

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITY OF BOLOGNA

School of Science
Department of Physics and Astronomy
Master Degree in Physics

Appropriazione e identità in ambito STEM: riflessioni per un approccio ecologico

Supervisor:
Prof. Olivia Levrini

Submitted by:
Luca Monaco

Co-supervisor:
Dr. Sara Satanassi

Academic Year 2020/2021

Sommario

Lo scopo della tesi è contribuire alla comprensione e allo sviluppo delle potenzialità del nesso tra la partecipazione ad attività didattiche nelle discipline STEM, in particolare nella fisica, e la formazione dell'identità. Questo tema è centrale nel corso di Didattica della Fisica, da cui prende le mosse lo studio proposto. Risulta evidente come la difficoltà nel creare modi personali di apprendere rischi di generare forme di conoscenza non significativa e un'idea di scienza distante e non rilevante per la propria formazione (Schreiner and Sjøberg, 2007). Oltre alla perdita del suo grande valore culturale, ciò determina anche l'impossibilità di orientarsi in una società sempre più centrata sul sapere scientifico (Benasayag, 2020), di immaginare scenari futuri e di partecipare, come cittadini attivi, alla loro realizzazione (Levrini *et al.*, 2020).

Da queste considerazioni è stato sviluppato lo studio sull'appropriazione di Levrini e colleghe (Levrini *et al.*, 2015), in cui sono stati individuati alcuni *design principle* per percorsi didattici che potessero rispondere all'esigenza di un apprendimento inclusivo e significativo. Risuonando con l'analisi effettuata, ho provato a sviluppare nuclei tematici che, non inglobati dai principi di costruzione, potessero suggerire eventuali affinamenti e ulteriori pratiche nell'ideazione di attività didattiche. Per far ciò ho analizzato, oltre alla letteratura di ricerca in area STEM, studi legati all'antropologia dell'educazione e alla pedagogia. I nuclei individuati, legati alla sfera dell'ecologia e letti secondo l'interpretazione dell'antropologo Tim Ingold (Ingold, 2018) racchiudono una molteplicità di costrutti emergenti in diverse aree disciplinari; tra i principali si ricordano: Epistemic Agency (Scardamalia, 2000), Intellectual Risk Taking (Beghetto, 2008), Aesthetic Experience (Wickman, 2006), Empatia (Fabbri, 2018) Fragilità (Fabbri, 2018; Benasayag, 2020), Epochè (Husserl, 1931), Erfahrungen (Rosa, 2010) e Time Reappropriation (Levrini *et al.*, 2020).

Il percorso introdotto è stato presentato e discusso in due occasioni con studenti di laurea magistrale in fisica dell'Università di Bologna. Gli scopi di questi incontri erano due: verificare se e quanto, anche sulla base di esperienze vissute, studenti di fisica si sentissero vicini ad un simile approccio; provare a renderlo operativo, cercando di capire se e come potesse essere utilizzato nella progettazione di attività didattiche.

L'esito dello studio è stato positivo: gli studenti hanno risuonato anche oltre le aspettative con il problema e con l'approccio presentato, che è stato visto come un passo nella direzione di sviluppare forme di apprendimento significativo e di arricchimento identitario. Sono emerse inoltre diverse riflessioni e proposte didattiche, che hanno mostrato come i nuclei tematici individuati possano in certi casi integrare i principi di costruzione dell'appropriazione.

Indice

Introduzione	6
1 L'Appropriazione nella didattica della fisica	8
2 Per un approccio ecologico nella didattica STEM	15
2.1 Attenzione	17
2.2 Agencement	19
2.3 Il rischio di errare	22
2.4 Scholè	24
2.5 La conoscenza sul tavolo	27
3 Contestualizzazione e metodologia dello studio	30
3.1 Contesto: il corso di Didattica della Fisica	31
3.2 Introduzione a un percorso ecologico nel corso di Didattica della Fisica	39
3.3 Metodologia dello studio	41
3.3.1 Discussione collettiva	41
3.3.2 Interviste	43
4 Analisi e Discussione	46
4.1 Vicinanza all'approccio e fruibilità	47
4.1.1 Discussione collettiva	47
4.1.2 Interviste	53
4.2 Passaggio al concreto: la relatività ristretta	67
4.2.1 Discussione collettiva	67
4.2.2 Interviste	69
4.3 Sintesi dei contributi a <i>RQ3</i>	79
Conclusioni	83
Appendice A - Studio pilota	86
Bibliografia	89

Introduzione

Nella società contemporanea il dibattito pubblico è spesso dominato da temi fortemente legati alle scienze, il ruolo delle tecnologie è sempre più centrale e la rapidissima evoluzione tecnologica della *società dell'accelerazione* lascia presagire che la tendenza continuerà ad essere questa. Oggi, pertanto, assume una posizione di massimo rilievo l'educazione scientifica: un'adeguata formazione è fondamentale per fornire gli strumenti per partecipare attivamente e criticamente ai processi fondativi di una società, orientati alla cura di sé, degli altri e del pianeta e, dunque, del proprio futuro. Negli ultimi anni l'emergere di questioni che richiedono prese di posizione e risposte rapide, su tutte l'emergenza climatica e quella pandemica, ha però mostrato inclinazioni verso il sapere scientifico che spaziano dall'a-criticità allo scetticismo quando non all'ostilità. Ciò ha fatto luce sulla mancanza di un vero radicamento, nella società, della cultura scientifica, spesso compartimentalizzata e non resa parte integrante della propria identità.

Colpisce molto che anche gli studenti competenti e interessati alle discipline scientifiche vivano il loro rapporto con esse in modo distaccato, sentendosi spesso coinvolti intellettualmente ma non chiamati a mettersi in gioco personalmente (Levrini *et al.*, 2020). Ciò che la ricerca internazionale sta mettendo in evidenza è che si debba lavorare, a livello educativo, per favorire la creazione di un legame autentico con le discipline scientifiche, che faccia sì che esse partecipino al proprio percorso di formazione personale e identitaria (Nasir *et al.*, 2006; Stroupe *et al.*, 2018; Jaber and Hammer, 2016; Russ, 2017).

Lo studio qui proposto si inserisce in questo quadro. A partire da riflessioni personali riguardanti il ruolo che le discipline scientifiche hanno avuto per la mia formazione personale, il modo di affrontarle e la differenza, in termini di coinvolgimento personale, con cui tendo a relazionarmi ad altri ambiti del sapere, ho provato a condurre un'indagine coinvolgendo altri studenti di fisica per provare a comprendere quanto questa sensazione fosse diffusa in una simile *comunità di pratica* e quali suggerimenti potesse offrire alla progettazione didattica. Questo percorso di tesi è stato portato avanti parallelamente a quello di un altro studente di fisica, Francesco (De Zuani Cassina, 2021), ed è in un certo senso complementare ad esso: entrambi sono nati dalle stesse sensazioni ed esigenze, che abbiamo potuto confrontare durante numerose riunioni con la professoressa Levrini e la dottoressa Satanassi, rispettivamente relatrice e correlatrice dei due progetti, e in

entrambi si è adottato un approccio trasversale alla didattica della fisica, utilizzando anche concetti afferenti ad altre discipline. Allo stesso tempo, tuttavia, ci si è focalizzati su momenti distinti dell'apprendimento, che si integrano l'un l'altro: Francesco si è concentrato sul confine della disciplina, e quindi su come impostare una didattica tale da rendere i concetti appresi e le pratiche vissute fruibili anche fuori dai contesti di aula, in domini differenti; io mi sono concentrato sull'interno, e su quali elementi possano rendere l'esperienza didattica inclusiva, partecipativa e quindi significativa per la persona. Appare evidente che i due momenti sono strettamente connessi e sconfinano l'uno nell'altro, sostenendosi reciprocamente.

Nello sviluppo del percorso hanno avuto un ruolo fondamentale tre corsi del mio piano di studi: Didattica della Fisica, tenuto dalla professoressa Levrini, Antropologia dell'Educazione, tenuto dalla professoressa Bonetti, e Pedagogia Generale e Sociale, tenuto dal professor Fabbri; tutti e tre si concentrano, con prospettive e fuochi diversi, sulle modalità che possano permettere di sviluppare una didattica inclusiva, partecipativa e significativa, e sono alla base del quadro teorico che ha retto l'indagine, in cui si è provato ad intrecciarli secondo un approccio fortemente interdisciplinare. In essa risulta centrale una prospettiva relazionale: l'idea che si intende portare avanti è che affinché un'esperienza didattica sia vissuta in modo personale, e quindi significativo innanzitutto per sé stessi, non si può prescindere dal ruolo che ha il rapporto con l'Altro, che sia studente, insegnante o ambiente. Quella adottata è una prospettiva ecologica, che guarda al soggetto studente come ad un organismo in continua evoluzione esposto agli stimoli dell'alterità con cui interagisce. Il percorso sviluppato è stato proposto a degli studenti durante il corso di Didattica della Fisica ed è stato discusso con loro sia in un momento collettivo sia in interviste individuali. In entrambi i casi si è mantenuto il fuoco su due punti: l'affinità con l'approccio e le sue potenzialità operative. Tali discussioni sono alla base dell'analisi condotta.

Outline

La tesi è articolata in quattro capitoli e nelle conclusioni.

Nel primo capitolo è introdotto il concetto di appropriazione così come sviluppato dal gruppo di ricerca di Didattica della Fisica dell'Università di Bologna (Levrini *et al.*, 2015). Questo concetto ha ispirato fortemente il percorso qui proposto ed è alla base del tentativo di renderlo operativo.

Nel secondo capitolo è presentato l'approccio ecologico articolandolo in quattro nuclei tematici principali: questi sono stati estrapolati dal testo dell'antropologo Tim Ingold *Antropologia come educazione* (Ingold, 2018) e sono stati utilizzati per sviluppare una serie di altri temi afferenti a diverse discipline.

Nel terzo capitolo è descritto lo studio empirico condotto, basato sulla presentazione del secondo capitolo agli studenti che nell'anno accademico 2020/2021 seguivano il corso

di Didattica della Fisica e sulle interviste individuali condotte con gli stessi. È inoltre specificato il contesto particolare in cui è stato presentato il lavoro per dare un'idea più precisa del background dei partecipanti all'indagine.

Nel quarto capitolo sono presentati i risultati dell'indagine condotta nella discussione collettiva e nelle interviste. In particolare, a partire dalla prima parte dei due momenti (affinità con l'approccio) sono stati ricavati dei criteri con cui analizzare la seconda (operatività dell'approccio).

Nelle conclusioni è discussa l'efficacia dell'approccio proposto alla luce dell'indagine condotta e sono illustrati gli spiragli aperti per possibili studi futuri.

Capitolo 1

L'Appropriazione nella didattica della fisica

Lo studio condotto è stato ispirato ed è strettamente legato al concetto di appropriazione utilizzato in ambito educativo. Il concetto è stato introdotto da Bachtin in studi di linguistica con questa caratterizzazione:

"It [a word] becomes "one's own" only when the speaker populates it with his own intentions, his own accent, when he appropriates the word, adapting it to his own semantic and expressive intention. Prior to this moment [...] it exists in other people's mouths, in other people's contexts, serving other people's intentions: it is from there that one must take the word, and make it one's own" (Bakhtin, 1981, pp. 293–294).

In ambito delle scienze dell'educazione è stato utilizzato per fare riferimento a forme di apprendimento significativo in cui la conoscenza acquisita, "o meglio ancora incarnata", non ancorata ad un piano esclusivamente cognitivo, "si rivela attraverso un'intuizione che ha il potenziale di trasformare fattivamente i modi in cui ognuno di noi si rapporta a se stesso e, al contempo, agli altri e al mondo" (Bonetti, 2019). Questo tipo di apprendimento "comporta una partecipazione globale della personalità del soggetto, [...] ha una reale e profonda incidenza, [...] viene valutato direttamente dal soggetto [...] e la sua caratteristica essenziale è la significatività" (Rogers, 1973).

La caratterizzazione di Bachtin è stata il punto di partenza anche per la ricerca in didattica della scienza e della matematica, che ha utilizzato l'idea per descrivere e interpretare forme di apprendimento che insistessero sul nesso tra i contenuti disciplinari e l'identità (Schreiner and Sjøberg, 2007). Come evidenziato da Lyons (Lyons, 2006) in uno studio comparativo condotto su larga scala sull'appropriazione della scienza insegnata a scuola e successivamente ampliato (Bøe et al., 2011):

students in different educational and national contexts were not only experiencing very similar high school science classes, but identifying similar problems and responding in similar ways (Lyons, 2006, p. 592).

I problemi principali identificati da Lyons sono tre: la percezione di una didattica particolarmente trasmissiva, che attribuisce agli studenti un ruolo passivo-recettivo (*passive-receptive role*); la decontestualizzazione del contenuto didattico che, come evidenziato da Tytler e Osborne, porta paradossalmente alla necessità di distinguere tra l'attitudine alla scienza in generale e quella di cui si fa esperienza a scuola (Tytler and Osborne, 2012); la presenza di complicazioni e difficoltà non necessarie. Ciò blocca modi personali d'indagine e movimento degli studenti, e si riflette in un apprendimento limitato alla sfera meramente cognitiva, in cui i contenuti sono acquisiti e restituiti in modo rigidamente strutturato e non personalizzato. Riprendendo ancora Lyons, questo lascia intuire agli studenti che la scienza "is a body of knowledge to be memorized". Le difficoltà nel partecipare attivamente alle attività didattiche ha anche delle importanti conseguenze culturali, poiché congela la percezione del sapere scientifico in una dimensione puramente tecnica in cui si svolgono delle pratiche meccanicamente, senza essere coinvolti personalmente (Stroupe *et al.*, 2018), mettendo in ombra tutte le altre dimensioni che lo caratterizzano.

A partire da questo problema, il gruppo di ricerca di Didattica della Fisica dell'Università di Bologna ha ripreso il concetto di appropriazione di Bachtin contestualizzandolo nella didattica della fisica. L'obiettivo esplicito dello studio era quello di definirlo in modo più operativo, così da renderlo applicabile nel contesto di una classe reale, e farne uno strumento che permettesse a ricercatori e insegnanti di individuare se e quando gli studenti mostrano di aver fatto proprio un contenuto. Nella realizzazione di questo progetto sono stati utilizzati principalmente tre quadri teorici (Levrini *et al.*, 2020): il modello di ricostruzione disciplinare (Model of Educational Reconstruction MER) elaborato da Duit e colleghi (Duit, 2005), i principi di progettazione per l'inclusione e la centralità della cultura nei processi di apprendimento sviluppati da Nasir e colleghi (Nasir *et al.*, 2006) e la teoria delle classi di coordinazione (Coordination Class Theory CCT) elaborata da Andrea A. diSessa e colleghi (diSessa *et al.*, 2016). Il primo esplicita la necessità di entrare nei contenuti per ri-organizzarli in coerenza con obiettivi formativi specifici. Esso fa leva sulla ricchezza e la complessità delle scienze, caratterizzate da una grande plasticità; a partire da questa risulterebbe possibile creare percorsi didattici maggiormente stimolanti, ricchi e complessi, che risultano particolarmente efficaci proprio perché non cadono in iper-semplificazioni che rischiano di svuotare di senso gli argomenti studiati. Il secondo modello assume che la cultura sia centrale nei processi di apprendimento, e per cultura intende i repertori di pratiche sviluppati e affinati dalle comunità per raggiungere scopi significativi. In questo senso apprendere significa acquisire e adeguare diversi repertori di pratiche culturali muovendosi tra strumenti, discorsi e modi di organizzare attività, personali e delle discipline, in questo caso scientifiche. Nel rispetto di questo

punto di vista, per creare una didattica che possa essere significativa per studenti con diversi interessi culturali, potenzialità e sensibilità, sono stati individuati alcuni principi di progettazione: l'ambiente didattico deve dare un senso di appartenenza e identificazione; la struttura epistemologica della disciplina deve essere esplicitata; gli studenti devono poter sviluppare autonomamente dei percorsi all'interno della disciplina, partecipando ad essa attivamente. Il terzo modello è stato sviluppato nell'ambito del tema della ricerca sul cambiamento concettuale, finalizzata a capire cosa sia un "concetto scientifico", cosa significhi "capire un concetto". Il concetto di base delle classi di coordinazione è costruito per modellizzare l'idea che un concetto sia una struttura cognitiva complessa che "coordina l'attivazione e l'uso di certe risorse in riferimento a determinati contesti". La conoscenza particolare utilizzata in specifiche applicazioni del concetto è chiamata *proiezione del concetto*. Affinché si formi un concetto che abbia la struttura di una classe di coordinazione, la teoria prevede che si possano incontrare due problemi principali: quello dello span e quello dell'alignment. Il primo riguarda la capacità di utilizzare un certo concetto in un vasto numero di diverse situazioni; il secondo consiste nel riconoscere le stesse caratteristiche di un concetto in situazioni differenti.

A partire da questi modelli teorici sono stati sviluppati tre principi per la costruzione di percorsi didattici (*design principle*), che saranno centrali nel prosieguo dello studio: *multiperspectiveness*, *multidimensionality* e *longitudinality* (Levrini *et al.*, 2015).

1. pluri-prospettiva: lo stesso contenuto fisico è analizzato in diversi contesti e con uno specifico modo d'indagine;
2. pluri-dimensionalità: diverse prospettive sono analizzate e comparate su più livelli (e.g. concettuale, tecnologico, epistemologico);
3. longitudinalità: si esplicita come la conoscenza acquisita sia soggetta, nello sviluppo di un percorso, a continui ampliamenti, revisioni e riorganizzazioni; si tiene inoltre aperto un confronto tra diverse teorie (e.g. nei processi di modellizzazione).

Il primo principio, legato al modello delle classi di coordinazione, ha lo scopo di esplicitare le possibilità e le caratteristiche racchiuse in una pluralità di punti di vista su un concetto e sostiene i principi di inclusione di Nasir e colleghi: ciascuno studente potrà risuonare maggiormente con una delle prospettive proposte, che racchiuderà diverse attitudini metodologiche, e a partire da esse sviluppare modi personali d'indagine.

Il secondo principio prende le mosse dal MER e valorizza il concetto della plasticità della disciplina, offrendo un'immagine di fisica ricca e indagabile inseguendo diversi interessi. Anche in questo caso i principi di inclusione sono centrali.

Il terzo principio, che esplicita la struttura epistemologica che regge la disciplina, ne evidenzia i modi peculiari di indagine e le caratteristiche ricorrenti, offrendo di essa un'immagine di conoscenza cumulativa e unitaria ma allo stesso tempo non monolitica.

A partire da questi principi sono stati progettati un percorso di fisica quantistica (Levrini and Fantini, 2013), un percorso di relatività e un percorso didattico in termodinamica (Levrini *et al.*, 2015; 2020). Quest'ultimo è stato quello più studiato ed ha rappresentato la base per elaborare il costrutto dell'appropriazione. Il percorso, in coerenza con i *design principle*, è stato articolato in quattro fasi principali (Levrini *et al.*, 2020): si passa dall'introduzione del concetto di temperatura al primo principio della termodinamica; si presenta il modello microscopico della teoria cinetica dei gas, esplicitandone la struttura epistemologica; si presenta il secondo principio della termodinamica in prospettiva macroscopica; si presenta il secondo principio della termodinamica in una prospettiva microscopica.

Il principio della pluri-prospettiva è stato applicato esplicitando e confrontando l'approccio macroscopico e quello microscopico come due diverse prospettive da cui guardare agli stessi contenuti. Il principio della pluri-dimensionalità è stato applicato confrontando le due prospettive su diverse dimensioni, inclusa quella epistemologica: prima di entrare nel vivo della termodinamica, la proposta di analisi e confronto dei testi originali di autori con prospettive divergenti su certe questioni epistemologiche (il significato di una teoria fisica per Einstein, Poincaré e Drago), ha permesso di esplicitare la possibilità di trovare nella fisica spazi personali. Le due diverse prospettive, macroscopica e microscopica, sono state portate avanti non come percorsi paralleli e intercambiabili attraverso una semplice conversione delle variabili in gioco, ma come percorsi alternativi, caratterizzati da diverse strutture e necessità epistemiche e sottendenti idee di scienza, e dunque prospettive culturali, molto diverse. Queste sono state rese ancora più evidenti dall'utilizzo, nelle lezioni, di termini afferenti a diverse aree semantiche (empirica, ingegneristica, logica, storica, matematica...) corrispondenti alle molteplici sfaccettature dell'argomento trattato. Un continuo confronto con la meccanica ha infine permesso di guardare contemporaneamente a due domini della fisica spesso compartimentalizzati, facendo luce sulle affinità e le divergenze tra essi, ma anche sulla trama della disciplina che, nelle sue specificità metodologiche, emerge in entrambi.

