistemological knowledge of models and modelling in science: results from a teaching/learning experience on climate change*. International Journal of Science Education. DOI:10.1080/09500693.2016.1148828.
- Thong, W. M., Gunstone, R. (2008). *Some Student Conceptions of Electromagnetic Induction*. Res. Sci. Educ. 38, 31-44. DOI 10.1007/s11165-007-9038-9.
- 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, 020101. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.3.020101.
- Tzanakis, C. (2016). *Mathematics & physics: an innermost relationship. Didactical implications for their teaching & learning*. Proceedings of History and Pedagogy of Mathematics, July 2016, Montpellier, France. <hal-01349231>
- Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M., Pospiech, G. (2012). *Modelling mathematical reasoning in physics education*. Sci. & Ed. 21, 485.
- Yackel, E., Rasmussen, C. (2002). *Beliefs and Norms in the Mathematics Classroom*. In: Leder, G.C., Pehkonen, E., Törner, G. (eds) *Beliefs: A Hidden Variable in Mathematics Education?*. Mathematics Education Library, vol 31, p. 313-330. Springer, Dordrecht. DOI: [https://doi.org/10.1007/0-306-47958-3\\_18](https://doi.org/10.1007/0-306-47958-3_18).

Zeldin, A. L., Britner, S. L., Pajares, F. (2008). *A comparative study of the self-efficacy beliefs of successful men and women in mathematics, science, and technology career*. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1036-1058.

Zuza, K., Almudi, J., Leniz, A., Guisasola, J. (2014). *Addressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach*. *Phys. Rev. ST, Phys. Educ. Res.* 10, 010122. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.10.010122

# Appendice A

In questa appendice presentiamo la versione della griglia di meta-riflessione consegnata agli studenti il 19 dicembre 2017 (incontro 3) in riferimento al problema B, da loro affrontato nella stessa giornata come lavoro di gruppo. In corsivo sono riportate le domande specifiche per il problema B.

---

GRIGLIA DI META-RIFLESSIONE [*adattata al caso specifico del problema B*]

## 1. ESPLICITAZIONE DEL RAGIONAMENTO CONDOTTO PER LA SOLUZIONE DEL PROBLEMA

<b>DOMANDA</b>
<b>A. Quale fenomeno fisico principale è alla base di ciò che è descritto nel problema?</b>
<b>B. Quali termini o espressioni del testo sono chiave per riconoscere il fenomeno che sta alla base del problema e per ragionare sulla situazione descritta?</b>
<b>C. Ci sono, nel testo, termini o espressioni che hai trovato ambigui e/o fuorvianti? Quali e perché?</b>

D. Ci sono termini o espressioni che hai trovato inutili? Quali e perché?

E. I precedenti esperimenti visti in classe ti aiutano ora a visualizzare questo nuovo sistema fisico? Spiega.

F. Se dovessi “ri-raccontare” il problema a parole tue, quale “storia” racconteresti? Cosa diresti di diverso rispetto a quello che c’è nel testo?

## 2. ANALISI DEI CONTENUTI ATTRAVERSO UN’ESPLORAZIONE DELLA FENOMENOLOGIA

### DOMANDA

G. Descrivi i seguenti elementi fisici che compaiono nel testo del problema, dicendo che cosa sono, quale significato fisico hanno e quali sono le loro principali funzioni e/o proprietà. [ad esempio, in riferimento al problema B]

- Spira
- Campo magnetico
- f.e.m
- Corrente indotta

H. Variando il campo magnetico lentamente invece che rapidamente l’effetto si avrebbe lo stesso? Spiega.

I. Cambierebbe qualcosa se avessi cambiato l’elettromagnete con una calamita? Spiega.

J. Cambierebbe qualcosa se il campo B aumentasse? Spiega.

**K.** *Cambierebbe qualcosa se muovessi la spira mentre il campo B varia? Spiega.*

**L.** *Se avessi mosso la spira senza variare B, si sarebbe verificato qualche fenomeno?  
Se sì: trovi somiglianze con l'induzione?  
Se no: perché?*

**M.** *Se nell'esercizio invece di avere una spira avessi avuto una sbarra metallica si sarebbe verificato qualche fenomeno?  
Se sì: trovi somiglianze con l'induzione?  
Se no: perché?*

**N.** *Ci sono elementi fisici dell'apparato sperimentale descritto nell'esercizio (spira, elettromagnete) che sono "inutili", ossia elementi senza i quali avrei avuto lo stesso il fenomeno dell'induzione? Spiega.*

**O.** *Con quale oggetto potresti sostituire gli elementi fisici dell'apparato sperimentale per avere fenomeno fisico uguale/simile? Spiega.*

**P.** *Sulla base dell'analisi che hai appena svolto, come "ri-racconteresti" la storia del problema a parole tue al fine di sottolineare la collocazione del problema nel contesto più generale del fenomeno?*

### 3. RAPPRESENTAZIONE E MODELLIZZAZIONE

#### DOMANDA

**Q.** Hai fatto un disegno per rappresentare il problema? Se sì perché hai scelto proprio quella rappresentazione? In caso contrario, prova a costruire una rappresentazione grafica o una schematizzazione che sia utile a descrivere la situazione del problema e a sostenere la storia che hai raccontato.

**R.** Quali elementi hai rappresentato? E, in particolare, quali proprietà/caratteristiche/funzioni di ciascun elemento hai rappresentato? Quali proprietà/caratteristiche/funzioni di ciascun elemento hai invece tralasciato perché inutili per il problema?

- *Nello specifico, quali aspetti della spira ti interessano? Spiega.*
- *Quali aspetti del campo B ti interessano? Spiega.*
- *Quali aspetti dell'elettromagnete ti interessano? Spiega.*

**S.** Ci sono dettagli impliciti che non sono scritti nel testo ma che hai immaginato per aiutarti nella rappresentazione? Se sì, quali e perché?

**T.** Ci sono invece dettagli del testo che non hai rappresentato perché li hai ritenuti inutili o fuorvianti? Se sì, quali e perché?

#### 4. MATEMATIZZAZIONE

DOMANDA
<b>U. Quali equazioni hai utilizzato per risolvere il problema?</b>
<b>V. A partire dalla storia che hai descritto precedentemente nei punti F e O, come hai tradotto le grandezze fisiche presenti nel testo in entità matematiche (simboli)?</b>
<b>W. Quali sono i termini che ti hanno indotto ragionamento matematico e quali quelli che ti hanno indotto un ragionamento fisico?</b>
<b>X. Secondo te, in quale passaggio nella soluzione del problema hai fatto un ragionamento fisico e in quale hai fatto un passaggio puramente matematico?</b>

#### 5. RIFLESSIONE CRITICA

Attraverso le precedenti domande sei stata/stato guidata/o a riflettere sul problema attraverso:

- 1) un'analisi del testo e la costruzione di una "storia",
- 2) un'esplorazione della fenomenologia,
- 3) un'analisi delle forme di rappresentazione/modellizzazione del fenomeno,
- 4) un'analisi del processo di matematizzazione del problema.

Alla luce di questa riflessione, prova a rileggere (per l'ennesima volta) il testo del problema e racconta se è cambiato qualcosa nella tua lettura, ovvero se ci sono parole, espressioni, aspetti che prima non avevi notato e che ora noti e commenta cosa ti sembra di avere imparato in termini di strategie di soluzione.

# Appendice B

In questa appendice viene riportato il testo del compito in classe co-progettato dal docente titolare di cattedra e dalla laureanda (I. Giovannelli). Il compito è stato svolto in data 13 febbraio 2018, incontro 6.

---

## COMPITO IN CLASSE

### Esercizio 1

La bobina di un alternatore è composta da 250 spire rettangolari di dimensione 20 cm per 40 cm. Essa ruota intorno al proprio asse compiendo 100 giri al secondo.