Durante le lezioni è emerso da parte degli studenti un coinvolgimento particolare, oltre che una grande padronanza dei concetti della termodinamica presentati. Uno degli aspetti più sorprendenti è stato il modo personale in cui gli studenti parlavano in classe di certi argomenti, ravvivandoli con significati e narrazioni personali, non "*presi in prestito dalle labbra degli altri*" (Levrini *et al.*, 2015). Si è quindi provato a catturare ciò che era successo, quell'atmosfera, con il termine *appropriazione*, e si è provato a renderlo operativo. Per far ciò sono stati scelti otto ragazzi, rappresentativi di diversità presenti nella classe, e sono state condotte interviste individuali. L'analisi delle interviste ha permesso di rendere operativo il concetto di appropriazione individuando cinque indicatori (marker) che sembravano adatti a catturare la ricchezza e le sfaccettature delle riflessioni dei ragazzi; i marker permettevano di stabilire che l'appropriazione era riconoscibile se i discorsi degli studenti mostravano le seguenti caratteristiche (Levrini *et al.*, 2015):

- (A) presentano una "firma", ovvero un'idea autentica e idiosincratICA ;
- (B) sono fondate nella disciplina;
- (C) sono robuste, ovvero coinvolgono anche la dimensione metacognitiva e quella epistemologica;
- (D) l'uso della'idea idiosincratICA non è incidentale ma ricorrente;
- (E) sono espressione di relazioni sociali-interpersonali.

I marker A e C testimoniano la natura personale dell'apprendimento dei contenuti, che sono popolati di intenzioni, gusti e significati idiosincratICI, cioè legati alla storia di ognuno, ricorrenti nelle argomentazioni. Questi catturano il senso che l'appropriazione ha nel discorso di Bachtin. Il marker B garantisce che il modo in cui i concetti sono stati organizzati in coerenza alla propria idea idiosincratICA rispetti le regole della disciplina, e sia cioè significativo per la fisica. Il marker C esplicita l'importanza di posizionarsi rispetto alla disciplina, e quindi capire cosa significhi per la propria persona l'apprendimento della fisica e con quale immagine della fisica si risuoni maggiormente. Il marker D, infine, esplicita il fatto che un'autentica idea idiosincratICA determini un certo posizionamento nella comunità della classe. A questo punto è stato possibile definire l'appropriazione come un processo complesso e riflessivo (marker C) di trasformazione del discorso scientifico che porta ad incorporarlo nella propria storia personale (marker D). Questo processo:

1. si traduce in un discorso popolato con le proprie intenzioni, gusti idiosincratICI e scopi (Marker A);
2. rispetta le regole e i vincoli della scienza come disciplina (Marker B);
3. ha una natura intrinsecamente sociale (Marker E). È, cioè, significativo sia per se stessi sia all'interno del contesto sociale della classe.

Utilizzando questa definizione e i marker presentati, il concetto di appropriazione è stato testato per analizzare le interviste e, su otto casi, ce n'è uno solo di evidente mancata appropriazione (Levrini *et al.*, 2015). Un altro risulta particolarmente significativo ai fini dello studio condotto: in un primo momento, per l'utilizzo di un linguaggio fortemente ancorato alla disciplina, che non lasciava trapelare proprie inclinazioni, sembrava che ci fosse una grande padronanza dei concetti studiati ma che questi non fossero stati elaborati su un piano personale. Al contrario, conducendo l'analisi attraverso la ricerca di ciascun marker, è risultato come in realtà l'appropriazione fosse molto profonda, ma velata da una naturale risonanza dello studente con il linguaggio e il formalismo della disciplina. Ciò mette in luce le potenzialità di un simile approccio, che permette di cogliere casi di apprendimento significativo anche quando non sono affatto evidenti.

Risulta infine molto interessante l'analisi sugli effetti di ritorno che lo studio condotto ha sui quadri di riferimento teorici brevemente descritti sopra: esso suggerisce infatti affinamenti e ampliamenti che permettono a tali modelli di diventare più precisi e funzionali. Alcuni marker, ad esempio, possono essere visti come strumenti operativi per individuare i principi per l'inclusione di Nasir e colleghi: rispettivamente A, C e D rendono riconoscibili rispettivamente il senso di appartenenza ed identificazione, l'accesso al dominio e la possibilità di vedere possibili traiettorie da percorrere nella disciplina. L'ultimo caso risulta particolarmente significativo in quanto l'atmosfera che si crea in classe, in cui ogni studente è consapevole della propria posizione e del ruolo che ha ai fini della discussione, rispecchia quella che si ha nei dibattiti scientifici, ed è per questo che esplicita la consapevolezza dell'esistenza di potenziali percorsi da intraprendere. La concettualizzazione di un'idea idiosincratica inoltre, chiarisce maggiormente, nel contesto della CCT, quale sia il legame tra la formazione dell'identità e i processi di apprendimento. Essa suggerisce infatti l'esistenza di un particolare tipo di proiezione, quella personale, in cui sono selezionati determinati contesti di applicazione e dettagli di un concetto, coordinati dalle proprie intenzioni, gusti idiosincratici e scopi.

Lo studio sintetizzato risulta particolarmente importante per il percorso di tesi qui presentato: lo scopo di questo è infatti affinare la progettazione di percorsi didattici che possano sostenere questa forma di apprendimento. Tenendo presente i principi di costruzione qui utilizzati, nel capitolo successivo si è provato a sviluppare un riferimento teorico basato sull'antropologia dell'educazione (in particolare sull'ecologia); esso è stato incentrato su alcuni nuclei tematici principali, afferenti quindi ad un settore disciplinare distinto, e per certi versi complementare, a quello della didattica delle scienze. L'idea è che questi possano catturare ed esplicitare certe dinamiche dei processi di apprendimento marginali negli altri framework qui utilizzati, e che quindi, durante la progettazione didattica, possano orbitare intorno ai principi di costruzione visti suggerendo possibili perfezionamenti.

Capitolo 2

Per un approccio ecologico nella didattica STEM

*Statistiquement tout s'explique,
Personnellement tout se complique.*

D. Pennac

La citazione con cui si è scelto di aprire il capitolo (Pennac, 2007) cattura in modo preciso l'esigenza che ha fatto scattare l'interesse per il percorso di ricerca che sarà illustrato. La mancanza di spazi e modi personali d'indagine appare agli studenti come uno dei più grandi limiti delle discipline scientifiche (Bøe *et al.*, 2011), in molti casi affrontate secondo un'impostazione ancorata a modelli didattici trasmissivi (Lyons, 2006). Risulta paradossale che "per una triste ironia [...] ciò che resiste alla modellizzazione è invece ciò che caratterizza la singolarità dell'essere vivente" (Benasayag, 2020). Ne consegue un'esperienza didattica fredda, pensata per l'individuo ma non centrata su esso, e che quindi non può partecipare al suo percorso formativo e di arricchimento identitario (Schreiner and Sjøberg, 2007). Ciò risulta evidente anche da uno studio di Tytler e Osborne (Tytler and Osborne, 2011), che sintetizzando i principali risultati delle ricerche sul problema, identifica le cause elencate in *Tab. 2.1* :

Appare evidente come in esse si mescolino ragioni concettuali, sociali e culturali. Come afferma Bruner queste dimensioni sono profondamente intrecciate e si supportano reciprocamente in modo che

"you cannot strip learning of its content, nor study it's in a 'neutral' context. It is always situated, always related to some ongoing enterprise"
(Bruner, 2004, p. 19).

Non si può prescindere dal contesto di apprendimento, e in particolare dalle dinamiche relazionali che lo abitano e determinano; a partire da queste considerazioni, come

Perceptions of the quality of the science teacher	Attitudes of peers and friends towards science
Anxiety towards science	Attitudes of parents towards science
The value of science	The nature of the classroom environment
Self-esteem at science	Achievement in science
Motivation towards science	Fear of failure in a course
Enjoyment of science	

Tab.2.1: Elementi rilevanti per gli studenti nell'apprendimento delle discipline scientifiche sintetizzati da Tytler e Osborne.

sottolineato da Russ (Russ, 2017), sono stati portati avanti studi incentrati sul modo in cui l'insegnante possa gestire le dinamiche di classe per creare spazi inclusivi per gli studenti. In particolare la ricerca si è soffermata sul tema dell'attenzione come capacità di ascoltare e rispondere in modo significativo e ha provato a definire tale concetto ma, conclude Russ, in modo vago, non esplicito e soprattutto non operativo. Egli porta quindi avanti un'analisi dei diversi modi di prestare attenzione, soffermandosi sul fatto che ciascuno si porta dentro un *epistemic message* che sarà fortemente sentito dagli studenti, indirizzando le pratiche d'aula e quindi l'idea di *scienza nella scuola*.

Il percorso di riflessione che si propone nella tesi prende le mosse da queste considerazioni: a partire da un'analisi del costruito dell'appropriazione (vedi Capitolo 1), sviluppato specificamente per la didattica della fisica, si è cercato di individuare dei nuclei tematici generali, non pensati per una singola disciplina, capaci di catturare il concetto di attenzione e andare anche oltre questo. L'idea è che questi possano contribuire a trasformare le esperienze scolastiche in esperienze vissute, in cui " *si sperimentano problemi e percezioni destinati a non tramontare mai*" (Fabbri, 2005). Il proposito, in sintesi, è mostrare che questi possano orientare le pratiche d'aula affiancando i *design principle* dell'appropriazione, legati alla ricostruzione dei contenuti, nella progettazione di percorsi didattici STEM significativi e attività inclusive e coinvolgenti.

La naturale interdisciplinarietà di un tema vasto come quello dell'educazione, offrendo una molteplicità di prospettive basate su assunti radicalmente diversi, ha permesso di portare avanti la ricerca. Nello specifico, si è seguita la lettura di Tim Ingold di certi temi per poter compattare in essi concetti afferenti a discipline distinte, tra cui spiccano, oltre a quelle STEM, l'antropologia e la pedagogia. L'approccio adottato è basato su una prospettiva *ecologica*, che guarda allo studente come ad un organismo in continua evoluzione esposto agli stimoli dell'ambiente. Tale prospettiva sottende un'idea di identità *relazionale*, legata fortemente all'incontro con l'alterità, che definisce e da cui è definita.

I nuclei tematici individuati sono l'*attenzione*, l'*agencement*, la *scholè* e il *rischio di errare*, e saranno approfonditi nelle sezioni successive. Nell'ultima sezione si presenterà il quadro teorico in una forma compatta, utilizzando un'immagine proposta dal filosofo

dell'educazione Masschelein. A partire da questa sarà più semplice riflettere sul potenziale e l'operatività dell'approccio. Prima di ciò, sembra importante riportare la riflessione dello stesso Masschelein circa la sua interpretazione del termine *educazione* (Masschelein, 2010). Questo è normalmente ricondotto al latino *ducere*, ovvero condurre, da cui il verbo latino educare prende il significato di insegnare, allevare o crescere, restituendo un modello trasmissivo di insegnamento che permette di passare da uno stato di ignoranza ad uno di conoscenza. Considerando invece il verbo come e-ducare, da ex-ducere, ovvero condurre fuori, il significato di educazione si ribalta e, suggerisce Masschelein, " *non sarà più instillare conoscenza nelle menti dei novizi, ma condurre i novizi fuori, nel mondo*". L'obiettivo dell'educazione diventa quindi quello di *esporre*: " *il suo scopo non è instillare coscienza o consapevolezza del mondo che ci circonda, ma è piuttosto spingerci a una corrispondenza con tale mondo. In breve si tratta di prestargli attenzione*" (Ingold, 2018). L'educazione, in definitiva, ha a che vedere con l'attenzione, non con la trasmissione.

2.1 Attenzione

Attenzione, a sua volta, deriva dal latino *ad-tendere*, che significa letteralmente *tendere verso* e suggerisce una partecipazione attiva all'azione cui ci si riferisce. Ingold associa ad esso numerosi altri significati, tra cui si ricordano: *prendersi cura; aspettare; essere presente; procedere insieme*. La coscienza di una mente attenzionale, continua, non è coscienza *di*, che rende oggetto ciò a cui si presta attenzione, ma è coscienza *con*, e pertanto trasforma il "rendere altro da sé" (*othering*) in "prendere con sé" (*togethering*) come complice e compagno di viaggio. In quest'ottica è possibile pensare il prestarsi attenzione di individui o cose come corrispondenza, o meglio *co-respondence*: " *è infatti prestandosi reciprocamente attenzione, mentre procedono insieme, che gli individui corrispondono*". Prendersi cura degli altri significa quindi essere in grado di rispondere ad essi, ovvero essere responsabili (*response-able*): a questo punto, conclude Ingold, " *se l'educazione riguarda il prendersi cura del mondo in cui viviamo e dei suoi innumerevoli abitanti umani e non umani, allora non si tratta tanto di capirli quanto di ristabilirne la presenza, per poter prestare loro attenzione e rispondere a ciò che hanno da dire*". (Su questo si tornerà rispetto al concetto di *scholè*).

Per concludere questa introduzione teorica sul tema dell'attenzione e passare all'analisi di alcune delle conseguenze didattiche, si ritiene molto interessante accennare ad un saggio del filosofo Philippe Gouët (Gouët, 2021); a partire da un'analisi delle esperienze identitarie postcoloniale e femminista sviluppatasi negli ultimi anni, e assumendo la natura *relazionale* e fluida dell'identità, questi afferma che un'alternativa all'imposizione esterna di ruoli e alle sue conseguenze è data dal concetto di *ospitalità*. In linea con il percorso citato, ciò esplicita l'importanza dell'incontro con l'alterità nel processo di formazione identitaria. Si riporta un estratto dell'ultimo capitolo del testo citato:

”La relazione di ospitalità è un’esperienza identitaria e l’apparizione dello straniero non è solo quella dell’altro in casa propria, ma è quella dell’altro in sé. [...] L’ospitalità è dunque un’esperienza condivisa di identità fragili e incerte. Accogliere l’altro non significa, quindi, rischiare di sparire? Per essere sé stessi non occorre chiudere le porte allo straniero che si presenta? La risposta che il paradigma dell’ospitalità offre è la seguente: è nel rifiuto dell’Altro che si rischia di perdersi e nell’apertura all’Altro che si è sé stessi, dal momento che ‘nell’altro si scopre la propria immensità’ ”(Gouët, 2021, p. 76).

Prestare attenzione come prendersi cura ha dunque una molteplicità di implicazioni. Innanzitutto è fondamentale che l’insegnante si prenda cura di ciò che intende insegnare; contestualizzando Kierkegaard in ambito educativo, Fabbri si riferisce a ciò introducendo il concetto di *serietà* (Fabbri, 2005). Essere seri in questa prospettiva significa *”riuscire a permanere in una condizione di intensità espressiva, nonostante lo sforzo, la fatica e il rispetto di impegni anche quotidiani che questa condizione comporta.[...] È grazie alla serietà che diviene possibile un’esperienza della permanenza che non si limiti ad invecchiare e a deteriorarsi, ma che, come la vita stessa, sappia crescere rinnovando le proprie strutture e direzioni di senso, in modo tale da far coesistere continuità e capacità di trasformazione”*. Rinnovarsi continuamente, dunque, anche avendo a che fare sempre con gli stessi concetti, risulta fondamentale ai fini di un’autentica partecipazione dell’insegnante alle pratiche d’aula. Prendersi cura di un concetto significa inoltre, nel corrispondere con esso, riconoscere serenamente i propri limiti e le difficoltà che si incontrano e anzi, prendersi cura anche di esse, da soli e in classe. Questo risulta essere un punto centrale per Emma Castelnuovo (Castelnuovo, 2007). Appare quindi esplicita l’importanza di coltivare una dimensione personale della disciplina, che non deve parlare solo agli studenti ma prima di tutto agli insegnanti.

Il prendersi cura dell’altro apre ad un altro tema di radicale importanza: l’empatia. Con praticare l’empatia *”si intende la capacità umana di sentire, di instaurare un contatto, uno scambio e, di conseguenza, di gestire attivamente la relazione con l’altro, il che implica necessariamente il viverci come persone per riconoscere negli altri la qualità di persone.”* (Bonetti, 2019). Senza empatia risulta impossibile essere presenti per l’altro, e di conseguenza viene meno ogni esperienza che possa essere significativa: ciò esplicita l’importanza della dimensione umana nelle pratiche di classe; senza di essa, infatti, sentirsi coinvolti in esperienze didattiche risulta estremamente complicato, e il rischio è quello di compartimentalizzare la conoscenza acquisita, rendendola non significativa per sé stessi. Il docente è quindi *”chiamato a praticare l’ascolto attivo con i suoi allievi e per farlo, è necessario che si presenti come un esempio credibile di sensibilità e umanità e su questo non è possibile barare.”* (Bonetti, 2020). Risulta a questo punto particolarmente opportuno citare Rogers (Rogers, 1973):

”Se non presteremo una grande attenzione all’aspetto interpersonale e

umano del problema educativo, la nostra civiltà andrà in rovina. Migliori corsi, migliori programmi, migliori piani di studi, migliori macchine per insegnare non risolveranno il problema in modo radicale. Soltanto persone che si comportino da persone nei loro rapporti con gli studenti, potranno incominciare a impostare la risoluzione di questo urgentissimo problema dell'educazione moderna" (Rogers, 1973, pp. 9-10).

Un'ultima riflessione sul tema dell'attenzione riguarda infine la relazione che si instaura tra studenti (la relazione con l'oggetto di conoscenza è approfondita nel terzo paragrafo). Come si vedrà nel capitolo 4, questa risulta centrale in diverse esperienze positive e negative, ed una comunità libera, aperta e rispettosa, che faccia sentire l'ambiente scolastico come un luogo sicuro in cui crescere e sviluppare la propria identità, risulta essere imprescindibile. Appare quindi fondamentale una vera e propria educazione dell'attenzione verso l'altro, con cui corrispondere e procedere nella ricerca, che possa rendere la relazione interpersonale una pratica fondamentale per fare esperienze, arricchirle di significati e viverle secondo una molteplicità di prospettive (Nasir *et al.*, 2006).

Risulta evidente, ancora citando Ingold, che *"le operazioni della mente attentiva sono ecologiche, non cognitive"*, e che l'esperienza della lezione *"non è un'esperienza solo cognitiva, ma è legame, è relazione, è un abbraccio"* (Bonetti, 2020). La grande sfida, riprendendo Gouët, è in conclusione quella di creare una comunità accogliente e inclusiva per ciascuno studente, capace di aprire le porte, lasciar entrare e ospitare la disciplina.

2.2 Agencement

Il concetto di educazione come esposizione pone il soggetto, coerentemente alla prospettiva ecologica, al centro di una molteplicità di stimoli che, prodotti dall'ambiente, lo influenzano e formano ininterrottamente. Per catturare questa idea Deleuze e Guattari hanno introdotto il termine *agencement*, e anche qui, sempre seguendo Ingold, vale la pena soffermarsi sull'origine della parola per provare a coglierne la pregnanza semantica. Un primo significato deriva dal sostantivo *agency*, con cui si intende la facoltà di intervenire sulla realtà esercitando un potere causale. La prospettiva adottata, che guarda al soggetto come a qualcosa di fluido, in continuo divenire, sembra però stridere con la padronanza del proprio atti sottesa al concetto di agentività; da ciò scatta la necessità di tradurre il sostantivo in verbo per cogliere la dinamicità del processo: *agencement*, traducibile come *diventando agente*, fa esattamente questo. Allo stesso tempo esso può essere associato anche al verbo francese *agencer*, traducibile come *strutturare* o *assemblare*, che si riferisce all'azione di creare un sistema coerente mettendo insieme parti che hanno una relazione unicamente esteriore. Anche in questo caso il passaggio al gerundio sospende la realizzazione dell'azione, che sarà sempre mancata, e il movimento dell'*agencement*

diventa un movimento di liberazione "dalle determinazioni dell'articolazione esteriore", che consente agli elementi costitutivi di "abbandonarsi al movimento compositivo della corrispondenza affettiva".

Il concetto è ben sintetizzato in una metafora sviluppata nel celebre *trattato di nomadologia* (Deleuze and Guattari, 1980): mentre l'agency implica tagli decisionali netti e predeterminati, come quello che si può realizzare tagliando trasversalmente un tronco con una sega, nell'agencement la decisione è presa all'*interno* del taglio, non prima. È come tagliare un pezzo di legno longitudinalmente con un'ascia, seguendo la riflessione di Ingold si apre il legno "dall'interno, lungo una linea fibrosa che non ho tracciato io ma che si è formata nel tronco durante la sua crescita, quando era un albero vivo". La decisione emerge in questo caso dall'interazione di molteplici fattori, legati al legno, all'ascia e alle forze presenti nel momento in cui si sono incontrati. Sintetizzando con le parole di Deleuze e Guattari: "questa materia-flusso può soltanto essere seguita". L'abilità, continua Ingold, consiste allora "non nell'imporre una forma esteriore alla materia arrendevole, ma nel trovare la fibra delle cose e rivolgerla verso uno scopo in costante evoluzione".

Prima di analizzare le implicazioni che tale concetto ha nel campo della didattica delle scienze, vale la pena soffermarsi su un piano più generale per provare a cogliere le potenzialità che emergono da un concetto sotteso all'idea di agencement: la *fragilità*. Il *becoming agent*, evidentemente, sferra un duro attacco al paradigma dell'assertività e dell'intenzionalità, che vedeva l'uomo moderno come agente attivo ed il suo procedere come un imporre forme e modelli prestabiliti sull'ambiente circostante. Al contrario, il paradigma dell'attenzione, come visto, sospende le azioni che saranno sempre in divenire, mai finalizzate a qualcosa e anzi, irrimediabilmente precorritrici di nuovi inizi. Citando ancora Benasayag: "Noi rivendichiamo il diritto alla fragilità e il diritto all'essere inutili, specialmente in ambito educativo. [...] Accettarla significa accettare il nostro essere come divenire" (Benasayag, 2020). Non la forza, continua Fabbri, "ma la fragilità della nostra specie è stata la molla dell'evoluzione verso orizzonti di creatività e imprevedibilità evolutiva, e tali orizzonti s'impongono come tanto più efficaci quanto meno appaiono perfetti e risolti in sé stessi." (Fabbri, 2018). Accettare la fragilità come cifra ontologica dell'essere umano significa quindi mettere da parte ogni modello trasmissivo di conoscenza e allo stesso tempo liberare la creatività dell'individuo, permettendogli, nelle pratiche educative, di essere realmente presente. Solo seguendo l'inclinazione degli studenti, i loro modi d'indagine e i loro stili cognitivi e rivolgendoli verso *uno scopo in continua evoluzione* è possibile partecipare attivamente al loro percorso formativo, e in questo appare evidente che gioca un ruolo sostanziale anche l'empatia.

L'agencement si vive dunque in un equilibrio dinamico tra subire l'azione dell'ambiente e agire in esso, in quel momento che Ingold definisce *fare nel subire*. Questo continuo passaggio tra azione e passione, tra l'essere con l'altro e l'essere con sé dell'altro è meravigliosamente descritto da Ingold nel suo *The life of lines*:

"Il secondo modo di "stare con", potremmo dire, è appassionato. È un'i-

nalazione dell'essere, un'invasione di coscienza. Ma il primo si esprime in attività, in un movimento di percezione mirato, lanciato - proprio come lo sono le parole dette - sulla corrente dell'esalazione. L'uno riunisce e contrae il mezzo in cui sono immerso, tenendolo in tensione come la pausa di un respiro trattenuto, o di una bolla prima che scoppi. L'altro libera la tensione lanciando in avanti una linea di crescita o di divenire. [...] Di fronte a sé c'è una consapevolezza che sente la direzione di avanzamento; a sollevare la parte posteriore è la pesantezza di un corpo che ha assorbito il mezzo della sua sussistenza, come la carta, per esempio, assorbe l'inchiostro a formare una macchia quando la penna è passata" (Ingold, 2015, p. 141).

Questo movimento di inalazione e di esalazione, di tensione e di rilassamento, ricorda molto la metafora del "tirare e mollare la corda" utilizzata dalla professoressa che ha partecipato, con la sua classe di liceo, allo studio sull'appropriazione; in un'analisi portata avanti per cogliere il suo modo di tenere viva l'attenzione degli studenti e orchestrare le dinamiche della classe (Levrini *et al.*, 2019), essa sottolinea l'importanza di questa alternanza per le sue pratiche d'aula. Anche l'idea di fare ricerca del chimico Friedrich August Kekulé, nobel per la chimica, appare coerente con quanto visto; in una conferenza organizzata in suo onore, rivolgeva questo invito ai giovani scienziati:

"He [the researcher] must follow the paths of the Pathfinders. He must note every footprint, every bent twig, every fallen leaf. Then, standing at the extreme point reached by his predecessors, it will be easy for him to perceive where the foot of a further pioneer may find solid ground" (Benfey, 1958).

Appare evidente che un simile ricercatore vive nell'agencement, non nell'agency: è solo prestando attenzione a ciò da cui si è circondati, esponendosi a tutti gli stimoli dell'ambiente e rispondendo ad essi, che è possibile trovare un percorso che è il proprio percorso e che sarà quello di un pioniere. L'idea di *pathfinder*, in cui come dice Ingold "ogni passo è un momento di esposizione", rimanda ad un'altra sua riflessione (Ingold, 2013) in cui, sempre contestualizzando il pensiero di Deleuze e Guattari e parlando di agencement afferma: "si tratta non di una iterazione di passi ma di una itinerazione: produrre è un viaggio e chi produce è un girovago [...]. Ogni passo muove da quello precedente e verso quello successivo, su un itinerario che non raggiunge mai la destinazione prefissata". Una tale prospettiva risulta anche molto più vicina alla vera ricerca scientifica, in cui si procede passo dopo passo, prestando attenzione a ciò che succede e senza aver paura di deviare dal percorso intrapreso, aprendo incessantemente a nuovi orizzonti di significato. Anche la storia della scienza conferma tutto ciò, opponendo all'idea che si lascia spesso tacitamente passare di una scienza lineare, incorruttibile e definitiva, quella di una scienza umana, portata avanti con grande fatica, complessa e sempre aperta a nuovi significati e a stravolgimenti. L'idea di *itinerazione* sembra anche coerente con gli studi sull'*epistemic agency* (Scardamalia, 2000), in cui si esplicita l'importanza di

lasciare agli studenti lo spazio e la responsabilità di portare avanti lo studio affrontando problemi secondo indagini personali, affinando teorie autonomamente e mettendole alla prova o verificandone la funzionalità in domini distinti. Un tale esercizio è possibile solo se gli studenti si sentono autorizzati e liberi di intraprendere i *propri* percorsi: questo tema sarà al centro del prossimo paragrafo; nel frattempo sembra particolarmente opportuno accennare al ruolo degli insegnanti ricordando una celebre affermazione di Deligny, che riferendosi all'educazione dell'infanzia, ma in un modo che risulta facilmente generalizzabile, diceva:

"Bisognerà, se acconsentite, liberare i bambini [...], e mettere accanto a loro educatori dalla presenza discreta, provocanti gioia, sempre pronti a rimodellare la morbida argilla, vagabondi efficaci pieni di stupore per l'infanzia" (Deligny, 1947, p. 148).

2.3 Il rischio di errare

Come visto nel paragrafo precedente, prestare *attenzione* al mondo, ovvero essere presenti con esso, implica farlo secondo la fluidità dell'*agencement* in percorsi che non possono essere di iterazione ma solo di *itinerazione*: vagabondare, dunque, diventa una pratica educativa fondamentale, anzi, l'unica che possa dirsi significativa per la formazione del soggetto. Vagabondare o, per dirla in altri termini, *errare*: appare particolarmente interessante riflettere sulla polisemia di questo verbo (Bonetti, 2020); se da un lato esso indica un fluido procedere, senza direzioni obbligate o percorsi prestabiliti, dall'altro mette il fuoco sull'errore, che sembra essere inestricabilmente connesso al primo significato. Lo sbaglio diventa elemento fondante di un autentico modo di procedere e dunque è intrinseco a forme di apprendimento significativo, e ancora una volta sottolinea come ciò che conta ai fini della formazione sia il processo, non il risultato. Risulta quindi evidente che rendere l'errare una pratica educativa centrale richiede innanzitutto un ripensamento dell'ambiente didattico: affinché gli studenti corrano il *rischio di errare*, esponendosi in prima persona e con tutta la propria fragilità davanti agli altri, agli insegnanti e a sé stessi, è fondamentale che si sentano al sicuro, non esposti al loro giudizio o, ancora peggio, alla loro valutazione.

Uno studio di Beghetto aiuta a far luce sugli elementi che possono contribuire a consolidare questa cultura dell'errore nelle discipline scientifiche (Beghetto, 2008): definendo l'*Intellectual Risk Taking* (IRT) come "*engaging in adaptive learning behaviors (sharing tentative ideas, asking questions, attempting to do and learn new things) that placed the learner at risk of making mistakes or appearing less competent than others*", e conducendo diverse indagini su numerosi campioni di studenti, egli ha individuato alcuni fattori che contribuiscono all'IRT; tra i principali si ricordano l'abilità nel manipolare concetti, l'interesse per la disciplina, la fiducia nella propria creatività e la percezione del supporto dell'insegnante quando si espongono delle idee o si avanzano delle proposte

per risolvere problemi. Un dato particolarmente rilevante è che l'abilità non risulta più significativa per l'IRT nel caso in cui ci siano interesse per la disciplina e fiducia nella propria creatività: ciò conferma che l'essere più o meno predisposti non basta, di per sé, ad una partecipazione attiva alla disciplina, e che al contrario, se si riescono a toccare i tasti dell'interesse e della motivazione personale si aprono anche le porte al conseguimento di certe abilità. Un altro dato significativo è che l'IRT è meno presente con il crescere dell'età: ciò mette l'accento sul fatto che la cultura dell'errore deve essere sostenuta da subito, per evitare che modi non personali di apprendere si consolidino portando ad una compartimentalizzazione della conoscenza acquisita. Il ruolo dell'insegnante, quindi, è di grande importanza per creare un ambiente didattico inclusivo e partecipativo: ciò appare possibile solo stimolando la fiducia nella propria creatività, supportando gli studenti e provando a cogliere i loro reali interessi in modo che essi, per usare le stesse parole di Beghetto, " *si sentano costretti ad intervenire*".

Uno studio rilevante di Kapur e Bielaczyc (Kapur and Bielaczyc, 2011) riguarda il *productive failure*: riconoscendo un grandissimo divario tra l'apprendimento significativo e la semplice performance, i due ricercatori hanno progettato e testato percorsi che non hanno obiettivi didattici specifici ma sono centrati su speculazioni che prendono le mosse da formule errate o ipotesi infondate. Ciò che emerge dalla loro ricerca è che tali pratiche, che non si prestano chiaramente ad essere valutate essendo completamente centrate sul processo, permettono agli studenti di mettere in atto e rafforzare abilità che risultano essere centrali nella ricerca scientifica.

Quanto visto sull'errore si coniuga perfettamente con l'importanza dell'errare come vagabondare: ciò risulta possibile solo seguendo i propri percorsi, guidati da interessi e ragioni personali e ammettendo in essi gli errori come fari o punti di partenza per nuovi inizi, più che come fallimenti e congelamenti dei percorsi intrapresi. A questo proposito sembra importante fare ancora riferimento al ruolo che ha l'insegnante nel supportare gli studenti e lasciare loro la possibilità di seguire le proprie inclinazioni: risulta particolarmente interessante fare ciò a partire da uno studio sulle strutture che reggono i modi d'indagine messi in atto dagli studenti nell'approcciarsi alla risoluzione di problemi, in questo caso di fisica (Tuminaro and Redish, 2007); definendo un *epistemic game* come: " *a coherent activity that uses particular kinds of knowledge and processes associated with that knowledge to create knowledge or solve a problem*", gli autori hanno provato ad esplicitare tali strutture analizzando delle registrazioni dei ragionamenti messi in atto nella risoluzione di problemi da alcuni studenti. Appare rilevante che spesso gli studenti non riescano a passare da un *epistemic game* all'altro, in particolare quando pensano che ci sia un *giusto* modo di procedere e che l'insegnante si aspetti che loro mettano in atto proprio quello: ciò irrigidisce i ragionamenti in certe strutture ed impedisce ad essi di fluire attraverso l'una o l'altra in modo personale e originale. Lasciare spazio all'errore, dunque, significa anche chiarire che non c'è una sola via per procedere, che bisogna diffidare di soluzioni rapide o preimpostate che non coinvolgano la propria riflessione direttamente.

Concludendo con una riflessione sulle scienze, appare ancora una volta evidente come l'errore e l'errare abbiano un ruolo fondamentale, in quanto alla base di ogni forma di indagine: come afferma Ingold (Ingold, 2018), *"l'obiettivo della sperimentazione paziente non è mettere alla prova un'ipotesi pre-concetta, ma aprire una strada e seguirla ovunque essa porti"*. Sembra infine interessante citare Emma Scorza che, in uno dei saggi proposti nella raccolta *Far volare i banchi*, dice:

"È, quindi, l'allievo che si 'allena' a non sbagliare mai quello che 'colleziona' il minor numero di esperienze di apprendimento, in quanto è proprio l'errore che permette di uscire dalle nostre cornici di riferimento per divenire più consapevoli. Pertanto, se riconosciuto nel suo valore costruttivo, esso cessa di essere un'ordalia e non è più vissuto come un'onta" (Bonetti, 2020, p. 167).

2.4 Scholè

È particolarmente affascinante e sorprendente che il termine scuola derivi dal greco *scholè* che vuol dire letteralmente tempo libero e quindi, riflettono Masschelein e Maarten, *"tempo senza destinazione, senza scopo o fine"* (Masschelein and Maarten, 2013). Nell'antica Grecia il tempo della scuola era il tempo in cui gli studenti sospendevano gli ordini gerarchici che definivano il loro vivere e si immergevano, in una comunità alla pari che coinvolgeva anche gli insegnanti, in una ricerca a sua volta liberata, de-destinata (*un-destined*), in cui speculare liberamente, senza vincolare il pensiero alla concettualizzazione e seguendo le proprie inclinazioni. La scuola di oggi, continuano Masschelein e Maarten, appare lontanissima da quella: strettamente legata alla società e alle sue necessità produttive, non apre spazi di libertà ma impone ruoli e vincola la fluidità del pensiero ed è diventata a sua volta un bene di consumo, perdendo completamente lo spirito con cui era nata. È una scuola de-scolarizzata (*de-schooled school*), concludono i due, sulla cui analisi torneremo nell'ultima parte del paragrafo, asservita alla società e che quindi non apre a prospettive di cambiamento su di essa, lasciando gli studenti con addosso un senso di immobilità, di impotenza e di stanchezza. Il tutto è ben sintetizzata da Han, che dice:

"La rumorosa società della stanchezza è sorda. La società a venire potrebbe invece chiamarsi società dell'ascolto e dell'attenzione. Oggi è necessaria una rivoluzione del tempo che dia inizio a un tipo di tempo completamente diverso. Si tratta di scoprire di nuovo il tempo dell'Altro" (Han, 2017, p. 100).

Tornando alla scuola come *scholè*, essa appare uno spazio sospeso rispetto alla società ma non distaccato da essa: non è una bolla al cui interno si agisce indossando delle

maschere che, al suono della campanella, sono tolte per ritornare alle usuali convenzioni sociali; è invece uno spazio trasformativo, che permette di vivere esperienze segnanti e formative che danno strumenti da utilizzare criticamente nella realtà. Lo studio, in questo senso, non è lineare, non porta al passaggio da uno stato di ignoranza ad uno di conoscenza: seguendo Ingold non è intermedio (*intermediate*) ma nel mezzo (*in-between*) o, per utilizzare un termine più specifico, è un *milieu*; la definizione che ne da Serres è la seguente:

”La lingua francese definisce la parola milieu come un punto o un filo quasi assente, come un piano o una varietà senza spessore nè dimensione alcuna, eppure, improvvisamente, come la totalità del volume dove noi viviamo: il nostro ambiente naturale. Nuovo rovesciamento: dal mi-lieu (luogo di mezzo), piccola località esclusa, non interessata, pronta a svanire, al milieu, come universo attorno a noi” (Serres, 1992, p.78).

Invitando a considerare l'apprendimento come il passaggio da una riva all'altra di un fiume, Serres suggerisce di pensare allo studente come ad un nuotatore, che nel bel mezzo del fiume si ritrova travolto da un'altra corrente, testimone di un secondo fiume di cui però le persone sulle rive non sanno nulla: questo non offre appigli, non ha orientazioni o destinazioni ma rende tutte le orientazioni e le destinazioni possibili, è nel mezzo, ovvero letteralmente un milieu, e per utilizzare le parole di Ingold *”esplosione in un intero cosmo che lo avvolge [lo studente] e che lo precipita verso il suo centro”*. Questa immagine riesce a restituire alla scuola tutto il suo potenziale, che può essere sviluppato in esperienze significative e radicali per gli studenti. Riprendendo una riflessione di Walter Benjamin, Rosa distingue due espressioni tedesche per parlare delle esperienze vissute: *Erlebnissen* e *Erfahrungen* (Rosa, 2010); con il primo termine ci si riferisce ad episodi puramente esperenziali, che non lasciano traccia nella memoria, non hanno valore formativo e seppure di breve durata sembrano non finire mai. Rosa parla di *long-short experiences*. Con il secondo, al contrario, ci si riferisce ad esperienze significative e segnanti, che partecipano attivamente alla formazione della propria identità e che, anche se di lunga durata, sembrano passare in pochissimo tempo. In questo caso parla di *short-long experiences*. Il tempo della scuola, dunque, dovrebbe essere il tempo dell'*erfahrungen*, in cui maturare esperienze profonde che permettano di crescere e aprire orizzonti di significato e di azione rivolti verso il futuro.

A partire dal concetto di *future shock* (Toffler and Toffler, 1970), riferito al senso di confusione indotto da un'evoluzione tecnologica tanto rapida da rendere impossibile una metabolizzazione cognitiva al passo con essa, Rosa definisce la società contemporanea *società dell'accelerazione*: si vive immersi in un'accelerazione tecnologica, sociale e del ritmo della vita. Una tale frenesia, tuttavia, non risulta direzionale e corrisponde ad una sorta di inerzia in cui tutto si muove ma tutto resta fermo. La conclusione è che oggi si vivono esclusivamente *short-short experiences*: queste passano rapidamente e

non contribuiscono in alcun modo alla formazione della propria identità, non riuscendo a risultare significative per sé. Ciò determina quella che Rosa definisce *alienazione dal tempo*, strettamente legata all'alienazione dagli altri e all'alienazione da sé. Da qui prende le mosse lo studio condotto dal gruppo di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Bologna sui concetti di *Present Shock* e *Time Re-appropriation* (Levrini *et al.*, 2020). Portato avanti durante la prima ondata della pandemia, in questo ci si è interrogati su come il processo epocale in atto stesse influenzando la gestione del tempo, e dunque delle esperienze, degli studenti liceali, e in modo particolare quale contributo potessero dare in questo senso le discipline scientifiche. La consapevolezza di star vivendo un'epoca di transizione fondamentale e la mancanza di squarci sul futuro è stata definita, in continuità con quanto visto, *Present Shock*. Lo stravolgimento della quotidianità degli studenti e delle persone in generale ha determinato una riscoperta del tempo e del suo valore, anche nella prospettiva di creare spazi d'azione per contribuire alla strutturazione del proprio futuro: paradossalmente si è passati dall'alienazione del tempo ad una involontaria riappropriazione dello stesso. Nello studio condotto ci si è dunque interrogati su quale valore potessero avere in questo processo le discipline scientifiche, che sono naturalmente orientate al futuro, per gli studenti. Attraverso l'analisi di interviste portate avanti con dei ragazzi liceali e basate su una rivisitazione dei marker dell'appropriazione, si è quindi provato a comprendere come lo studio di queste avesse contribuito al processo di riappropriazione del tempo. La conclusione, vista come una grande occasione mancata, è che nello studio delle scienze si tendono a creare delle bolle rituali che ispirano un senso di certezza e normalità e che risultano distaccate dalla realtà: le risorse acquisite non sono utilizzate per interpretare i fenomeni coinvolgenti la società e per orientarsi di conseguenza nel futuro. Ciò che manca è quella pulsione trasformativa successiva all'esplosione della bolla che, come visto, *"libera la tensione lanciando in avanti una linea di crescita o di divenire"*.

Tornando all'analisi di Masschelein con cui si è iniziato il paragrafo: se da un lato la scuola deve essere sospesa, distaccata dalla società, dall'altro proprio per questo deve poter offrire su di essa nuove prospettive e strumenti per perseguirle. Ciò può realizzarsi solo a partire da particolari esperienze:

"These are the rather rare but always magical moments when students and teachers are carried away outside – the classroom door shuts and the teacher calls for silence and attention. But secondly, something is allowed inside: a diagram on the board, a book on the desk, words read aloud. Students are drawn from their world and made to enter a new one. Thus, on one side of the coin there is a suspension, that is, a rendering inoperable, a liberation. On the other, there is a positive movement: the school as present tense and middle ground, a place and time for possibilities and freedom" (Masschelein and Maarten, 2013, p.38).

Quanto illustrato porta a ritenere quanto, nella scuola, possa essere importante un movimento di liberazione delle cose: distaccate da un loro uso comune esse devono essere *rese pubbliche*, ovvero disponibili per un nuovo uso, e questa è la condizione che rende l'esperienza autentica. A questo movimento se ne affianca uno positivo, che renda possibile una riappropriazione di esse. Allo stesso processo allude Husserl introducendo il concetto di *epoché* ma ribaltando la prospettiva: non bisogna liberare le cose ma sé stessi. Per utilizzare le parole di Fabbri (Fabbri, 2012) "*l'epoché si configura come processo di spoliazione della personalità da tutti i suoi abiti mentali e culturali consolidati: spoliazione necessaria a 'svuotare' la mente del soggetto conoscente e a ridurlo, tendenzialmente, al silenzio, sì da consentire all'altro soggetto - quello che si vorrebbe conoscere - di apparire nella sua essenza più autentica, in un contesto che gli consenta di esprimersi, raccontarsi, rivelarsi senza interferenze*".