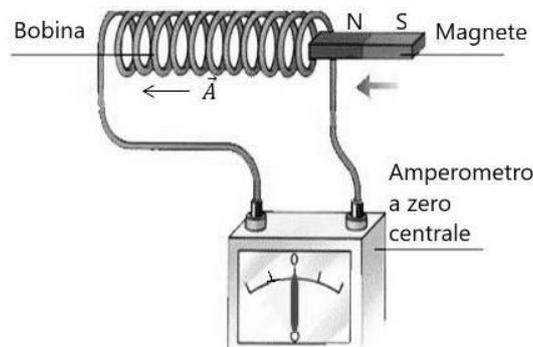
- a) Se vuoi che la tensione massima prodotta sia di 220V, quanto deve valere il campo magnetico nel quale deve essere immersa? Esplicita il ragionamento. (1 punto)
- b) Spiega cosa si intende per tensione efficace (0,75 punti) e calcola la tensione efficace prodotta. (0,5 punti)
- c) Scrivi la funzione che esprime l'andamento della f.e.m. nel tempo per un generico alternatore, spiegando adeguatamente i termini utilizzati e i passaggi effettuati (0,5 punti). Scrivi poi la funzione specifica per l'alternatore descritto. (0,5 punti)
- d) Costruisci una rappresentazione di un trasformatore descrivendone gli elementi principali. (0,5 punti) Supponi di usare l'alternatore dell'esercizio per alimentare il circuito primario di un trasformatore. Se gli avvolgimenti del primario sono 1000, quanti avvolgimenti sono necessari nel secondario per avere una tensione efficace in uscita di 2 kV? (0,5 punti)

### Esercizio 2

Un solenoide è costituito da 1000 spire di raggio 5 cm ed è lungo 45 cm.

- a) Spiega cosa si intende con coefficiente di autoinduzione (o induttanza). (0,75 punti) Calcolane il valore per il solenoide dato. (0,5 punti)

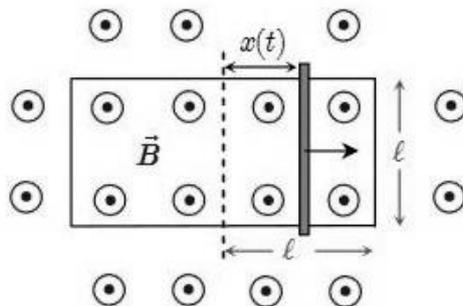
- b) Questo solenoide viene inserito in un circuito in serie ad una resistenza pari a  $50 \Omega$ . Nel circuito è presente anche un generatore di tensione continua pari a  $10 \text{ V}$ . Quanto vale la costante di tempo di questo circuito? (0,5 punti) Quale significato fisico ha? (0,5 punti)
- c) Nel circuito precedente, quanto varrà la corrente dopo 10 secondi? Esplicita il ragionamento. (1 punto)
- d) Supponi di utilizzare questo solenoide per l'esperimento mostrato in classe (vedi figura). Lo colleghi ad un amperometro a zero centrale, ossia che possa misurare sia correnti negative (orarie) che positive (antiorarie). Dopo ciò, inserisci una calamita all'interno del solenoide come mostrato. Da quale parte si muoverà l'indicatore dell'amperometro? Motiva la tua risposta. (0,5 punti)
- Sapendo che la resistenza del solenoide vale  $10 \Omega$ , che il campo magnetico prodotto dalla calamita vale  $0.5 \text{ T}$  e che per inserirla si impiegano  $1.2 \text{ secondi}$ , quanto vale la corrente che inizia a circolare nel solenoide? (0,5 punti)



### Esercizio 3

Una barretta metallica (vedi figura), di resistenza trascurabile, scivola senza attrito su un binario lungo  $2l=160.0\text{cm}$ , seguendo un moto armonico di equazione  $x(t) = l \sin(\omega t)$ , con  $\omega = 2.40 \text{ rad/s}$  ed equilibrio nel punto centrale del binario. Le rotaie sono separate da una distanza  $l=80.0\text{cm}$  e sono costituite da fili di rame ( $\rho = 1.69 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ ) la cui sezione ha raggio  $r = 1.50 \text{ mm}$ . Il dispositivo è immerso in un campo magnetico perpendicolare al piano del circuito, di intensità  $B=0.0130 \text{ T}$ .

- Calcolare la differenza di potenziale ai capi della barretta e la corrente che vi scorre in funzione del tempo, argomentando i vari passaggi. (1 punto)
- Spiega il verso di percorrenza della corrente, esplicitando il ragionamento fisico. (0,5 punti)



# Appendice C

In questa appendice presentiamo la trascrizione completa della discussione collettiva avvenuta in classe il 19 dicembre 2017 (incontro 3). La presentazione scelta è per sottolineare la vivacità e spontaneità con cui è avvenuto il dibattito e la suddivisione nei tre macro-temi affrontati. All'interno della trascrizione, sono state evidenziate le frasi più interessanti con il colore corrispondente al macro-tema in cui rientrano e sono state sottolineate le domande e interventi che hanno innescato tale riflessione.