Ma come è possibile realizzare tutto ciò? La risposta di Masschelein e Maarten è netta: "*by turning something into play*". Sembra dire la stessa cosa il filosofo Jacques Rancière (Rancière, 1991) quando parla dell'importanza di *fare poesia* con le cose: "*In the act of speaking, man doesn't transmit knowledge, he makes poetry. [...] He communicates as an artisan: a person who handles words like tools*". Volendo generalizzare possiamo infine utilizzare il concetto di *esperienza estetica*, contestualizzato da Wickman (Wickman, 2006) nella didattica delle scienze e visto come un ingrediente fondamentale in esse, alla base degli incontri e delle negoziazioni che gli studenti hanno in classe.

In conclusione l'idea di scuola come *scholè*, spazio fondamentale per coltivare l'*erfarhungen* e permettere agli studenti di riappropriarsi del proprio tempo e quindi del proprio futuro, è inestricabilmente connessa al ruolo dell'insegnante: è infatti a partire dalla sua abilità nell'*utilizzare le parole come un artigiano usa i suoi strumenti* che risulta possibile appropriarsi davvero di qualcosa e renderlo significativo per sé stessi.

2.5 La conoscenza sul tavolo

I nuclei tematici individuati in questo percorso e trattati separatamente sono invece strettamente intrecciati: risulta difficile parlare dell'uno senza riferirsi all'altro, e si è fatta questa scelta, a tratti forzandola, nel tentativo di rendere la trattazione più lineare e soprattutto più operativa possibile. Una riflessione finale di Masschelein e Maarten aiuta a ricompattare il tutto in un quadro, che permette di riattraversare sinteticamente quanto visto e di catturarne efficacemente le potenzialità. Riprendendo il concetto di *scholè* essi affermano:

"What the school does is to bring something into play or to make something into play [...]. Important here is that precisely by turning something into play, it is simultaneously being offered up for free and novel use. It is being unhanded and placed on the table. That is to say, something (a text, an action) is being offered up and simultaneously becomes separated from its

function and significance in the social order; something that appears in and of itself, as an object of study or practice, regardless of its appropriate use (in the home or in society, outside the school). When something becomes an object of study or practice, it means that it demands our attention; it invites us to explore it and engage it, regardless of how it can be put to use” (Masschelein and Maarten, 2013, p. 40).

La scuola, di conseguenza, diventa il luogo in cui gli oggetti di conoscenza sono liberati dal loro uso comune, sottratti dalle mani degli altri (*unhanded*), e messi su un tavolo. Il processo di liberazione o, come visto, di *resa pubblica*, consiste nel rendere il concetto un gioco, una poesia: nel renderlo fulcro di un’esperienza estetica. A quel punto, liberato, sarà pronto per un nuovo uso e gli studenti potranno attendere ad esso, prendendosene cura secondo la fluidità dell’*agencement*, rigirandoselo tra le mani, guardandolo da una molteplicità di prospettive oltre che con gli occhi degli altri e, soprattutto, dell’insegnante: nel mettere l’oggetto sul tavolo l’insegnante deve metterci infatti anche sé stesso, mostrandosi come *un esempio credibile di sensibilità e umanità* e lasciando trasparire le proprie passioni, i propri interessi ma anche le proprie sofferenze e le proprie noie. Bisogna quindi lasciare gli studenti *errare* intorno al tavolo, dargli lo spazio per seguire i propri percorsi e lasciare che questi si intreccino a quelli degli altri, in esperienze profondamente inter-relazionali. In questo modo la scuola diventa *scholè*, luogo di cura in cui coltivare *il tempo dell’altro* e maturare esperienze profonde e significative o *erfarhungen*, e lo studio diventa a sua volta gioco, poesia, esperienza estetica, ” *It’s talking and walking around with other people, working, dancing, suffering, some irreducible convergence of all three*” (Harney and Moten, 2013).

Per comodità del lettore si conclude il capitolo con la tabella seguente (Tab 2.2) che sintetizza brevemente i nuclei tematici sopra descritti.

Nucleo tematico	Significati principali	Concetti chiave
Attenzione	Prendersi cura, attendere a, proseguire con, tendere verso.	Response-ability, co-respondence, ospitalità, serietà, empatia, umanità
Agencement	<i>Diventando agente</i> : agency fluida, esposta agli stimoli dell’ambiente e in continua evoluzione di pari passo con l’identità.	Fragilità, fare nel subire, <i>pathfinder</i> , epistemic agency, itinerazione.
Rischio di errare	Importanza formativa di assumersi il rischio di errare come sbagliare e come vagabondare.	Errore, Intellectual Risk Taking, epistemic game, esperienza.
Scholè	Scuola come sede del tempo libero e liberato, in cui speculare senza vincoli e riappropriarsi di contenuti.	tempo dell’Altro, milieu, <i>erfarhungen</i> , time re-appropriation, rendere le cose pubbliche, mettere in poesia/esperienza estetica.

Tab.2.2: Descrizione sintetica dei nuclei tematici individuati

Capitolo 3

Contestualizzazione e metodologia dello studio

In questo capitolo si descrive il contesto in cui è stato realizzato lo studio ed il modo in cui è stato strutturato. Esso è stato sviluppato in due momenti distinti: uno collettivo, il 14 aprile 2021, in cui è stato presentato il percorso descritto nel capitolo 2, ed uno individuale, la prima settimana di agosto del 2021, in cui due studentesse e sei studenti, essendosi sentiti particolarmente vicini all'approccio visto, si sono resi disponibili a partecipare a interviste per approfondire le loro sensazioni e idee al riguardo. In entrambi i momenti l'indagine è stata incentrata su due nuclei di domande: uno relativo alla vicinanza con il percorso visto, anche tenendo conto delle esperienze vissute, e l'altro relativo alla sua operatività, in cui si sono provate a sviluppare proposte concrete. Per comodità questi obiettivi possono essere sintetizzati in due domande di ricerca:

- *RQ1*: Il percorso introdotto descrive dinamiche e sensazioni ritenute importanti per un apprendimento che sia significativo per sé? Ci sono specificità della disciplina che ne rendono l'adozione più o meno vantaggiosa?
- *RQ2*: Che cosa può significare concretamente realizzare proposte nell'insegnamento della fisica che siano coerenti con il percorso introdotto? Perché e in che modo i nuclei tematici descritti potrebbero suggerire vie significative per la realizzazione di queste esperienze?

Come si vedrà nel corso dell'analisi, i contributi a queste due domande ne solleciteranno una terza:

- *RQ3*: Perché e in che modo i nuclei tematici individuati possono integrare i *design principle* dell'appropriazione nella progettazione di attività didattiche?

Come accennato nell'introduzione, l'idea di presentare il percorso è nata dopo molte riunioni con Francesco, uno studente con cui ho iniziato in parallelo il mio percorso di

tesi e con cui condividevo l'interesse per il ruolo degli studi sull'identità nella didattica della fisica, la professoressa Levrini e la dottoressa Satanassi: si è discusso a lungo, a partire dalla letteratura di ricerca, dell'importanza di adottare approcci alla didattica fortemente interdisciplinari, delle sue potenzialità e delle difficoltà che si sarebbero incontrate. Allo stesso tempo si sono provate ad organizzare le idee emerse in strutture solide e coerenti, che potessero catturarne gli elementi fondamentali e si prestassero ad essere analizzate e discusse in modo efficace. A questo punto si è deciso di presentare i due percorsi a degli studenti di fisica per provare a cogliere le reazioni di un simile campione e indirizzare di conseguenza lo studio. La prima occasione di condivisione è stata durante il modulo del corso di *Advanced Professional And Research Skills In Physical Sciences* gestito dalla professoressa Levrini e rivolto agli studenti del secondo anno del curriculum didattico della laurea magistrale in fisica. In questo contesto, abbiamo avuto complessivamente un'ora, il 25/03/2021, per presentare il percorso di ricerca e proporre agli studenti domande che stimolassero riflessioni: una descrizione più approfondita delle metodologie adottate sarà data nel paragrafo 3.3. L'esito molto positivo dell'esperienza ha suggerito di riproporla, in forma leggermente più estesa, ad un campione più largo e variegato di studenti: si sono quindi presentati i due percorsi agli studenti che, come visto, seguivano il corso di Didattica della Fisica tenuto dalla professoressa Levrini. Data la specificità del campione degli studenti coinvolti, risulta particolarmente importante contestualizzare la presentazione del percorso. Successivamente si descriverà l'intervento e si riporteranno le modalità con cui sono stati condotti i due studi.

3.1 Contesto: il corso di Didattica della Fisica

Il percorso è stato presentato agli studenti che nell'anno accademico 2020/2021 hanno frequentato il corso magistrale di Didattica della Fisica. Il corso prevede un'articolazione in tre parti principali: una prima in cui si discutono temi didattici ancorati alla relatività ristretta, una seconda focalizzata sulla termodinamica e l'ultima di meccanica quantistica. L'intervento in questione è stato condotto alla fine dell'unità di relatività ristretta per due ragioni: innanzitutto si intendeva incentrare RQ2 su un argomento specifico per evitare discorsi troppo generali che deviassero dall'effettiva operatività dell'approccio, così si è scelto di farlo con le trasformazioni di Lorentz e i diagrammi di Minkowski; in secondo luogo l'unità in questione è stata sviluppata a partire dai *design principle* dell'appropriazione visti nel capitolo 2, che tuttavia non erano ancora stati esplicitati. Una riflessione sui principi che possono rendere l'apprendimento significativo e favorire l'appropriazione è condotta nella seconda parte, in riferimento alla termodinamica. Data la particolarità del contesto e considerando il ruolo che, come anticipato da RQ3, i principi di costruzione visti avranno nel prosieguo dell'indagine, sembra opportuno riportare una sintesi dell'unità.

Essendo il corso pensato per futuri insegnanti, non si limita a presentare i concetti che si incontrano nel percorso proposto, ma apre continuamente a meta-riflessioni sul senso di certe scelte e sulle potenzialità che esse hanno: gli studenti sono dunque condotti in un viaggio interno al percorso, in cui ne sperimentano le possibilità, e contemporaneamente esterno, in cui possono soffermarsi sulla struttura che lo regge. Il focus dell'analisi cambia continuamente profondità, passando da livelli generali a dettagli specifici per dare una trattazione quanto più ricca e completa degli argomenti e per costruire, gradualmente e consapevolmente, un quadro teorico solido.

Dopo la proposta di analisi della sezione di relatività di uno dei manuali di fisica più diffusi nelle scuole superiori italiane (Giancoli, 2006), si inizia la trattazione accennando a due dei percorsi più comuni e strutturati su scelte di tipo epistemologico e didattico distinte: il primo, adottato da Resnick (Resnick, 1968) e basato sull'approccio di Einstein, è orientato storicamente ed è fondato sulla credibilità dell'esperimento per confermare una congettura. Esso utilizza le trasformazioni di Lorentz, e dunque un linguaggio algebrico, per analizzare le implicazioni della teoria, e fa leva sugli aspetti di continuità tra la fisica classica e quella relativistica. Il secondo, adottato da Taylor e Wheeler (Taylor and Wheeler, 1965), non è orientato storicamente ed è fondato sulla coerenza logica per confermare una congettura. Esso utilizza la geometria spaziotemporale di Minkowski, e dunque un linguaggio geometrico, per analizzare le implicazioni della teoria, e fa leva sugli aspetti di rottura con la fisica classica e su quelli di continuità con la relatività generale.

Si passa a questo punto ad un'analisi dell'approccio di Einstein indipendente dai manuali e basata sui suoi testi originali. A partire dalla lettura di alcuni estratti cruciali di *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento* del 1905, si esplicitano le scelte alla base della sua indagine: essa è mossa innanzitutto da asimmetrie teoriche più che da anomalie sperimentali, ed è basata sull'esigenza di semplicità, e cioè sull'assunto che una teoria debba essere basata sul minor numero possibile di ipotesi. Nell'incipit dell'articolo citato, Einstein dice:

"È noto che l'elettrodinamica di Maxwell – così come viene oggi generalmente intesa – conduce, quando la si applica a corpi in movimento, ad asimmetrie che non sembrano inerenti ai fenomeni. [...]. Esempi di questo tipo, uniti ai tentativi falliti di rilevare un qualche movimento della Terra rispetto al 'mezzo luminifero', portano a ipotizzare che anche i fenomeni elettrodinamici, come quelli meccanici, non possiedano proprietà corrispondenti al concetto di quiete assoluta. Questi due postulati sono sufficienti per giungere ad una teoria elettrodinamica dei corpi in movimento semplice e coerente, basata sulla teoria di Maxwell per i corpi in quiete. L'introduzione di un 'etere luminifero' si rivelerà superflua, giacché la concezione che qui svilupperemo non prescriverà uno 'spazio assolutamente stazionario' provvisto di speciali proprietà." (Einstein, 1905, p. 133.)

Le *asimmetrie che non sembrano inerenti ai fenomeni* sono analizzate a partire dalla ricostruzione di Manuzzio e Passatore (Manuzzio and Passatore, 1981) illustrata in Fig.3.1. Si vede che il sistema di riferimento O è solidale con il filo percorso da corrente

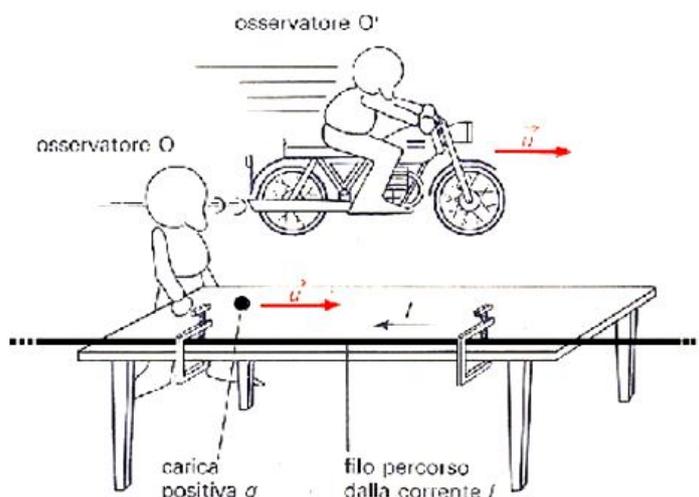


Fig. 3.1: Ricostruzione delle asimmetrie teoriche dell'elettromagnetismo di Manuzzio e Passatore.

I , elettricamente neutro, in cui gli ioni positivi sono fermi mentre le cariche negative si muovono piuttosto lentamente. Considerando la carica positiva q , in moto rispetto ad O con velocità \bar{u} prossima a quella della luce, essa subirà l'effetto di una forza di Lorentz \vec{F}_L perpendicolare al filo causata dal campo magnetico \vec{B} indotto dalla corrente I . Dal punto di vista di O' , che si muove alla stessa velocità della carica, essa, inizialmente ferma, si allontanerà dal filo ancora perpendicolarmente ad esso, e in assenza di velocità iniziale ciò sarà attribuibile solo ad una forza elettrica (le due situazioni sono illustrate in Fig. 3.2). Sembra emergere che la natura elettrica o magnetica di un campo dipenda

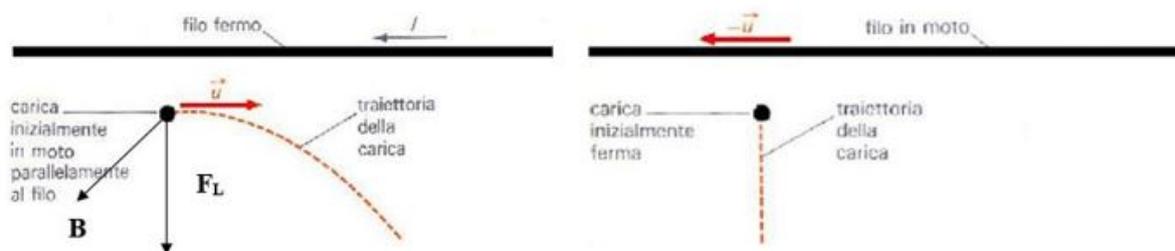


Fig. 3.2: Forze agenti sulla carica q dal punto di vista di O e O' .

dal sistema di riferimento considerato, in contraddizione con il principio di relatività.

Tale a-simmetria può essere spezzata solo con la relatività, per cui la forza elettrica osservata da O' è dovuta al fenomeno della contrazione delle lunghezze che determina un avvicinamento degli ioni positivi e dunque un tratto di filo elettricamente non neutro.

Dopo tali considerazioni, nel corso di Didattica della Fisica si approfondisce il legame con l'esperimento di Michelson e Morley (per la maggior parte dei manuali fondamentale per le sue speculazioni) tramite la lettura di testi originali, si riprende la definizione operativa di evento e tempo di un evento, e sempre facendo riferimento al testo originale si fa emergere la necessità di introdurre il reticolo di orologi sincronizzati per valutare la relazione temporale di eventi spazialmente lontani. In Fig. 3.3 è riportata un'immagine presentata a lezione che mostra come, grazie al reticolo di orologi, sia possibile valutare il tempo di eventi spazialmente separati.

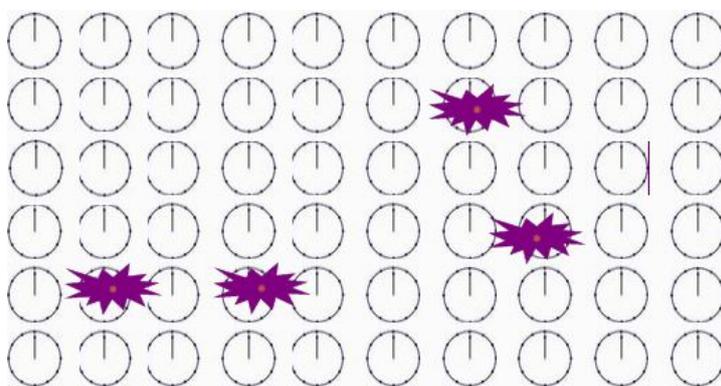


Fig. 3.3: Reticolo di orologi per valutare la relazione temporale di eventi spazialmente separati

Per avere una "coordinazione indipendente dalla posizione dell'osservatore provvisto di orologio", afferma Einstein, è necessario fare un ragionamento che porti a "una determinazione molto più pratica":

"Supponiamo che nel punto A dello spazio vi sia un orologio; un osservatore posto in A può allora determinare il tempo di eventi che avvengono nelle immediate vicinanze di A. Se in B vi è un orologio in tutto e per tutto simile a quello posto in A, allora i tempi nelle immediate vicinanze di B possono essere valutati da un osservatore situato in B[...]. Finora abbiamo definito un 'tempo A' e un 'tempo B', ma non un 'tempo' comune per A e B. Quest'ultimo può essere definito stabilendo, per definizione, che il 'tempo' necessario alla luce per propagarsi da A a B è uguale al tempo che essa impiega per propagarsi da B ad A. Supponiamo cioè che un raggio di luce parta da A, diretto verso B, al 'tempo A', t_A , venga riflesso da B verso A al 'tempo B', t_B , e giunga di nuovo in A al 'tempo A' t'_A . Per definizione i due orologi

sono sincronizzati se

$$t_B - t_A = t'_A - t_B$$

Assumiamo che questa definizione di sincronismo sia esente da contraddizioni, ed estendibile a un numero di punti arbitrariamente grande[...] ”(Einstein, 1905, p.136).

Nel corso di Didattica della Fisica è sottolineato che per determinare la relazione temporale tra due eventi sia necessario, come appare evidente dalle operazioni per sincronizzare il reticolo di orologi, misurare la distanza spaziale che intercorre tra essi: l'intreccio spazio-temporale emerge quindi dall'intreccio operativo visto. Una contestualizzazione storica del reticolo di orologi fa emergere come, per ragioni sociali e tecnologiche, questo artefatto non fosse tanto astratto e distante dalla quotidianità come potrebbe apparire oggi (Galison, 2003). È definita quindi operativamente la lunghezza di un corpo (*asta*) in movimento seguendo ancora il percorso di Einstein. Per fare ciò sono necessari sia un regolo sia il reticolo di orologi e, utilizzando le sue parole, si hanno due possibilità:

- “L'osservatore si muove insieme al suddetto regolo e all'asta rigida, e misura la lunghezza dell'asta giustapponendo ad essa il regolo, così come farebbe se fosse in quiete rispetto all'uno e all'altra.”
- “Mediante orologi stazionari e sincronizzati tra loro nel sistema stazionario,[...] l'osservatore determina in quali punti del sistema stazionario si trovano, in un istante di tempo t dato, le due estremità dell'asta da misurare. La distanza fra quei due punti, misurata con il regolo utilizzato precedentemente - ma ora in quiete - è ancora una lunghezza che possiamo chiamare lunghezza dell'asta (Einstein, 1905, p. 138).”

In Fig. 3.4 è riportata la rappresentazione utilizzata a lezione per esplicitare queste due possibilità.

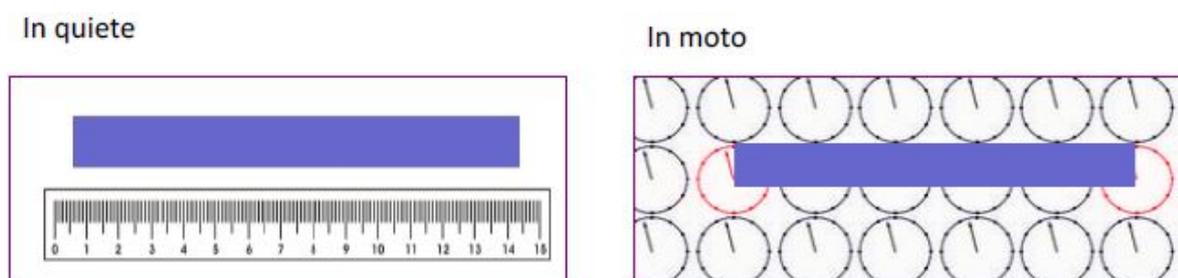


Fig. 3.4: Modi per misurare un'asta in movimento

A questo punto del percorso, si riflette su come l'approccio di Einstein sia basato sugli eventi e sulle relazioni spaziotemporali che essi hanno, pertanto spazio e tempo

diventano inseparabili e perdono, agli occhi di Einstein, ogni forma di assolutezza. Si introducono i due postulati della relatività ristretta sempre a partire dalla lettura e da una riflessione sull'articolo originale, e se ne ricavano gli effetti relativistici attraverso due vie didatticamente distinte: una "concettuale-immaginativa", fondata sugli esperimenti mentali, ed una algebrica, basata sull'utilizzo formale delle trasformazioni di Lorentz. Entrambe sono accompagnate da numerose attività, il cui scopo è quello di fare emergere i dettagli critici oltre che di sperimentare le differenze che le distinguono. Ci si concentra infine sulle scelte *personali* adottate da Einstein, che rendono il suo approccio non neutrale: l'operazionismo, che vede le proprietà degli oggetti come le operazioni necessarie a misurarle, e la prospettiva relazionista su spazio e tempo, che non esistono in modo assoluto, ovvero indipendentemente dagli eventi, ma solo come relazione tra essi. La riflessione sull'operazionismo prende le mosse dalla lettura di alcuni testi di Bridgman, che negli anni '20 consolidò questa prospettiva epistemologica. Essa emerge chiaramente da questa considerazione:

"In generale, per concetto noi non intendiamo altro che un gruppo di operazioni [...]. Se il concetto è fisico, come nel caso della lunghezza, le operazioni sono effettivamente operazioni fisiche, cioè quelle mediante cui si misura la lunghezza" (Bridgman, 1927).

A proposito del contributo di Einstein questi affermava:

"Einstein eseguì un'analisi delle operazioni fisiche che si usano per misurare le lunghezze e i tempi più particolareggiata di quanto non fosse mai stato fatto prima. [...]. Per esempio, l'analisi di Einstein portò alla luce il fatto che, per misurare la lunghezza di oggetti in movimento, l'uso degli orologi è altrettanto necessario di quello dei regoli rigidi [...]. Quando poi l'analisi di Einstein portò a pensare che si potessero immaginare procedimenti diversi per misurare la lunghezza di un oggetto in moto, [...] divenne possibile ammettere che la lunghezza di un oggetto in movimento può non essere uguale alla sua lunghezza in stato di quiete." (Bridgman, 1949).

A questo punto del corso si passa alla presentazione dei diagrammi di Minkowski come semplici strumenti formali, ricavandoli sia attraverso le trasformazioni di Lorentz che, a partire dalla relatività della simultaneità, interpretando geometricamente l'esperimento mentale del treno di Einstein. In questo secondo caso si fa riferimento alla ricostruzione di Born nella *Sintesi einsteiniana* (Born, 1962): immaginando che una sorgente luminosa si accenda al centro del vagone di un treno (A), i segnali saranno ricevuti dalla prima estremità del vagone (B) e dalla seconda (C) simultaneamente per un osservatore solidale con il treno ma non per uno che non lo è (osservatore nella stazione). I due casi sono raffigurati in Fig. 3.5.

Tale situazione fisica è utilizzata nel corso per riflettere sul significato che gli assi dei sistemi di riferimento utilizzati hanno: l'asse spaziale è un asse di simultaneità,

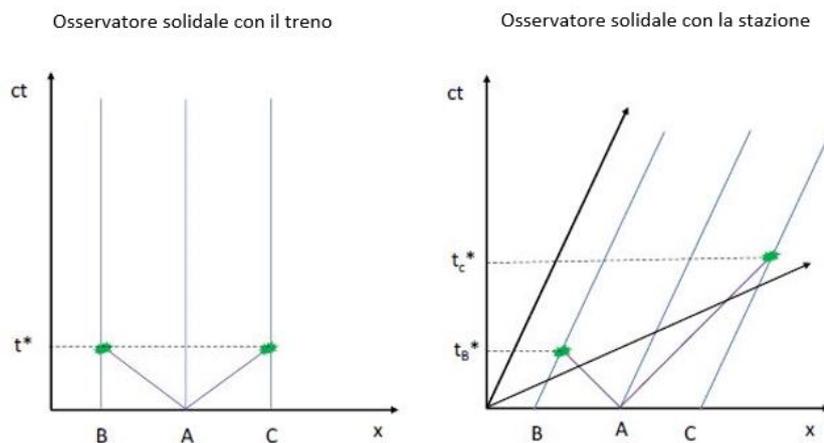


Fig. 3.5: Relatività della simultaneità per osservatore sul treno e nella stazione

mentre quello temporale la linea di universo di un oggetto fermo scelto come origine. Alla luce di questo, la figura 3.5b fornisce le indicazioni per gli assi relativi al sistema di riferimento del treno: le linee di universo relative a punti del treno forniscono la direzione dell'asse temporale t' , mentre la retta che unisce i due eventi fornisce la direzione dell'asse x' (retta di simultaneità). Una volta costruiti gli assi si ricavano di nuovo gli effetti relativistici: relatività della simultaneità, dilatazione del tempo e contrazione delle lunghezze. Trattando il fenomeno della contrazione delle lunghezze, ci si concentra sul significato dell'invarianza dell'intervallo spazio-temporale, ricavando i diagrammi di Minkowski anche a partire da questa. Per un'analisi più approfondita si rimanda allo studio di Levrini (Levrini, 1999), mentre in Fig. 3.6 è illustrata la costruzione degli assi x' e t' a partire dalla curva invariante nello spazio di Minkowski, ovvero l'iperbole di calibrazione.

Si riflette infine sulle differenze tra intervalli di tipo tempo, spazio e luce e sulla rappresentazione del cono di luce. Durante tutto il percorso si propongono attività e estratti dell'articolo citato per permettere agli studenti di entrare dentro l'approccio geometrico presentato consentendogli di analizzarne criticamente le caratteristiche anche rispetto all'approccio di Einstein.

Dopo aver maturato delle considerazioni sull'interdisciplinarietà tra matematica e fisica, e in particolare sul legame tra le due discipline, che evolvono sostenendosi l'un l'altra, si apre una riflessione epistemologica sulla concezione di spazio e tempo: a partire dall'invarianza dell'intervallo spazio-temporale si esplicita la posizione di Minkowski, che attribuiva ad essa un significato ontologico, deducendo l'esistenza di uno spazio-tempo quadrimensionale, o mondo assoluto, reale. Ciò lo portava a sminuire l'importanza degli effetti relativistici, visti come "una complicata proiezione" sullo spazio tridimensionale, non significativa ai fini di una comprensione delle relazioni fisiche che descrivono la realtà e che si manifestano, appunto, solo nel mondo assoluto. Dal relazionismo di

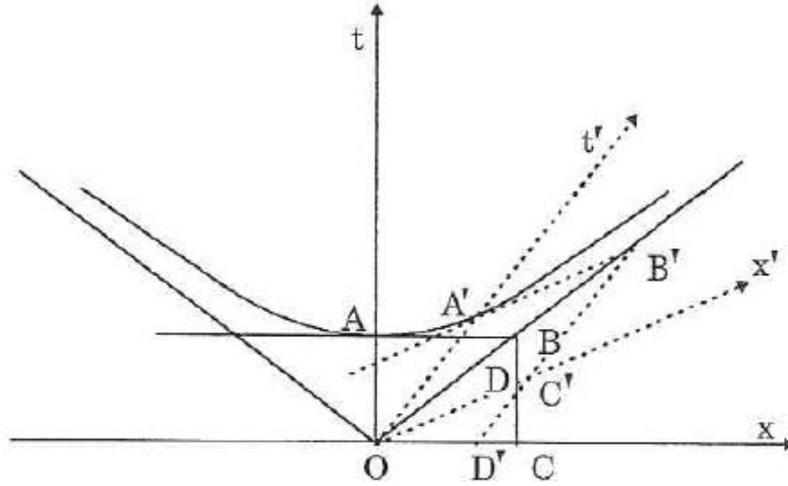


Fig. 3.6: Costruzione di x' e t' con l'iperbole di calibrazione

Einstein, legato alla frammentazione del mondo in eventi, le cui relazioni ne descrivono le caratteristiche (risulta fondamentale in questo il reticolo di orologi), si passa al sostanzialismo di Minkowski in cui l'approccio geometrico, basato sull'invarianza dell'intervallo spazio-temporale, e dunque sulla curva invariante, porta ad attribuire allo spazio-tempo quadrimensionale uno statuto ontologico (Levrini, 2002). Si descrive infine la posizione di Poincaré, che rifiuta nettamente l'idea di uno spazio assoluto affermando che quella geometrica è sì una rappresentazione delle nostre sensazioni basata su fatti sperimentali, ma resta una delle tante convenzioni possibili e pertanto non ha valore ontologico. Si conclude infine con una riflessione storico-filosofica sul dibattito tra sostanzialismo e relazionismo molto più larga, che parte dall'antica Grecia fino ad arrivare alla contemporaneità.

Nel percorso presentato appare evidente il ruolo dei *design principle*, su cui se ne sviluppa la trama. Si sintetizza brevemente il modo in cui si presentano all'interno dell'unità:

- Pluri-prospettiva: sviluppando accuratamente le visioni di Einstein e Minkowski, accennando alla prospettiva di Poincaré, e facendo riferimento al modo in cui sono stati impostati i percorsi di alcuni manuali, si offre una molteplicità di punti di vista e di possibili strade percorribili nell'analisi della relatività ristretta;
- Pluri-dimensionalità: l'approccio storico, epistemologico, sociale e metariflessivo, che porta ad interrogarsi anche sul valore didattico che certe scelte hanno, permette di analizzare uno stesso argomento a partire da differenti dimensioni, facendone cogliere la complessità e offrendo una visione quanto più completa e inclusiva possibile.

- Longitudinalità: la riflessione sugli elementi di continuità e discontinuità tra la fisica classica e quella relativistica e tra la relatività ristretta e quella generale, e la larga panoramica storica sulla concezione di spazio-tempo, permettono di legare domini distinti della disciplina esplicitandone le caratteristiche e strutture comuni.

3.2 Introduzione a un percorso ecologico nel corso di Didattica della Fisica

Dopo aver introdotto il contesto disciplinare in cui è stato inserito l'intervento risulta possibile descrivere lo stesso. Prima di entrare nella descrizione della presentazione da me proposta sembra opportuno accennare brevemente a quella di Francesco, che ha portato al suo progetto di tesi (De Zuani Cassina, 2021), per una contestualizzazione ancora più precisa. A partire dai risultati di ricerca sulla percezione da parte degli studenti di una mancanza di significatività dell'apprendimento delle discipline scientifiche, Francesco si è concentrato sullo studio dei processi che permettono di portare forme di conoscenze apprese nel contesto scolastico fuori da esso. Per far ciò ha fatto riferimento al concetto di *comunità di pratica* introdotto da Wenger (Wenger, 1998) per descrivere l'ambiente scolastico e quelli esterni, ha assunto il paradigma della *practice-linked-identity* (Nasir and Hand, 2008) e, analizzando i meccanismi di *boundary crossing* (Akkerman and Bakker, 2011), ha introdotto la figura del pioniere su cui si è concentrato nelle riflessioni con gli studenti e nelle indagini condotte con essi. Come accennato anche in precedenza, oltre ad aver affiancato il mio percorso durante tutti i momenti della sua costruzione e delle successive indagini, il lavoro di Francesco risulta integrativo e in un certo senso complementare al mio: mentre lui si è concentrato sull'importanza, ai fini di un apprendimento significativo per la propria identità, di portare *fuori dalla scuola* le forme di conoscenza apprese dentro, io mi sono concentrato su un momento precedente, e cioè sui meccanismi che *dentro la scuola* possono catturare l'attenzione e l'interesse dello studente, rendendo le esperienze didattiche significative e trasformative per sé. Con ciò si intende sottolineare che presi insieme i due interventi sono compattati in una struttura particolarmente solida, e sembrava significativo esplicitare questa sensazione per inquadrare in modo ancora più preciso lo studio proposto.

L'intervento che descriverò è quello del 14 aprile 2021, leggermente ampliato rispetto allo studio pilota. Esso è durato circa mezzora, è stato condotto sulla piattaforma *Teams* e, con l'autorizzazione dei partecipanti, è stato registrato insieme alle riflessioni successive e alla discussione dei sondaggi. Come nel Capitolo 2 si è compattato il percorso nei quattro nuclei tematici individuati e lo si è sviluppato a partire da citazioni che ne catturassero il senso.

Si è aperta la presentazione con una riflessione sull'apprendimento significativo, su cosa significhi che qualcosa sia rilevante ai fini della propria formazione identitaria e su

come si posizioni l'educazione scientifica rispetto a ciò. Accennando ad alcuni risultati della letteratura (Nasir *et al.*, 2006), si è fatto riferimento alle differenze tra l'apprendimento all'interno e all'esterno dell'ambiente scolastico sottolineando il ruolo che hanno le dinamiche relazionali, e si è dunque introdotta l'idea di provare a lavorare su di esse a partire da un approccio ecologico. Si è esplicitato cosa si intendesse con questo termine e si è chiarito che ciò implicava una prospettiva e l'impiego di strumenti radicalmente differenti da quelli utilizzati nella didattica delle scienze. Dopo aver introdotto la bibliografia principale utilizzata nella ricerca e dopo un rapido excursus sulle parole chiave che sarebbero state utilizzate (Fig. 3.7) si è passati quindi alla descrizione del percorso.

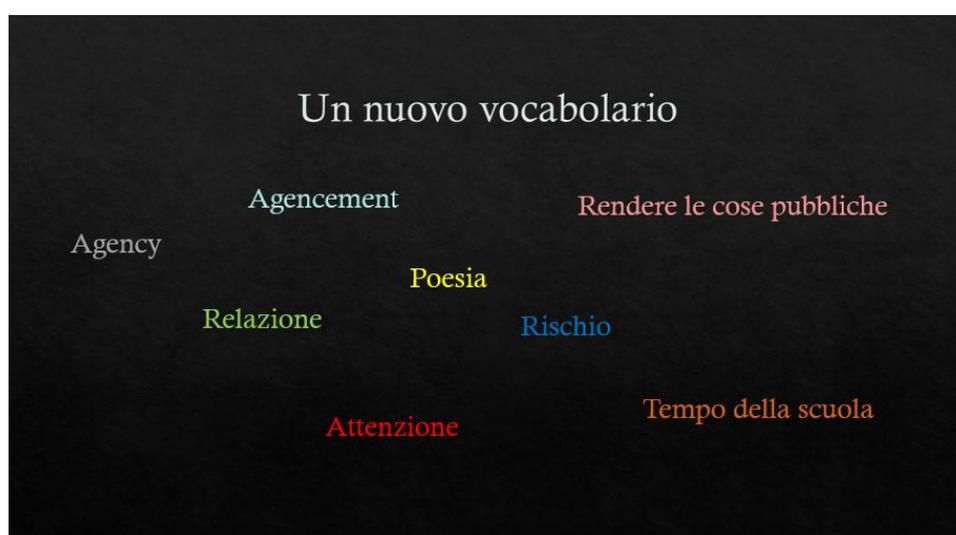


Fig.3.7: Slide sulle parole chiave utilizzate nella presentazione

Esso è stato guidato dall'immagine del ricercatore di Kekulé (vedi capitolo 2, paragrafo 2.2), che ha fatto da espediente narrativo per introdurre i concetti principali. A partire dal modo di relazionarsi con il mondo di un tale ricercatore, si è quindi introdotto il concetto di *attenzione*, definita come "una tensione trasformativa rivolta all'ambiente attraverso cui si dedicano cura e interesse alle cose e alle persone che lo costituiscono". Facendo poi riferimento alle sensazioni e alle caratteristiche determinanti il modo suo di procedere ("*incerto e interrogatorio, soggetto a continue deviazioni, verso un fine che è in continua evoluzione*"), e riportando la metafora di Deleuze e Guattari del ceppo e dell'ascia sintetizzata sopra, si è definito il concetto di *agencement* come *diventando agente*. Si è aperta quindi una riflessione sulla radicale differenza che intercorre tra una didattica lineare e rigidamente strutturata e una didattica complessa e aperta all'imprevisto, e riprendendo Benasayag (Benasayag, 2020) si è fatto riferimento alla prima come paradigmatica del modo di fare dell'uomo della modernità e alla seconda di quello della contemporaneità, che Benasayag definisce *epoca della complessità*. Si è quindi aperta una riflessione sul significato di *scholè* come luogo del tempo libero e liberato, in cui poter

speculare liberamente senza bloccare il pensiero tra i paletti della concettualizzazione. Parlando delle pratiche che dovrebbero caratterizzare una scuola basata su una simile idea, si è esplicitata la necessità di una vera e propria cultura dell'errore e si è parlato dell'errare come di ciò che connota la natura di *pathfinder* del ricercatore di Ingold. Si è fatto poi riferimento alla necessità di *rendere pubblica* la conoscenza e all'importanza, in questo senso, di lavorare sull'*esperienza estetica*. Si è parlato ancora della prospettive relazionale come punto cardine di una didattica significativa e dell'importanza che ha in ciò un'interazione autentica, umana e personale (*Fig. 3.8*) . Si è concluso l'intervento riportando la metafora di Masschelein del "mettere l'oggetto di conoscenza sul tavolo", ripercorrendo in essa tutti i temi affrontati durante il percorso.

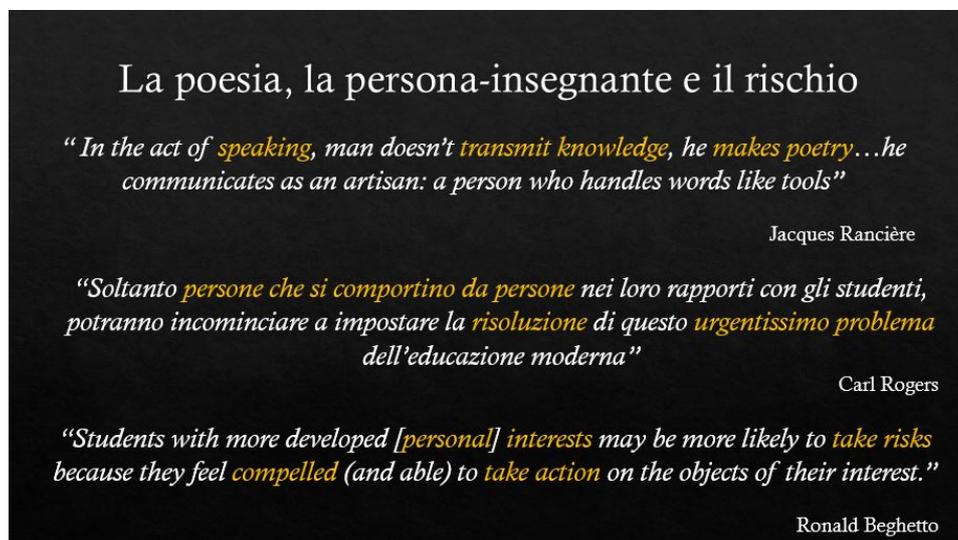


Fig.3.8: Slide della presentazione su esperienza estetica, dimensione umana e rischio

3.3 Metodologia dello studio

Lo studio, come anticipato, è stato portato avanti in due momenti, uno collettivo ed uno individuale, e ciascuno è stato preceduto da uno studio pilota. Essi sono descritti nelle sezioni che seguono.

3.3.1 Discussione collettiva

Nel caso dello studio pilota i partecipanti alla presentazione sono stati 22, tutti studenti del curriculum didattico della magistrale in Fisica; nel caso dello studio finale il campione, molto più eterogeneo, era invece costituito da 36 studenti della laurea magistrale di Fisica ma iscritti a diversi curricula (Theoretical Physics, Applied Physics, Didattica e

Storia della Fisica, Nuclear and Subnuclear Physics, Material Physics and Nanoscience, Astrophysics). In entrambi i casi, dopo la presentazione del percorso la discussione collettiva è stata gestita alternando spazi per interventi a domande specifiche sottoposte attraverso Wooclap e le Jamboard di Google.

Le domande proposte nello studio pilota sono le seguenti:

- Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) ti senti vicino all'idea che sia importante trattare il tema dell'identità nell'insegnamento della fisica?
- Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) ti senti vicino all'approccio antropologico presentato?
- Questo approccio mette l'accento su termini quali attenzione, poesia, "rendere pubblico"... Che effetto ti fa questo vocabolario? Quali aggettivi associ al vocabolario utilizzato (es. produttivo, fecondo, fastidioso, stimolante, inutile...)
- Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'importanza di questo approccio per l'insegnamento della fisica?
- Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'utilizzabilità di questo approccio nell'insegnamento della fisica?