	“Modellizzazione”	“Astratto/Concreto”	“Particolare/generale”
Tempo 	<p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Mi date il vostro parere su quello che state facendo, sulla <u>griglia</u>, com'è <u>organizzata...</u></p> <p><b>Francesco:</b> <b>C'è un'analisi molto più approfondita del testo, noi non ci facciamo molto caso, ci basiamo solo sui dati da inserire nelle formule.</b> Però magari ci sono aspetti che non ci guardiamo ma che magari ci servono...</p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Per esempio?</p> <p><b>Francesco:</b> Per esempio <b>abbiamo ragionato su cosa poteva servire e cosa no</b> affinché capissimo il problema che ci veniva posto e abbiamo notato che parlando di induzione ci serve principalmente la differenza, la variazione più che il circuito, la lampadina, quelli sono elementi secondari e noi non ci abbiamo pensato.</p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Quindi <u>aiutano a porre attenzione nei posti giusti.</u></p> <p><b>Francesco:</b> Esatto</p>		

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
<p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Sulla <u>modellizzazione</u> e sulla matematizzazione cosa avete notato?</p> <p><b>Francesco:</b> <b>La modellizzazione è strettamente legata all'analogia.</b> Una volta che abbiamo capito i confini entro i quali si trova il fenomeno che stiamo analizzando, solo allora possiamo sistematizzarlo</p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Quindi per modellizzazione cosa intendi?</p> <p><b>Francesco:</b> Intendo <b>dare una struttura matematica alle osservazioni logiche.</b></p> <p>[...]</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Come raccontereste l'esercizio alla luce dell'analisi che abbiamo fatto il 16?</p> <p><b>Nicola:</b> Io ho interpretato la domanda "come rielaboreresti il testo per renderlo più efficace" e io avrei semplicemente <b>eliminato i termini che abbiamo visto essere superflui.</b> Avrei sicuramente tolto la figura del ragazzo, avrei tolto la lampadina e spostato l'attenzione del problema su quando c'è una forza elettromotrice. La lampadina viene menzionata solo nella domanda tre, se cambia o no l'intensità della luce se avvicino o allontano la calamita, ma basterebbe chiedere se cambia il</p>	<p><b>Prof.ssa Levrini:</b> E l'analisi della <u>fenomenologia</u> com'è composta?</p> <p><b>Roberta:</b> <b>Immaginarsi l'esperimento da un punto di vista pratico</b></p>	<p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Sono domande che cercano di spingere l'immaginazione, andare oltre il testo...c'è una strategia tipica dietro questo tipo di domande, qual è lo scopo di queste <u>domande sulla fenomenologia?</u></p> <p><b>Francesco:</b> <b>Partire dal caso particolare e arrivare alla legge in generale.</b> Capire i confini del fenomeno e vedere i diversi casi</p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Sì, tutte le altre casistiche, cioè cambiare qualcosa del fenomeno per esplorare la fenomenologia...è una strategia molto importante che aiuta a risolvere tanti problemi nuovi.</p>