Dai risultati dell'indagine si è deciso di lasciare le domande invariate ad eccezione della prima, che è stata eliminata perché ritenuta superflua ai fini dello studio. In *Tab. 3.1* sono riportate le domande proposte nell'attività finale: si specifica la domanda di ricerca a cui ciascuna di esse contribuisce e lo strumento utilizzato per l'indagine.

Strumento utilizzato	Domanda proposta	RQ Coinvolta
Wooclap	Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) ti senti vicino all'approccio antropologico presentato?	<i>RQ1</i>
	Questo approccio mette l'accento su termini quali attenzione, poesia, "rendere pubblico"... Che effetto ti fa questo vocabolario? Quali aggettivi associ al vocabolario utilizzato?	
	Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'importanza di questo approccio per l'insegnamento della fisica?	
	Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'utilizzabilità di questo approccio nell'insegnamento della fisica?	
Jamboard	Entrando nello specifico delle relatività, cosa PUÒ VOLER dire, SECONDO TE, mettere le trasformazioni di Lorentz o i diagrammi di Minkowski sul tavolo e renderle poetiche?	<i>RQ2</i>

Tab. 3.1: Domande proposte nell'indagine collettiva

3.3.2 Interviste

Le interviste individuali, come anticipato, sono state condotte durante la prima settimana di agosto del 2021 su base volontaria. Hanno partecipato all'esperienza due studentesse e sei studenti, i cui nomi sono stati modificati per ragioni di privacy. Il campione è stato in questo caso piuttosto omogeneo: a parte Alessandra, iscritta al curriculum di Fisica Applicata, e Andrea, iscritto ad Astrofisica, tutti gli altri partecipanti venivano dal curriculum didattico. Anche in questo caso le interviste sono state precedute da un incontro pilota con uno studente appartenente al gruppo con cui era stata sperimentata la presentazione del percorso. Questo è risultato soddisfacente quindi il protocollo di intervista è rimasto invariato. Anche in questo caso le domande proposte sono state formulate sulla base delle domande di ricerca RQ1 ed RQ2. Quelle che contribuiscono a RQ1 sono:

- Ti sei mai sentito escluso, o conosci studenti che si sono sentiti esclusi, in esperienze scolastiche e universitarie, durante una lezione di fisica? Quali pensi che siano state le ragioni principali che hanno indotto questo sentimento di esclusione?
- Hai mai avuto / conosci studenti che hanno avuto invece esperienze scolastiche o universitarie in fisica positive e che hanno lasciato un segno? Quali pensi che siano state le ragioni principali che hanno indotto questo sentimento di inclusione? All'interno di queste esperienze, riconosci affinità con l'approccio ecologico presentato?
- Secondo te l'approccio ecologico presentato riesce a catturare delle specificità della disciplina / risulta vicino ad essa, e si presta pertanto ad essere utilizzato, oppure no? Puoi spiegare meglio?

Quelle che contribuiscono a RQ2, in cui ci sono dei riferimenti a delle riflessioni sviluppate durante la presentazione, sono invece:

- Provando a pensare ad argomenti specifici (Trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski), cosa pensi che possa significare “agire in coerenza con” il percorso presentato?
- In che modo, presentando questi argomenti, può essere possibile mostrare “cosa vuol dire cercare, cosa vuol dire conoscere, cosa vuol dire innamorarsi di qualcosa”, riprendendo l'intervento di Igor?
- Riprendendo la jamboard emersa alla fine dell'incontro collettivo, ci sono dei commenti che secondo te sono particolarmente vicini all'approccio ecologico presentato e potenzialmente fruibili in attività didattiche? Perché? Ti andrebbe di provare a svilupparli ulteriormente o di avanzare ulteriori proposte concrete per affrontare un argomento specifico (Trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski) in coerenza con l'approccio visto?

Gli incontri sono iniziati con un breve riepilogo del percorso visto in cui si è provato a mettere l'intervistato, in un clima abbastanza informale, a proprio agio. Le domande sono state proposte in una forma volutamente non troppo specifica per poter entrare gradualmente e senza forzature nelle questioni di maggior interesse: in base alle risposte e al contesto sono state formulate ulteriori sottodomande per restringere il fuoco delle questioni implicate. Nonostante le interviste siano state strutturate pensando ad una durata media di mezz'ora, questa è variata molto a seconda del coinvolgimento degli studenti e dell'atmosfera che si è venuta a creare, e in alcuni casi ha superato anche un'ora.

Capitolo 4

Analisi e Discussione

In questo capitolo sono analizzati i risultati dell'indagine condotta. Dalla parte collettiva dello studio pilota è emerso un atteggiamento positivo nei confronti del percorso presentato (vedi Appendice A): è risultata evidente una certa vicinanza all'approccio, di cui è stata riconosciuta l'importanza nell'insegnamento della fisica; è stato chiesto agli studenti di collocarsi rispetto al percorso scrivendo degli aggettivi, e tra i più significativi sono emersi: stimolante, importante, attivante, sfidante, inclusivo e ricco, ma anche fraintendibile, vago e ambiguo (Appendice A, Fig. A2). Le perplessità evidenziate dagli ultimi aggettivi sono probabilmente legate alla concreta applicabilità dell'approccio: ciò è esplicitato nel sondaggio relativo alla sua operatività che, seppure dia ancora un risultato positivo (Appendice A, Fig. A1), mostra un evidente calo di tendenza rispetto ai precedenti. Nella jamboard finale (Appendice A, Fig. A3), in cui si è chiesto di accennare a possibili vie per affrontare un argomento specifico, ovvero le trasformazioni di Lorentz, coerentemente all'approccio visto, vengono comunque avanzate diverse proposte: si passa dall'evidenziare l'importanza delle conflittualità personali nei confronti dell'argomento a mettere al centro la dimensione storica che lo caratterizza; si fa riferimento alla necessità di lavorare su un piano estetico e a quella di valorizzare la potenza formale del linguaggio utilizzato e le sue implicazioni; si riflette infine su quanto siano accattivanti le proprietà di simmetria e la pregnanza concettuale che un simile argomento si porta dietro.

Considerando il risultato dei sondaggi, le sensazioni esplicitate dagli aggettivi proposti, le idee emerse dalla jamboard e la grande partecipazione degli studenti, la struttura dell'attività è risultata dunque soddisfacente e si è deciso di riproporla, in forma quasi identica, al campione più largo di cui sopra; è stata eliminata una sola domanda, ritenuta poco interessante ai fini dello studio, e nell'ultima jamboard si sono aggiunti i diagrammi di Minkowski per provare ad elaborare delle proposte didattiche. Si è deciso inoltre di dedicare più tempo alla presentazione, per lasciare la possibilità di entrare in modo più graduale nel percorso e di familiarizzare maggiormente con l'approccio proposto.

Anche l'intervista pilota è risultata soddisfacente e non si è ritenuto di apportare modifiche al format delle domande.

L'analisi sarà svolta in due sezioni: nella prima si proverà a capire quanto un campione stratificato di studenti di fisica si senta vicino al percorso presentato, anche sulla base di esperienze personali, e quanto creda nella sua fruibilità nella progettazione di percorsi didattici, contribuendo a *RQ1* e, su un piano generale, a *RQ2*; nella seconda si tenterà quindi di ricavare proposte concrete che, coerentemente all'approccio presentato, possano suggerire degli spunti per percorsi didattici significativi in relatività ristretta e si proverà quindi a rispondere a *RQ2*.

4.1 Vicinanza all'approccio e fruibilità

4.1.1 Discussione collettiva

La discussione collettiva, che ha seguito subito la presentazione, è stata introdotta tramite dei sondaggi proposti attraverso wooclap. Le domande proposte sono le seguenti:

1. Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) ti senti vicino all'approccio presentato?
2. Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'importanza di questo approccio per l'insegnamento della fisica?
3. Quanto da 1 (per niente) a 6 (completamente) credi nell'utilizzabilità di questo approccio nell'insegnamento della fisica?
4. Questo approccio mette l'accento su termini quali attenzione, poesia, rendere pubblico... Che effetto ti fa questo vocabolario? Quali aggettivi assoceresti ad esso?

Il risultato dei tre sondaggi, coerente con lo studio pilota, è riportato rispettivamente in Fig. 4.1, Fig. 4.2 e Fig. 4.3.

Vicinanza all'approccio

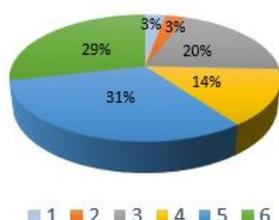


Fig. 4.1: Wooclap

Importanza dell'approccio

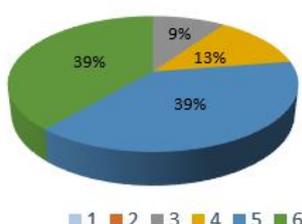


Fig. 4.2: Wooclap

Operatività dell'approccio

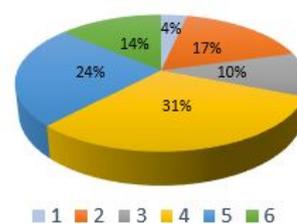


Fig. 4.3: Wooclap

In esso è confermata una forte risonanza, da parte degli studenti, con l'approccio presentato, che risulta significativo o molto significativo per il 74% dei partecipanti (*Fig.*

4.1). Esso è inoltre riconosciuto come importante o molto importante per l'insegnamento della fisica addirittura dal 91% di essi (Fig. 4.2), mentre emerge un certo scetticismo nei confronti di una sua concreta applicabilità, sostenuta dal 69% degli studenti (Fig. 4.3). Anche gli aggettivi proposti per esplicitare le proprie reazioni alla presentazione seguono la stessa tendenza (Fig. 4.4): essi sono in larga parte positivi, ma alcuni sottendono ancora dubbi circa la sua fruibilità.



Fig. 4.4 Aggettivi associati all'approccio: la dimensione di ciascuna parola è proporzionale al numero di volte che è stata riportata.

Tra i più rilevanti spiccano: stimolante, generativo, rassicurante, liberatorio, produttivo, ispirante, emozionante e complesso, ma anche confuso, fuorviante e faticoso. Per esplicitare questa duplice natura delle reazioni degli studenti, si è deciso di provare a selezionare le parole più rappresentative di ciascuna. In (Fig. 4.5) sono riportate quelle che vedono l'approccio come inclusivo e didatticamente significativo; si farà riferimento a questo gruppo con l'aggettivo *ispirante*, scelto tra quelli proposti. In (Fig. 4.6) sono invece riportate quelle che ne mettono in dubbio la funzionalità; anche in questo caso il gruppo è stato etichettato da uno degli aggettivi proposti, che è *fuorviante*.

Oltre a ricordare il movimento di ispirazione ed espirazione cui si è accennato nel capitolo 2, i due aggettivi sembrano estremamente precisi per descrivere l'approccio: se correlato alla progettazione didattica in fisica, infatti, esso risulta essere per certi versi fonte di grande arricchimento, poiché mette il fuoco su aspetti spesso trascurati che vengono catturati dal background differente da cui si è partiti, e pertanto sembra *tirare dentro* nuove vie, innovative e partecipative; allo stesso tempo però, lo stesso background di partenza non può tenere conto delle regole della disciplina, e pertanto



Fig. 4.5: Parole ispiranti, che sottolineano le potenzialità dell'approccio nella progettazione didattica



Fig. 4.6: Parole fuorvianti, che sottolineano la distanza dell'approccio dagli obiettivi didattici.

non sembra adatto al raggiungimento di precisi obiettivi didattici, che sono *spinti fuori*. Questo doppio movimento, *centripeto* e *centrifugo* allo stesso tempo, torna anche nelle discussioni che hanno seguito il completamento dei wooclap.

Subito dopo il sondaggio sugli aggettivi in molti chiedono di intervenire, sentendo il bisogno di chiarire il perché di certe scelte e di posizionarsi davanti alla classe rispetto al percorso visto. Si riportano brevemente i momenti principali degli interventi per provare a restituire l'atmosfera generatasi in classe, che avrà delle importanti implicazioni nel prosieguo dello studio.

Il primo a prendere la parola è Fabio, che si dice destabilizzato dal linguaggio utilizzato nel percorso, a suo dire *“molto inusuale e diverso da quello che utilizziamo di solito”*. Chiarisce poi la sua principale perplessità:

“Forse è il focus che sembra perdersi, il fuoco dell'argomento che si è trattato, o di quello che si vuole trattare, si allarga molto e in questo rischia di non riuscire più a centrare degli obiettivi” (Fabio).

Risponde subito Iride, affermando che seppure i termini utilizzati *“sono un po' per aria, un po' astratti e sembrano un po' confusionari”*, risultano molto importanti poiché

“aprono un mondo, un punto cardine nella scuola [...] e sono dei veicoli che ci aiutano a trattare delle tematiche molto importanti” (Iride).

Conclude infine alludendo all'applicabilità di un simile approccio: *“Concordo con Fabio sul fatto che...ci si chiede sempre: tutto bellissimo, però nella pratica come si fa? [...] Questo sì che è destabilizzante, però non toglie che sia tutto molto importante”*. Continua Riccardo, che definisce l'approccio stimolante e destabilizzante ma, chiarisce, per un motivo completamente diverso rispetto a Fabio: *“Per me questo approccio narrativo [...] è proprio necessario perché aiuta l'avvicinamento e dà una certa giustificazione di quello che poi si va a fare”*. Conclude riferendosi alle ultime parole di Iride e avanzando l'ipotesi che, nell'applicazione di un simile approccio, forse ciò che conta è spostare l'attenzione dalla trasmissione di alcuni concetti al raggiungimento di certi obiettivi.

Prende a questo punto la parola Igor, studente che aveva già espresso in altre occasioni il proprio malcontento per l'idea dominante di scuola e la sua distanza dal modo di fare di alcuni insegnanti. Il suo intervento risulta cruciale all'interno dell'attività, e si preferisce dunque riportarne almeno la prima parte in forma integrale:

"Io per partire direi le parole che ho scritto: liberatorio e naturale, quindi sono un po' polarizzato, ma trovo paradossale il fatto che queste parole [quelle utilizzate nel percorso] stupiscano all'interno di un contesto scolastico, associate anche alla fisica e all'insegnamento; io quando le sento mi sento veramente liberato da tutto il resto! Anche quando si parla di "rimane un po' per aria, non è l'obiettivo..."; io sarò radicale da questo punto di vista ma secondo me è il principale obiettivo! La poesia, l'educazione alla bellezza, l'educazione a voler imparare...quando si rientra in questo contesto, quindi, è un riappropriarsi di cosa vuol dire scuola e di cosa vuol dire imparare...quando ci si è riappropriati di tutto questo, e se ci si è riusciti senza stratagemmi, anche semplicemente con la trasmissione della passione in certi casi, secondo me si sbloccano dei punti [a partire da cui] diventa completamente naturale raggiungere altri obiettivi...e la cosa più importante è che se alla fine io non so un'equazione io però so cosa vuol dire cercare, so cosa vuol dire conoscere, so cosa vuol dire innamorarmi di qualcosa! Questa è una cosa che secondo me la scuola dimentica completamente ed è una perdita clamorosa che si esca dalla scuola e non si abbiano l'amore e la passione per cercare qualcosa, . . . che si perda tutta la poesia e ci si fermi a qualcosa che noi chiamiamo obiettivo e . . . per arrivare a quell'obiettivo ci incaponiamo in quella strada che è "insegnare, fare e pregare" quando in realtà se si apre un attimo, se si "campa per aria", si rende tutto più poetico e si esplicita questo ragionamento, per me gli obiettivi successivi vengono tutti più naturali e se ne ha un gran guadagno nella vita" (Igor).

Stimolato poi dalla professoressa rispetto alla passione e al coinvolgimento con cui è intervenuto si riferisce alla sua esperienza scolastica dicendo:

"A me piaceva andare a scuola ma c'erano cose che non digerivo [. . .]. Mi piaceva perché ogni tanto ho incontrato anche dei professori che si sentiva quello che volevano dire, e per me è stato un grande insegnamento, quindi tutto questo contesto lo trovo illuminante, e illuminante perché naturale" (Igor).

Concetto, questo di naturalezza, che aveva già esplicitato anche quando, affianco all'aggettivo "liberatorio", aveva commentato nel woodclap scrivendo: "[quello utilizzato nella presentazione] è un vocabolario che riallinea il naturale rapporto tra insegnante, studente e mondo da conoscere e scoprire".

A partire dalle proprie esperienze, e risuonando fortemente con l'approccio presentato, Igor insiste sul fatto che sia fondamentale spostare l'attenzione dagli obiettivi didattici veri e propri, intesi come l'acquisizione di concetti specifici, al processo tramite cui essi vengono perseguiti: non si può prescindere dalla poesia, dall'educazione alla bellezza e dall'educazione a voler imparare; se non si “*campa per aria*”, se non si impara innanzitutto a conoscere, cercare, innamorarsi di qualcosa, se non si incontrano professori che fanno sentire ciò che vogliono dire risulta impossibile perseguire quegli “*altri obiettivi*” che potrebbero invece essere raggiunti così naturalmente.

Interviene a questo punto Andrea, che si dice stupito dalle titubanze di alcuni e concorda con Igor, riferendosi alla propria esperienza come studente e come educatore. Sostiene poi l'importanza di seguire una simile linea educativa a partire dai primi anni di scuola e afferma l'importanza di

”Attività che mescolano il po' di ludico a qualcosa di concettuale che uno impara facendo [...]: penso a dinamiche con i giochi di società, come fa il ludologo...sono tutte dinamiche che tendenzialmente sono pensate per i più piccoli, è difficile ancora spostarle verso le superiori, alzare l'età a cui rivolgerle, però sono dinamiche che onestamente trovo molto più sensate” (Andrea).

Afferma infine la problematicità di una didattica incentrata sulla valutazione e l'importanza di andare oltre e di guardare al processo. Concordano con Igor anche Paolo e Enrico, che aggiunge: “*Questo approccio [...] lo trovo una grande testimonianza piuttosto che uno strumento per fornire delle risposte a tutti quei dubbi che possono sorgere nell'acquisirlo*”. Gli fa eco la professoressa, che esplicita il suo intervento affermando che “*ci sono questioni che diventano degli strumenti che possono subito essere usati, altre invece che aprono lo sguardo e che uno si porta dentro...già tematizzarli, trovare dei modi per descrivere certe cose diventa un passo per poi agire con coerenza, per orientarsi nell'agire...*”. A questo punto, sia per ragioni di tempo sia per catturare l'atmosfera di forte coinvolgimento e fermento, si decide di chiudere lo spazio per gli interventi e di passare alla jamboard relativa alle proposte didattiche che saranno analizzate nel prossimo paragrafo.

Dalla discussione emerge ancora più chiaramente e significativamente quel movimento, definito centripeto e centrifugo, che sembra caratterizzare i nuclei tematici individuati (vedi capitolo 2) quando rapportati alla progettazione didattica. Esso è esplicitato dall'analisi condotta in Tab. 4.1.

Come si è visto, da un lato il movimento dei nuclei tematici offre nuove prospettive significative, ispirando percorsi inclusivi e alternative percorribili; dall'altro, allontanandosi dalla disciplina specifica, rischia di non cogliere più obiettivi formativi, diventando di fatto non operativo. L'idea che si intende portare avanti in questo studio, è che i nuclei tematici visti possano sviluppare le proprie potenzialità progettuali se messi accanto, o meglio, *lanciati in orbita* intorno al nucleo duro dei principi di costruzione identificati nel framework dell'appropriazione (vedi capitolo 1). È in questa tensione tra l'uscire fuori

	Frase Analizzata	Movimento Centripeto/ ispirante	Movimento centrifugo/ fuorviante	
Fabio	Forse è il focus che sembra perdersi, il fuoco dell'argomento che si è trattato, o di quello che si vuole trattare, si allarga molto e in questo rischia di non riuscire più a centrare degli obiettivi.		×	
Iride	[i termini utilizzati] sono un po' per aria, un po' astratti e sembrano un po' confusionari.		×	
	aprono un mondo, un punto cardine nella scuola [...] e sono dei veicoli che ci aiutano a trattare delle tematiche molto importanti	×		
	Concordo con Davide sul fatto che... ci si chiede sempre: tutto bellissimo, però nella pratica come si fa? [...] Questo sì che è destabilizzante			×
	però non toglie che sia tutto molto importante	×		
Riccardo	Per me questo approccio narrativo [...] è proprio necessario perché aiuta l'avvicinamento e da una certa giustificazione di quello che poi si va a fare	×		
Igor	io quando le sento [parole utilizzate] mi sento veramente liberato da tutto il resto! Anche quando si parla di "rimane un po' per aria, non è l'obiettivo..."; io sarò radicale da questo punto di vista ma secondo me è il principale obiettivo! La poesia, l'educazione alla bellezza, l'educazione a voler imparare[...] quando ci si è riappropriati di tutto questo, e se ci si è riusciti senza stratagemmi, anche semplicemente con la trasmissione della passione in certi casi, secondo me si sbloccano dei punti [a partire da cui] diventa completamente naturale raggiungere altri obiettivi[...] e la cosa più importante è che se alla fine io non so un'equazione io però so cosa vuol dire cercare, so cosa vuol dire conoscere, so cosa vuol dire innamorarmi di qualcosa!	×		
Enrico	Questo approccio [...] lo trovo una grande testimonianza	×		
	piuttosto che uno strumento per fornire delle risposte a tutti quei dubbi che possono sorgere nell'acquisirlo		×	

Tab.4.1: Movimento centripeto/inspirante e centrifugo/fuorviante nella discussione in aula

(assorbendo le atmosfere catturate nel background iniziale) e il restare dentro (ancorati alla disciplina), ovvero nell'equilibrio indotto dalla presenza dei *design principle*, che essi possono contribuire in modo significativo alla progettazione didattica nelle discipline scientifiche e nella fisica in particolare: un po' come delle lune che muovono mari e, nell'immaginario popolare, umori. Questa lettura sembra inoltre comprendere la visione dei nuclei tematici come "veicoli che ci aiutano a trattare delle tematiche molto importanti" e che permettono di "orientarsi nell'agire". Da queste riflessioni è stata formulata, come visto, *RQ3*. Nei paragrafi successivi si proverà a mostrare come tener conto di essi possa influenzare l'utilizzo dei principi di costruzione, rendendone gli sviluppi ancora più ricchi e inclusivi.

4.1.2 Interviste

In questa sezione, alla luce di quanto visto sopra, si proverà ad analizzare la prima parte delle interviste; questa è stata incentrata sulle esperienze scolastiche positive e negative nello studio della fisica, sulle sensazioni rispetto all'approccio ecologico presentato e sulle opportunità che questo offre anche a partire dalle esperienze descritte. Per comodità si riportano le domande proposte:

- Ti sei mai sentito escluso, o conosci studenti che si sono sentiti esclusi, in esperienze scolastiche e universitarie, durante una lezione di fisica? Quali pensi che siano state le ragioni principali che hanno indotto questo sentimento di esclusione?
- Hai mai avuto / conosci studenti che hanno avuto invece esperienze scolastiche o universitarie in fisica positive e che hanno lasciato un segno? Quali pensi che siano state le ragioni principali che hanno indotto questo sentimento di inclusione? All'interno di queste esperienze, riconosci affinità con l'approccio ecologico presentato?
- Secondo te l'approccio ecologico presentato riesce a catturare delle specificità della disciplina / risulta vicino ad essa, e si presta pertanto ad essere utilizzato, oppure no? Puoi spiegare meglio?

L'analisi intende verificare che i nuclei tematici individuati riescano a catturare certe sensazioni e possano quindi fare una certa luce sui principi di costruzione. Essa è stata condotta, per due interviste particolarmente significative, seguendo un approccio il più possibile *fine grained*: si sono individuate le parti delle interviste che avevano pertinenza con i nuclei tematici e sono state organizzate in una tabella. Quindi, ispirati dal testo, si è applicata la lente rappresentata dai nuclei tematici cercando di esplicitare il collegamento; il collegamento è stato associato ai principi di costruzione che più ne raccoglievano il senso e si è esplicitato il modo in cui potesse contribuire alla loro elaborazione e implementazione.

La prima intervista analizzata è quella di Igor: come si è visto, il suo intervento nella discussione collettiva è risultato particolarmente interessante e coinvolgente, mostrando la sua grande vicinanza all'approccio presentato e la forte sensazione che questo potesse essere utilizzato produttivamente nello studio della fisica. Nella tabella che segue (Tab. 4.2) è riportata l'analisi condotta secondo il metodo descritto.

Frase Analizzata	Contributo del nucleo tematico coinvolto ai <i>design principles</i>
<p>Mi sono sentito escluso nel momento in cui si era creata l'immagine di me che avevo capito, e magari la sapevo ma non mi era chiarissimo! [...]quello mi ha fatto sentire un po' escluso perché non mi sono mai sentito in diritto di chiedere una spiegazione maggiore, soprattutto per la paura del dopo, sia del fatto che "Ah, quindi non hai studiato!", quindi proprio tornare all' ancora prima del comportamentismo, ancora prima... e l'altro perché la paura di chiedere...ti viene data una risposta e non capisci ancora... e a quel punto o ti senti proprio stupido o hai davanti un insegnante che ti dice non ti preoccupare, allora vuol dire che l'ho spiegata male io, continuo, ma quant'è uno su...su due milioni, neanche... oppure ti becchi quello che ti dice che sei stupido o addirittura, e nel suo caso era molto rischioso, che si lega al dito il fatto che tu non avessi capito, quindi lì mi sono sentito escluso...</p>	<p>Rischio di errare</p> <p>L'assenza di un ambiente in cui errare liberamente appare qui particolarmente evidente: i rischi di esporre all'insegnante dei dubbi partecipando al proprio percorso formativo sono molteplici, e gioca un ruolo importante anche il rischio di perdere la fiducia in sé (ti senti proprio stupido!). Tutto ciò congela la personalizzazione dello studio. Emerge la necessità di creare, nella progettazione didattica, momenti dedicati esclusivamente alla cura dei quadri teorici in fase di costruzione in ciascuno studente, in esperienze meno massificate possibile e realmente libere e non valutative. Sono coinvolti tutti i principi di costruzione, poiché la molteplicità di prospettive e dimensioni, nonché la visione del legame tra diversi domini, contribuiscono significativamente alla strutturazione e alla comprensione di un'idea generale .</p>
<p>mi è capitato anche con gli integrali, era un periodo che non mi andava di studiare e non ho studiato...però dopo avevo delle domande e io non potevo più farle...anche cosa rappresentassero, cose del genere...perché come dire, hai perso quel treno, non c'è più un treno di riserva che ti spieghi meglio cosa è successo.</p>	<p>Agencement</p> <p>La fluidità del soggetto, itinerante e in continua trasformazione, determina un parallelo evolversi di interessi e necessità partecipative. Ciò suggerisce l'importanza di tornare su punti già affrontati (treni di riserva) per permettere di guardarli da nuove prospettive personali. Sono coinvolte la pluridimensionalità e la longitudinalità.</p>
<p>Nel caso della mia ex dalle prime cose che non aveva capito, fin da subito...l'avevano data per spacciata. [...] E da lì in poi è stato tutto un non volersi scontrare con questo problema e quindi cercare strategie... copio o faccio o sopravvivo[...]. principalmente questo, il fatto dell' autoconvinzione e della possibilità che viene data a una persona di capire con i propri</p>	<p>Attenzione</p> <p>L'attenzione come prendersi cura e avere response-ability può permettere di cogliere necessità individuali fondamentali alla comprensione e ad una partecipazione attiva e autentica alle attività didattiche: tutto ciò è infatti possibile solo con "i propri mezzi". Sono coinvolte la pluriprospektività e la</p>

<p>mezzi, anche perché a volte forse sono stati dati altri strumenti che non venivano sentiti propri, e quindi perché dovrei usare cose che non sono le mie risorse...</p>	<p>pluridimensionalità .</p>
<p>La mia prof di latino invece aveva il suo part-time ma amava con tutto il suo cuore quello che faceva, aveva una passione proprio in quello che diceva enorme [...].Lei entrava e non si metteva i panni dell'insegnante, lei entrava come era fuori, entrava ed era una persona, e questa cosa a me ha colpito tantissimo, anche perché non so, era felice![...] e questa è l'esperienza forse più positiva</p>	<p>Attenzione In questo caso l'attenzione suggerisce l'importanza di includere, nel principio di pluri-dimensionalità, anche la dimensione personale e quella umana: il ruolo dell'<i>ospitalità</i>, della <i>serietà</i> e dell'<i>empatia</i> è centrale nell'esperienza descritta, è quello che "colpisce tantissimo" e fa sì che sia, di quelle vissute, "forse la più positiva".</p>
<p>All'università, devo dir la verità, purtroppo non mi sono trovato bene in generale in triennale. [...]anche lì, il terrore della domanda, ma non solo col professore, anche con altri studenti! C'era un po' una sorta di competizioni di fondo che ho sempre trovato molto pesante, semplicemente pesante!</p>	<p>Rischio di errare Il rischio (terrore!) di errare di fronte ai compagni di classe, anche per una "competizione di fondo", inibisce un'autentica partecipazione alle attività. Creare un ambiente inclusivo, che permetta una sincera interazione interpersonale risulta molto importante per un approccio pluriprospettico e pluridimensionale.</p>
<p>Fino al corso di Insegnamento che ha dato un po' voce a tutte quelle sensazioni che mi portavo dietro dalle superiori, perché io ho sempre studiato così, io ho sempre studiato in certi casi imponendomelo[...] non so, me lo sono sempre visto come un io sto costruendo la persona che sarò, non tanto il mio futuro, io mi sto dando delle armi per un futuro [...] e questa concezione in me è stata sempre molto forte, me la sono costruita. Però mi è sempre mancato un legame, come dicevo prima, una cosa trasversale che si legasse a tutte queste emozioni che avevo in testa, e innanzitutto la cosa trasversale sono io ! Sono io che le posso prendere, orchestrare, armonizzare, e così è stato anche il corso di insegnamento...quindi che andasse a ristrutturare il mio io per legare meglio tutte le mie conoscenze e tutte le mie emozioni...</p>	<p>Scholè Il legame ricercato e trovato nel "corso di Insegnamento" (l'unico del settore didattico accessibile agli studenti della triennale di fisica) sembra corrispondere a quell'esplosione della bolla descritta nel capitolo 2: ha permesso infatti allo studente di appropriarsi di alcuni concetti che, legati a " tutte le emozioni che aveva in testa" , gli hanno dato strumenti (armi) per partecipare attivamente alla progettazione del proprio futuro riappropriandosi del suo tempo. Ciò può indurre, oltre a forme significative di apprendimento, punti di vista personali e inediti sulla disciplina e su sé stessi. Sono coinvolti tutti i principi di costruzione, in quanto le specificità e gli interessi dell'individuo possono essere mossi dalle caratteristiche di ciascuno di essi.</p>

<p>[quando siamo in classe] siamo in una realtà, e quindi se siamo una realtà siamo prima di tutto umani, e se siamo umani siamo noi stessi, quindi io non voglio entrare in classe ed entro in un videogioco, in una scatola, e quindi io mi metto la mia maschera da studente, tu metti la tua da insegnante, rispettiamo queste regole, questo contratto, io rispondo, tu mi dici, esco e sono una persona con la speranza che qualcosa di quello che ho appreso in questi giorni mi aiuti dopo...cioè, io entro in classe ed entra la stessa persona che sono fuori; solo così ho la possibilità e non la speranza, ho la possibilità veramente di portarmi qualcosa fuori, perché è tutto in un ambiente molto più fluido, quindi se questo è il concetto di ecosistema io dico che deve essere così, ma non deve essere spiegato che sia così, deve essere così! [...]un contatto diretto da persona a persona crea qualcosa, un contatto diretto tra maschere, o tra quello che vuoi, tra gente che è lì perché deve, no ! Cioè, crei forse qualcosa perché incameri qualcosa nella memoria, perché non vuol dire che non serva, qualcosa incameri ma ci sono troppi fattori di buona volontà, di autodeterminazione, di autoflagellazione in certi casi per poter arrivare...</p>	<p style="text-align: center;">Agencement</p> <p>In questo caso l'idea di approcciarsi <i>realmente</i> all'ambiente classe sembra sottendere di farlo secondo le regole dell'agencement: non ci sono strutture predeterminate che definiscono il modo in cui occorre rispondere a certi stimoli e a certe situazioni, "non si è in un videogioco", i percorsi si creano passo dopo passo, le risposte sono fluide e i rapporti sono reali, e in quanto tali dominati dalla fragilità che caratterizza l'essere umano in quel processo di formazione che è la sua vita.</p> <p>Anche in questo caso emerge la necessità di dare spazio, seguendo il principio di pluri-dimensionalità, alla dimensione umana.</p>
<p>Se tu sei una persona che è al di fuori dell'ecosistema o che non è sé stessa, puoi legare cose magari un po' sterili, puoi avere qualche colpo di...ma diciamo che non è intimo, non è... secondo me la reale creatività viene da idee o pensieri...ma questa creatività non è fredda, non è che hai preso dei libri e li hai uniti così, c'è tutto il tuo lavoro dietro, e nel lavoro dietro sei tu che stai vivendo. Qui se vuoi un po' di cose della relatività penso ad Einstein sul fotone, che surfa sul fascio di luce [...]. Non è un'intuizione in cui ha preso un libro, ne ha preso un altro e li ha uniti, è un processo estremamente creativo che poi ha prodotto altro, è creativo in una sua speculazione mentale e sicuramente dettata da tutto ciò che sta vivendo, in un certo senso, da quello che vedeva anche solo, anche da vedere la luce, vedere in modo diverso, vedere in modo magari più intimo, più profondo! Questa cosa non sarebbe stata possibile se Einstein fosse stato nella sua torre e fosse rimasto lì fermo, al buio, a non comunicare con l'esterno.</p>	<p style="text-align: center;">Attenzione</p> <p>L'abilità di attendere ad un concetto, di prendersi cura di esso, o meglio di corrispondere con esso, consente di relazionarsi con forme di conoscenza in modo del tutto personale e autentico ("nel lavoro dietro sei tu che stai vivendo!"), e quindi creativo. Appaiono centrali i principi di pluri-dimensionalità e longitudinalità: indagare diverse dimensioni del concetto, o ritrovarlo per analogia in differenti domini, può innescare forme produttive e personali di indagine. Sembrerebbe funzionale, per lavorare su questo piano, creare spazi in cui far analizzare certi argomenti secondo prospettive inusuali e fortemente interdisciplinari: rendere pubblico un concetto e avvicinarsi ad esso da una prospettiva letteraria, artistica ecc., potrebbe stimolare importanti forme di pensiero divergente.</p>

<p>Per la situazione proprio della fisica nella didattica della fisica alle superiori... diciamo, così c'è un impianto nozionistico che in un certo senso è da sapere quando si esce; però forse il fisico, più del matematico, è molto più importante che esca con il concetto, con un'immagine del concetto e con una consapevolezza del concetto [...]. Non sono assolutamente pro-nozionismo, in un certo senso, ma sono con l'immagine. [...] [una volta creata] entra nella tua intima coscienza, questo concetto. [...] Qui secondo me sì, ci sta bene l'impianto ecologico, ci sta bene il persona-persona che ti vuole passare un concetto e ci sta bene come te lo passa, questo concetto, con tutti gli strumenti di passione, poesia... come hai detto anche tu prima io voglio donarmi, donarsi in quel momento in funzione di quel concetto per la conoscenza di quel ragazzo... ma per la conoscenza non mirata a un voto, non mirata a niente!</p>	<p style="text-align: center; color: green;">Scholè</p> <p>Affinché l'immagine di un concetto (non la nozione!) "entri nella propria intima coscienza", e divenga quindi parte di un <i>erfahrungen</i>, è fondamentale la presenza di "strumenti di passione e di poesia": l'esperienza estetica è affiancata alla dimensione umana, anche in questo caso considerata di grande importanza. Il monito che sembra emergere dal commento analizzato è che l'insegnante, oltre a creare spazi in cui lasciar immergere gli studenti nel <i>tempo della scuola</i>, deve farlo a sua volta: donare e donarsi per la semplice "conoscenza non mirata a niente", fuori dai vincoli istituzionali, percorrendo binari inusuali e interessanti innanzitutto per sé stesso.</p>
--	---

Tab.4.2: Analisi dell'intervista a Igor

L'analisi effettuata sembra cogliere il proposito di allargare lo span dei principi di costruzione a partire dal contributo dei nuclei tematici individuati; si riporta una sintesi dei risultati ottenuti:

- *Attenzione*: L'idea di attenzione come prendersi cura, *response-ability* e *co-respondence* suggerisce di tener conto, secondo il principio di pluridimensionalità, della dimensione personale e di quella umana: da un lato esplicitare il proprio rapporto con pezzi di conoscenza, le difficoltà avute e le passioni vissute, mostra come ci si possa relazionare con la disciplina in modo autentico e costruttivo per la propria identità; dall'altro mettere il fuoco sull'umanità della ricerca in fisica, sull'importanza della fragilità e dell'empatia e sulla centralità delle difficoltà, che sono trampolini verso forme più alte di conoscenza, può rendere molto più naturale e consapevole l'apprendimento. Tener conto di ciò durante le pratiche di insegnamento può portare a forme di apertura fondamentali per un confronto autentico con la disciplina. Un ambiente creato secondo tali principi rende anche possibile radicare dei concetti a sensazioni e vissuti personali, aprendo a prospettive inedite e creative. Inoltre, *educare all'attenzione* permette di cogliere fili sottili che tessono la trama di concetti e domini, lavorando anche sulla pluriprospektività e la longitudinalità.
- *Agencement*: la fluidità del processo di formazione dell'identità, e dunque anche dell'apprendimento, suggerisce l'importanza di tornare, durante i percorsi didattici,

più volte su uno stesso argomento; l'evoluzione del soggetto studente può portarlo ad indagare uno stesso concetto secondo dimensioni e prospettive da cui prima non era coinvolto, e può inoltre sottolineare importanti affinità tra domini distinti della disciplina.

- *Rischio di errare*: rendere l'errore una vera e propria pratica educativa, fondamentale per i processi formativi, può portare a vivere le relazioni nell'ambiente classe in modo più autentico e disinteressato aprendo a possibilità di decentramento, fondamentali per coltivare le dimensioni pluriprospettiche e pluridimensionali dell'apprendimento.
- *Scholè*: da un lato la ricerca libera e disinteressata dovrebbe permettere agli studenti di affinare i propri quadri teorici *corrispondendo* con l'insegnante senza il peso della valutazione; dall'altro l'insegnante stesso, prendendosi momenti liberi in cui dipingere o arricchire la propria immagine di un concetto speculando insieme agli studenti, dovrebbe esplicitare i modi in cui tiene insieme diverse prospettive e dimensioni del concetto stesso.

Segue l'analisi, svolta secondo gli stessi criteri, della prima parte dell'intervista ad Iride (Tab. 4.3).