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
<p>valore della f.e.m.  <b>Francesco:</b> In teoria si poteva eliminare anche la calamita, parlare solo di un campo magnetico variabile.</p>	<p><b>Laureanda (IG):</b> Perché, <u>cosa ti interessa del campo?</u>  <b>Francesco:</b> La variazione  <b>Laureanda (IG):</b> Ti interessa la sorgente?  <b>Francesco:</b> No  <b>Nicola:</b> <b>Però aiuta a rendere un po' più concreto il problema.</b>  <b>Laureanda (IG):</b> Quindi riesci a figurartelo meglio  <b>Nicola:</b> Esatto. Avere una calamita ti aiuta a modellizzare meglio  <b>Francesco:</b> <b>Da un lato è utile avere un problema estremamente astratto perché la mente si applica più rapidamente a quel problema che non a uno concreto. Per capire il fenomeno il caso astratto è sufficiente e invece gli elementi concreti sono solo elementi di disturbo.</b>  <b>Laureanda (IG):</b> Cosa intendi?  <b>Francesco:</b> <b>Una volta che ci è chiaro il fenomeno che si verifica è come una formula che abbiamo nella nostra mente e che dobbiamo applicare alla realtà, trascende l'elemento concreto, è una formula che noi applichiamo a una determinata condizione logica indipendentemente dalla concretezza.</b> Abbiamo il concetto di spira, ma in realtà non è una spira è un filo conduttore con una certa area e noi applichiamo le nostre conoscenze a questo una volta che abbiamo acquisito le conoscenze. Invece nel momento in cui le acquisiamo ci è più comodo passare attraverso il concreto vale a dire pensare che ci sia una spira, calamita, lampadina ecc... <b>Secondo me infatti, un modo per capire meglio il problema nel momento in cui noi abbiamo acquisito la struttura sarebbe essere sottoposti a tanti problemi dello stesso tipo, scritti in modo diverso. Cioè descrivere la stessa situazione con la stessa modellizzazione matematica in tanti modi diversi, avere quindi una molteplicità delle possibilità</b></p>	

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
	<p>fisiche e materiali che possono avvenire. Secondo me in questo modo è facilitato il processo di astrazione che ci porta a un'idea logica indipendente dal materiale. A posteriori noi comprendiamo una cosa quando ci si presenta astrattamente alla mente, ad esempio una volta che abbiamo compreso il concetto di forza elettromotrice siamo capaci di applicarlo indipendentemente dal caso concreto, tanto che siamo portati a riscrivere il testo del problema, eliminando qualsiasi riferimento al concreto. Parlare quindi di campo magnetico e area senza parlare di spira o di calamita. Però <b>a priori, prima di dover ragionare sull'astratto, per capire ci è di aiuto il concreto</b> e pensavo che per capire meglio l'astratto che si nasconde sotto al concreto, aiuta a mio parere il porre tanti problemi scritti in modo diverso e che si occupano dello stesso fenomeno in casi diversi e questo ci permette di astrarre il ragionamento e di ottenere la formula, che poi è quello che ci interessa.</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> <u>Siete tutti d'accordo? Cosa c'è secondo voi di differenza tra un problema astratto e un problema concreto?</u></p> <p><b>Nicola:</b> <b>Un problema concreto utilizza dei modelli realistici.</b> Utilizza degli strumenti esistenti, la lampadina, la calamita, un circuito, delle cose che io posso immaginarmi. <b>Invece un modello astratto è lo stadio precedente, cioè avendo un modello astratto dobbiamo costruircelo noi il modello concreto.</b></p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Francesco scusa <u>mi leggi come avresti riscritto il testo?</u></p> <p><b>Francesco:</b> A posteriori, scriverei: "Date N spire ognuna di area A, viene applicato a esse un campo magnetico variabile che passa da 0 a 9,4 con una frequenza di 2 volte al secondo..."</p> <p><b>Nicola:</b> Ma dovrai dire che c'è un circuito</p> <p><b>Francesco:</b> Ma io sto dicendo a posteriori, dopo aver capito l'esercizio</p> <p><b>Nicola:</b> Cioè sapendo già che c'è un circuito?</p> <p><b>Francesco:</b> No, non serve il circuito</p>	

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
	<p>perché si verifichi una forza elettromotrice l'unica cosa che ci serve è una spira o comunque un corpo conduttore. Ovviamente però <b>nel momento in cui lo sto capendo mi è più comodo ragionare in termini di circuiti, eccetera...ma dopo averlo capito nella mia mente non c'è più il circuito...</b></p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Altri pareri? <u>Nessuno avrebbe strategie diverse? Perché tra un esercizio astratto e concreto cambia anche come modellizzate ciò che vi si presenta</u></p> <p><b>Francesco:</b> <b>In un esercizio astratto non c'è bisogno di modellizzare. Sei già dentro al sistema linguistico modellizzato che ci è stato insegnato e invece noi dobbiamo applicare il sistema linguistico in un contesto concreto.</b></p> <p><b>Giulia:</b> <b>Io però sarei portata anche in un caso astratto a crearmi un modello, anche avendo dei dati così precisi, sarei portata comunque a disegnare il circuito.</b></p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Chi è che ha <u>questa strategia?</u> Chi è che di</p>	<p><b>Nicola:</b> Cioè <b>generalizzi</b></p> <p><b>Francesco:</b> Esatto</p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> <u>Questo a posteriori, e invece a priori?</u></p> <p><b>Francesco:</b> A priori potremmo scrivere 300 problemi in modi diversi e probabilmente <b>più problemi leggo, più chiaro mi si fa il fenomeno che si verifica</b></p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Dove ti variano i dati?</p> <p><b>Francesco:</b> Indipendentemente dal dato, alla fine è un numero. Io intendo dove ti variano le condizioni</p> <p><b>Nicola:</b> Effettivamente è vero. Lei ci aveva fatto vedere alla lavagna la bobina con la calamita in due posizioni spiegandoci che non cambiava niente. Se già ci venivano dati due problemi distinti con la calamita in quelle posizioni ci avrebbe aiutato a capire prima senza bisogno che lei dicesse che non cambiava niente. <b>Quindi da più problemi con diverse situazioni si arriva più facilmente alla regola generale...</b>ci sta sì.</p>

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
<p><b>Nicola:</b> Lo semplifichi per ricondurti a una situazione che conosci meglio. Dal momento che uno ha le nozioni chiare, si riesce a ricondurre a livello matematico alla formula da utilizzare subito; <b>se invece non ho studiato bene, se non ho gli strumenti per riconoscerlo subito allora vado a modellizzare in maniera sempre più semplice per ricondurmi a situazioni che sono più familiari e che forse risolvo con più facilità.</b></p>	<p>fronte a un problema la prima cosa che gli viene da fare è di immaginarselo nella realtà, costruirsi un'immagine concreta? Francesco (S1), davanti a un problema così pulito, vede già il modello astratto matematico e applica la formula. Giulia (S4), invece, anche di fronte a un problema astratto sente l'esigenza di immaginarsi il fenomeno dietro. Chi è che segue la strategia di Giulia?</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> <u>Non è che una strategia è sbagliata e l'altra è giusta, sono solo diverse.</u></p> <p><b>Francesco:</b> Non sono così diverse comunque.</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Perché?</p> <p><b>Francesco:</b> <b>Quello che fa Giulia è quello che succede subito prima. Il ragionamento matematico che porta alla soluzione del problema è per sua natura astratto e per capire che ragionamento matematico applicare noi ci riferiamo al concreto però lo facciamo solo per capire la struttura matematica del problema. Anch'io ho bisogno del concreto prima, per passare all'astratto.</b></p> <p><b>Prof.ssa Levrini:</b> Ma la domanda è questa: di fronte a un problema così pulito come lo hai proposto tu, in cui il modello matematico è chiaro, ti viene comunque da immaginare l'aspetto della realtà, oppure applichi il modello matematico?</p> <p><b>Francesco:</b> Se lo conosco bene e so come funziona è automatico riferire il modello pulito alla formula pulita per ottenere il risultato. Se invece non ho conoscenza chiara, mi è più comodo creare un modello concreto....</p>	

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
<p><b>Sara:</b> Alla fine il disegno è uno dei passaggi per la risoluzione del problema, è come in matematica: all'inizio facciamo tutti i passaggi poi dopo un po' di tempo che li sappiamo già fare magari ne saltiamo qualcuno</p> <p><b>Nicola:</b> Esatto, dipende da quanto sei a conoscenza dell'argomento.</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> <u>Secondo voi cosa significa sapere bene l'argomento?</u> Avete detto che se lo conosco bene so già mettermi nel contesto giusto, che cosa intendete? Che vi ricordate che c'era una formula adatta al tuo scopo?</p> <p><b>Nicola:</b> No, la conoscenza non è quella, non è che ho quei quattro numeri da mettere nella formula e so trovare il risultato. <b>So che termini metterci, so che modello c'è sotto e so utilizzare la formula per arrivare al risultato.</b></p> <p><b>Nicola:</b>...e chiaramente <b>devi fare delle semplificazioni</b>, supporre che non ci sia attrito per esempio...</p> <p><b>Francesco:</b> Esatto. <b>È quello il momento più difficile della modellizzazione.</b> Questi problemi astratti e puliti alla fine, una volta studiato...</p>	<p><b>Francesco:</b> La difficoltà nel problema di fisica non è tanto nel caso astratto, è il passaggio dal concreto all'astratto. <b>I problemi più difficili del libro sono quelli in cui c'è un caso concreto che viene presentato...</b></p> <p><b>Nicola:</b> <b>...in cui non riesci a ricondurli...</b></p> <p><b>Francesco:</b> Esatto</p> <p><b>Nicola:</b> ...sono i più facili</p> <p><b>Francesco:</b> Sì, esatto, è la <b>pura applicazione di una formula. Invece i problemi più concreti dobbiamo comunque ricondurli all'astratto e ci sono delle approssimazioni e semplificazioni da fare che sono il problema maggiore.</b></p> <p><b>Nicola:</b> <b>Se uno concretizza è per farsi un'idea di dove andare</b>, se tu hai un modello astratto lo concretizzi in quella situazione. Cioè, "cosa succederebbe se"...cioè, <b>magari dal modello viene una forza verso l'alto che so essere impossibile in quel caso.</b></p> <p><b>Luigi:</b> Secondo me, come diceva</p>	

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
	<p>Nicola, dal momento che <b>io ho una conoscenza totale dell'argomento su cui si focalizza l'esercizio, ossia so tutti i casi particolari, so qualsiasi cosa che riguarda l'esercizio in qualsiasi modo sia posto l'esercizio, se mi chiedono di trovare un valore piuttosto che un altro, io riesco a ricondurre l'esercizio a una formula generale astratta e so ragionare non solo con numeri ma anche con lettere, costanti.</b></p> <p><b>Leonardo:</b> Invece secondo me sono <b>due modi diversi di approcciare un problema</b></p> <p><b>Nicola:</b> Cioè, chi concretizza, concretizza anche se sa la formula e tutto? <b>Secondo me no. Se tu sai la formula e ti danno un problema astratto tu applichi la formula, non pensi alla calamita e al circuito e a tutto il resto. Secondo me uno modella il problema solo per arrivare a una situazione in cui poi applica la formula.</b></p> <p><b>Leonardo:</b> Solo per semplificare</p> <p><b>Nicola:</b> Se tu hai già i dati della formula senza bisogno di concretizzare, non concretizzi.</p>	<p><b>Laureanda (IG):</b> Lui (S3) dice "io sono in grado se mi date tutti i casi particolari". <u>Secondo voi siamo in grado di dare tutti i casi particolari?</u></p> <p><b>Francesco:</b> No, tutti i casi particolari no.</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Ma <b>lui dice: "sono in grado perché riconosco quel caso particolare"</b>, giusto Nicola? "So risolverlo perché so come ragionare in quel frangente"</p> <p><b>Nicola:</b> Sì</p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Secondo te è possibile che io ti dia tutti i casi particolari?</p> <p><b>Nicola:</b> <b>Se ho la conoscenza piena dell'argomento non c'è bisogno di dare tutti i casi particolari, so come muovermi.</b></p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Ma tu avevi detto che la conoscenza piena ce l'hai quando ti do tutti i casi particolari quindi sai riconoscerlo e applicarlo...</p> <p><b>Nicola:</b> No <b>non è che me li deve dare lei, me li trovo io.</b> Nel senso che se io studio questo argomento, dopo non è che io so le formule, cioè le so</p>

Modellizzazione	Astratto/concreto	Particolare/generale
		<p>applicare solo nei casi in cui mi danno i quattro termini da mettere nella formula. <b>La piena conoscenza non è questa ma è sapere come trovare questi quattro termini e usarli anche indirettamente, cioè anche nei casi in cui devo usare la formula indirettamente. La vera conoscenza è proprio quella di non aver bisogno di sapere a memoria i casi particolari ma poter venirne a capo proprio nei casi particolari.</b></p> <p><b>Laureanda (IG):</b> Secondo te quale potrebbe essere un problema dove devi applicare la formula "indirettamente", come dici tu?</p> <p><b>Nicola:</b> Non lo so...se mi si chiede un'altra cosa in cui trovare la f.e.m è un passaggio intermedio, cioè mi chiedono qualcosa che dipende dalla f.e.m. e mi danno i dati per trovare la f.e.m. Io capisco che devo trovare la f.e.m. ma non mi hanno detto che prima dovevo calcolare la f.e.m., ci sono arrivato da solo.</p>