Frase Analizzata	Contributo del nucleo tematico coinvolto ai <i>design principles</i>
lo ho avuto esperienze negative in fisica all'università, soprattutto con laboratorio [...]. Avevo una specie di blocco, probabilmente non lo so, il tutto è partito da...diciamo, fattori quali possono essere... il primo fattore è che di per sé magari non mi interessava proprio tanto quella cosa lì, e cioè della parte pratica non me ne frega quasi niente di solito...quindi una cosa può essere la mia predisposizione;	Agencement L'idea di <i>cercatore di percorsi</i> potrebbe suggerire di approcciarsi ad ogni dimensione secondo un approccio pluridimensionale: mettere il fuoco sugli aspetti storici, sociali, umani, ecc., in questo caso delle esperienze sperimentali ("non mi interessava proprio tanto"), può aprire delle vie di apprendimento significativo anche a chi naturalmente non risuona con certe dimensioni.
dall'altra penso che un ruolo importante abbiano giocato le relazioni sociali, perché in laboratorio ci sono i gruppi. [Nella prima esperienza] avevo vicino a me una persona molto... molto spinta nel voler imparare, nel voler sapere, nel prendere in mano la situazione, e io quando c'è questo... quando ci sono questo tipo di persone mi metto da parte, cioè tendo a staccarmi, allontanarmi e non volerne più sapere in tutti i sensi...	Attenzione In questo caso i concetti di <i>co-respondence</i> e <i>response-ability</i> fanno luce sull'importanza di una sana e simmetrica relazione interpersonale, alla base dell'inclusione e che permette esercizi di decentramento lavorando sulla pluriprospettività e la pluridimensionalità. Risulta importante prendersi cura dei gruppi di lavoro, distribuire l'autorità in modo omogeneo ed esplicitare l'importanza della coesione.
[questa prima esperienza] mi ha provocato una forte insicurezza, proprio forte, tant'è che al secondo laboratorio mi sono messa con questa altre due ragazze e le ho detto: "guardate, al primo laboratorio è andata così così, mi sento molto	Rischio di errare Appare qui evidente quanto risulti importante una vera e propria <i>cultura dell'errore</i> : imparare facendo, ancorando il sapere alle esperienze e rendendo queste ultime significative, è possibile solo in spazi

<p>insicura, sappiatelo, ho delle lacune...". Sta di fatto che queste due erano ancora più spinte di quell'altra! [Durante una delle esperienze] come al solito io tendo a non voler interferire, però a un certo punto ho detto: "e no, che cavolo, cioè, così non capisco niente, devo provare anch'io a far qualcosa!" [...] Quindi ho messo un collegamento e vabbè, il circuito non funziona, sicché ci rimettiamo lì a guardare tutto. Quando capiscono che non funzionava il pezzetto che avevo aggiunto io una delle due si gira e mi fa molto seria: "Brava, Iride!" così, come a dire brava, hai fatto una cosa e hai rovinato tutto. Quella giornata è stata tremenda, infatti mi fa sudare ancora adesso perché come tipo di persona sono estremamente sensibile a queste cose qua, e quindi sta cosa cioè, figurati, mi ha... è stato tremendo</p>	<p>non valutativi in cui commettere errori diventa una pratica d'apprendimento fondamentale, e non qualcosa che "fa sudare ancora adesso". Questa possibilità di spaziare è chiaramente in sintonia con tutti i principi di costruzione, ma dato l'ancoraggio all'esperienza risulta centrale, come sopra, la pluridimensionalità: solo in spazi liberi è possibile approcciarsi a livelli sentiti distanti secondo prospettive personali e significative. Coltivare ciò con attività didattiche mostrando dove un errore possa condurre, parlare di errori storicamente importanti o ricercare errori in sistemi non funzionanti può aiutare a creare tutto questo.</p>
<p>alle superiori ho avuto un professore per due anni che è stato il miglior professore che abbia mai avuto di fisica, e mi piaceva moltissimo, come si può dire, la sua pulizia mentale e il fatto che avesse una profondità molto molto grande... perché non ci parlava solo di fisica, molte volte venivano fuori altri discorsi e vedere il modo in cui pensava quella cosa lì...mi ha folgorata, mi è piaciuto tantissimo; quindi una grande persona anche umanamente e questo mi ha...mi è piaciuto un sacco! Lui aveva un approccio molto sperimentale, cosa che a me non fregava niente appunto [...] però mi piaceva molto il suo modo di ragionare, ecco, questo sì, aveva un bel modo di esporre i concetti e insomma apprezzavo il modo in cui ragionava.</p>	<p style="text-align: center;">Attenzione</p> <p>Anche in questo caso le idee di response-ability e corrispondenza esplicitano la necessità, da parte dell'insegnante, di partecipare personalmente ("vedere il modo in cui pensava mi ha folgorata") e umanamente ("una grande persona e questo mi è piaciuto un sacco!") alle lezioni, coinvolgendo in questo il principio di pluridimensionalità. Ciò appare ancora più importante se si tiene conto del fatto che nell'esempio riportato, nonostante l'approccio dell'insegnante sia molto lontano dagli interessi della studentessa ("non me ne fregava niente"), essa riesca comunque a vivere le lezioni con profonda partecipazione proprio per le specificità trasparenti del soggetto insegnante che le gestisce.</p>
<p>Eh per l'università mi è piaciuto molto... avevo un professore che, come si può dire, sai quei professori che vedi quando partono per la tangente, ma in senso positivo, cioè vedi che hanno il loro flusso e se tu ti riesci ad aggrappare al loro flusso allora è bellissimo...c'è stata una lezione che di per sé non so neanche su che cosa fosse, era un argomento x e sono riuscita ad aggrapparmi al suo flusso di pensieri che era molto veloce, cioè, aveva veramente la testa che andava più veloce della sua bocca, però sono riuscita a seguirlo e lì è stata...cioè, ho detto woow, cioè, bello l'ho seguito! Ma non come soddisfazione di dire solo ho capito, è stato abbastanza illuminante !</p>	<p style="text-align: center;">Agencement</p> <p>In questo caso l'insegnante, lasciando andare i propri pensieri in maniera fluida e spontanea ("nel suo flusso"), mette sul tavolo il proprio agencement, mostrando il suo modo di evolvere rapportandosi ad un concetto della disciplina. Dalla riflessione della studentessa appare evidente come ciò porti ad un'autentica forma di immedesimazione nonostante "l'argomento x": senza capire come, travolta dal flusso, si ritrova trascinata dalla corrente. Ciò suggerisce l'importanza, per l'insegnante, di alternare momenti in cui si parla di concetti in maniera strutturata ed organizzata ad altri in cui si segue naturalmente il corso dei propri pensieri, che, per inteso, sono i pensieri di un esperto. Tutti i principi sono coinvolti.</p>

<p>Per me la bravura di un insegnante nell'insegnare fisica in questo senso potrebbe essere, appunto, quella di capire in che modo la fisica può parlare alle varie persone, cioè mi spiego: in che modo può aiutare a crescere le varie persone! Se hai lo studente che è bravissimo allora li puoi spingerti a farlo crescere proprio come si è soliti intendere; se invece hai uno studente che magari fa fatica eccetera la fisica può diventare veramente una sfida, ogni piccola cosa può diventare una sfida a far capire che effettivamente ce la può fare. Io ho scelto di fare fisica [...] perché mi piaceva il modo in cui ti obbligava a ragionare, cioè, devi essere estremamente...non puoi mentire a te stesso mentre fai fisica, cioè, è così o è così, punto, e devi essere proprio pulito. E mi ispirava molto poter andare all'essenza delle cose, capire veramente cosa ci stava sotto.</p>	<p style="text-align: center;">Attenzione</p> <p>Ancora una volta l'attenzione come prendersi cura permette di riconoscere, oltre a ciò che può interessare uno studente in un certo momento, anche ciò che "può farlo crescere": in questo sta "la bravura dell'insegnante nell'insegnare fisica". Un approccio pluridimensionale, pluriprospettico e longitudinale appare fondamentale in questo senso, sia nel rapportarsi alla disciplina, consentendo di entrare in risonanza con gli interessi di ognuno, che nel rapportarsi agli studenti, mantenendo uno sguardo vivo e costante sulle diverse prospettive e dimensioni che li caratterizzano e, seguendo una prospettiva longitudinale, sulla storia formativa di ognuno.</p>
<p>In fisica alla fine cos'è che manca, manca qualcosa di umano, no? Manca quel calore, quella connessione che è molto più semplice trovare, per esempio, avere, se si legge una poesia o cose del genere [...] sta cosa l'ho sofferta, cioè, all'università non c'è niente di così poetico, cioè, devi andarci sotto e punto, però la fisica può essere anche quello, cioè può essere anche un momento di bellezza estetica secondo me!</p>	<p style="text-align: center;">Scholè</p> <p>Creare spazi di ricerca e studio liberi, senza un fine concettuale esplicito, appare fondamentale per entrare veramente in sintonia con un concetto, per sentire "qualcosa di umano, quel calore, quella connessione". Risulta centrale il ruolo della dimensione estetica, da vedere non solo come uno strumento funzionale al coinvolgimento, ma come una delle sfaccettature del concetto ("la fisica può essere anche quello!"), fondamentale alla piena comprensione dello stesso.</p>
<p>io ci credo, anche perché la sento molto sta cosa, cioè proprio...la sento qua, cioè, la sento molto forte! Il problema è che secondo me obiettivamente non tutti hanno la sensibilità per percepire questa cosa, cioè, in una classe questo aspetto estetico molto...quasi sentimentale eccetera, non so quanti riuscirebbero ad acchiapparlo...certo che se becchi quello che ha il minimo di sensibilità per questa cosa lo folgori, cioè, sicuro! [...] L'ultima cosa che mi è venuta in mente è che probabilmente non entri risonanza con quello a cui non frega niente il tipo di approccio che hai, però quando tu dici qualcosa in cui credi il modo in cui lo dici colpisce comunque! Cioè, anche se all'altro non gliene frega niente quello di cui stai parlando...però cacchio, cioè, ti fa una certa impressione secondo me, in ogni caso vale la pena !</p>	<p style="text-align: center;">Attenzione</p> <p>Si insiste ancora sull'importanza dell'esperienza estetica ("io ci credo, la sento molto sta cosa"), tanto legata ai sensi da diventare quasi sentimentale. In questo caso a risultare centrale sembra il prendersi cura, da parte dell'insegnante, dei concetti proposti: sentirli e corrispondere con essi lo porta a "credere in ciò che dice", e questo lascia trasparire una forma autentica e pura di conoscenza che non può lasciare indifferenti ("colpisce comunque, ti fa una certa impressione!"). Ancora una volta risulta centrale la dimensione <i>personale</i> dell'insegnante, e appare evidente che parlare delle proprie esperienze e sensazioni rispetto a un concetto dia un'immagine più reale dello stesso, permettendo di farne esperienza in un modo più autentico.</p>

Tab.4.3: Analisi dell'intervista a Iride

Da questa analisi emergono affinamenti dei principi di costruzione e pratiche per potenziarli in parte contenuti in quella precedente e in parte distinti. Segue una sintesi dei risultati:

- *Attenzione*: Prestare attenzione alla creazione di relazioni simmetriche nei gruppi di lavoro, insistendo sull'importanza della coesione nella ricerca, appare fondamentale per autentici esercizi di decentramento. Come prima emerge chiaramente l'importanza della dimensione umana e di quella personale, che permettono di approcciarsi anche ad argomenti con cui non si risuona particolarmente e di fare di essi un'esperienza più profonda. Infine avere un approccio pluridimensionale, pluriprospettico e soprattutto longitudinale anche sul percorso formativo dello studente, permette di coinvolgerlo e stimolarlo nel modo più significativo possibile.
- *Agencement*: Risulta molto importante avere un approccio pluridimensionale anche sulle singole dimensioni che coinvolgono un argomento: riflettere sui livelli storici, personali o epistemologici di un esperimento, o sulle implicazioni sperimentali, sociali ecc. di un concetto epistemico permette di intraprendere percorsi ancora più inclusivi e significativi. Esplicitare inoltre il modo in cui si riflette spontaneamente su un argomento, mettere sul tavolo la propria agency in divenire, può permettere forme di immedesimazione molto profonde e forti esperienze di decentramento.
- *Rischio di errare*: Come sopra, valorizzare e *mettere in cultura* l'errore permette di approcciarsi anche a livelli non particolarmente affini alla propria persona generando prospettive inusuali e creative.
- *Scholè*: Emerge, nel contesto della ricerca libera e disinteressata, tutta l'importanza della dimensione estetica; questa non è semplicemente uno strumento per catturare l'attenzione su un argomento, ma uno dei principali livelli che lo caratterizzano e che rendono possibili esperienze significative e *folgoranti*. Contribuire *personalmente* a questa dimensione può coinvolgere anche studenti meno affini ad essa e aprire le porte ad altri livelli.

Nel tentativo di confermare le analisi precedenti e di individuare altri possibili affinamenti dei *design principle* si analizzeranno le altre sei interviste in modo più sintetico e discorsivo nelle quattro sezioni successive: ogni sezione è associata a un nucleo tematico e contiene le affermazioni che, facendo riferimento ad essi, contribuiscono allo sviluppo dei principi di costruzione.

Attenzione

Colpisce molto il fatto che su otto interviste, alla domanda relativa ad esperienze significative e che hanno lasciato un segno nel rapporto con la fisica, in due casi si faccia riferimento al concetto di *resilienza*. La prima a parlarne è Alessandra, che dice:

” Onestamente, a livello umano, di cose positive in me ne ho riscontrate per quanto riguarda la resilienza, cioè la capacità di non arrendersi di fronte a un problema con tutti gli scontri che puoi avere...ad una certa ti abitui a non capire, ti abitui a tirarci fuori i piedi un po' da solo, un pò con l'aiuto dei tuoi compagni, però insomma sì, sei sempre un po' da solo, soprattutto se non riesci a stare dietro ai professori e alle materie, agli esami e quant'altro...” (Alessandra).

Sembra essere dello stesso parere Riccardo, affermando che lo stesso ambiente scolastico

”crea una necessità di sopravvivenza e in un certo senso contribuisce a sviluppare una grande, grande resilienza[...]che poi alla fine è un effetto positivo, anche se lede pesantemente la salute psicologica, no ?” (Riccardo).

Il concetto di resilienza come risposta ad un ambiente scolastico ostile nello studio delle discipline scientifiche, è stato analizzato accuratamente in uno studio sulla minoranza afroamericana negli Stati Uniti (McGee, Martin 2011): sembra superfluo aggiungere parole circa l'importanza di una visione pluriprospectiva, pluridimensionale e longitudinale che l'insegnante deve avere nei confronti degli studenti e che era emersa nelle precedenti interviste.

Ritorna anche la centralità dell'interazione, e quindi dell'attenzione come tensione verso l'altro, a cui dedicare cura e con cui corrispondere; Riccardo fa riferimento prima ad un suo professore del liceo *” molto monodirezionale e con uno standard di livello granitico, cioè non flessibile”*, affermando che

”era appassionatissimo e veniva a spiegare anche con la febbre a 38...durante tutte le pause era accerchiato da chiunque, parlava...cioè, si vedeva che la viveva! E questo in un certo senso giocava contro l'allontanamento” (Riccardo).

poi parla dell'ambiente dell'università che

”ti innalza! [...] Fra prima dell'università e tre mesi dopo l'inizio io riuscivo a percepire su me stesso un aumento di livello proprio in generale, soprattutto mentale ma insomma in generale, impressionante, dovuto solo al fatto di stare dentro la comunità fisica, principalmente studenti ma anche professori, come si atteggiavano, come spiegavano come parlavano...” (Riccardo).

È dello stesso parere Marco, per cui:

”Avere affianco, all'università, persone stimolanti e stimolate dalla fisica, dai temi che a me piaceva affrontare, di cui mi piaceva dibattere... ha portato sicuramente a sviluppare nuovi pensieri, nuove idee e sentirla anche più nostra la fisica!” (Marco).

Anche per Fabio interagire con altri studenti è stato molto importante, ma ha avuto esperienze generalmente negative durante la triennale, poiché ogni lezione:

"era sempre un passaggio professore-studente che finiva lì, Non c'era il minimo ritorno studente-professore... questo...mi rendo conto che in questi anni in realtà mi ha allontanato dalla fisica, nel senso, l'ha resa meno emotiva per me, mi ha permesso meno, nel mio tempo, che non era più nella classe, di vivere la fisica, cioè di renderla viva nella vita!" (Fabio).

Si trova infine sulla stessa lunghezza d'onda Paolo, che dice: *"mi sono sentito escluso [...] quando la lezione non richiedeva la mia riflessione, quindi era monologica o non veniva richiesto un apporto personale, o insomma un' interazione..."*.

Creare momenti di condivisione aperti e liberi, rendere l'interazione una pratica fondante della scuola appare di vitale importanza per promuovere esercizi di decentramento, per creare un ambiente libero ed inclusivo e per promuovere forme di creatività e modi personali d'indagine, promuovendo ambienti simili a quelli della ricerca scientifica.

Si ritrova anche l'importanza della dimensione umana della fisica; per Fabio è proprio non far riferimento ad essa ad allontanare dalla disciplina:

"In filosofia o in letteratura, forse perché siamo portati a vedere quello che stiamo studiando come il pensiero di qualcuno, essendo noi un'altra persona ci sentiamo in potenza di... avvertiamo la capacità, la possibilità di metterlo in discussione! Mentre con la fisica no, c'è questa idea di sapere deciso, si studia la legge, non si studia il processo!" (Fabio).

Anche per Marco la dimensione umana è centrale; afferma infatti:

"Io ho amato il corso di storia della fisica perché ti permette di umanizzare tutte quelle persone, quelle figure che per te sono sempre state delle divinità, cioè, ma come ci è arrivato Newton a capire queste cose?! Lorentz, Galileo...e invece uno scopre delle persone dietro a questi miti..." (Marco).

Per concludere questo paragrafo si è scelto di riportare un'ultima affermazione di Riccardo, che sembra chiarire bene cosa significhi, per un insegnante, prestare attenzione ad una pratica didattica:

"Se quando te spieghi è il libro che spiega, perché spieghi? Fagli leggere il libro! Se quando devi esporre un certo concetto, un esperimento, un evento, sei te che spieghi, sei il narratore, sei il protagonista, sei l'artefice di una scena che si muove fra video, lavagna, cose, aula, dibattito, fai da mediatore, fai da moderatore! Se si crea uno stralcio di vita, allora quella è una pratica didattica che va bene, e ci stai te come ci sono gli studenti! C'è un'amalgama di esperienze che si mescolano, insomma, che vengono fuori, che si creano, e nonostante sia in un certo senso specifico dell'argomento, poi in qualche maniera diventa un'esperienza personale! È lì che passi dalla lezione frontale in cui ti riempio la brocca a un che di vissuto!" (Riccardo).

Agencement

L'agencement come *agency in divenire*, fluida sotto la continua esposizione agli stimoli dell'ambiente, esplicita ancora una volta l'importanza della pluri-dimensionalità; innanzitutto, come dice Fabio, secondo una tale prospettiva

”sei molto più esposto agli stimoli perché hai molti più stimoli diversi, quindi magari non tutti gli stimoli che ti vengono proposti risuonano in te, ma c'è più la probabilità che qualcosa ti colpisca e ti faccia mettere in gioco” (Fabio).

Facendo riferimento ai corsi di Didattica della Fisica e Storia della fisica e ad una summer school del progetto IDENTITIES, afferma che ciò che lo ha colpito è stato il fatto che si ritrovasse

”un riscontro nel suo mettersi in gioco! E secondo me una cosa che spaventa a livello delle scuole superiori [...] è il fatto che si pensi che lo studente, non avendo un background solido, non riesca ad arrivare al punto della questione, quando invece magari con una lezione frontale arrivi sì al nocciolo della questione ma lo studente non lo sta facendo proprio” (Fabio).

Torna quindi l'immagine dello studente come *cercatore di percorsi*, che secondo le proprie inclinazioni e gli stimoli che riceve dall'ambiente costruisce vie personali e creative. Conclude creando ancora un parallelismo tra l'ambiente scolastico e quello di ricerca, sottolineando che in quest'ultimo

”l'approccio ecologico secondo me si vede molto perché nell'ambito della ricerca è più facile essere in un ambiente in cui c'è uno scambio più diretto, più stretto e quindi questo continuo feedback può portare a una serie di epifanie, nel senso, una serie di decisioni azzeccate per proseguire nella ricerca” (Fabio).

Anche Riccardo si sofferma sull'importanza di percorsi didattici aperti e plastici, che evolvono seguendo gli interessi e i passi della classe; ha apprezzato molto questo modo di fare nella magistrale in Didattica della fisica, soprattutto nel corso di Didattica della matematica che, dice:

”Per me è stato il miglior corso della magistrale ! A parte che non abbiamo mai fatto una lezione con l'idea di dire arriviamo fino in fondo a qui, facciamo questo... si andava, si guardava cosa veniva fuori, no, e poi eventualmente ci si lavorava, nel caso venivano saltati pezzi... insomma, ci si arrangiava, era una cosa molto corale...” (Riccardo).

Contestualizza infine l'importanza di seguire fluidamente i percorsi intrapresi dagli studenti affermando che *"nel momento in cui loro partono e vanno ad apprendere tu gli devi creare la strada che loro si stanno immaginando sotto i piedi!"*.

Anche qui è centrale l'immagine di studente catturato nella sua fragilità e nella sua continua evoluzione e formazione. Un approccio pluriprospectico, pluridimensionale e longitudinale risulta centrale per catturare gli interessi e l'attenzione di esso, ma anche allargare lo span delle singole dimensioni, approcciandole da diverse prospettive, risulta fondamentale. Creare poi spazi d'indagine in cui permettere agli studenti, da un certo punto di partenza, di muoversi secondo le proprie intuizioni e convinzioni, tutte rispettabili, in un'ottica individuale o collettiva, permette loro di visualizzare possibili traiettorie significative e di approcciarsi in modo realistico al mondo della ricerca.

Rischio di errare

Mettere in cultura l'errore è fondamentale per creare delle pratiche didattiche inclusive e significative: è di questo parere Andrea, che sottolinea come *"vedere questo trial and error [...] possa aiutare anche lo studente a capire come funziona il ragionamento della fisica, delle scienze in generale ma della fisica!"*. In questo senso afferma l'importanza della dimensione storica:

"Mostrare delle prospettive storicamente esistite ti fa anche dire - ragazzi, tranquilli, potete ragionare, potete intervenire, fare le vostre valutazioni perché non è che sia tutta una cosa monolitica, un blocco unico che vada fatto così e così... questa cosa spesso in realtà temo manchi in fisica, non solo, ma in fisica e matematica temo manchi abbastanza nell'insegnamento... mediamente nelle lezioni..."(Andrea).

La cultura dell'errore, inoltre, permette di vivere anche le dinamiche inter-relazionali in modo intenso, autentico e funzionale. Lo sottolinea Paolo, che evidenzia l'importanza delle esperienze di decentramento vissute:

"Quando finiva la lezione ci mettevamo a studiare per l'esame e io imparavo le cose che non avevo capito a lezione, le imparavo in questo modo, e portavo la mia visione distorta di quello che avevo capito a lezione, dell'idea che mi ero fatto, e questa visione veniva...da ogni feedback che ricevevo veniva aggiustata e veniva corretta. Stessa cosa quelle degli altri con me, quindi anche l'angolazione da cui l'avevo presa io correggeva l'angolazione degli altri! Alla fine...esattamente guarda, col tavolo ci hai preso alla grande, cioè, in mezzo, alla fine, da tutte queste angolazioni esce la cosa più completa che può uscire insomma, al centro e nella testa di tutti!"(Paolo).

Conclude affermando l'importanza dei lavori di gruppo, che permettono agli studenti *"di tastare il terreno e già di indirizzarsi verso un percorso che è più a loro congeniale..."*.

In conclusione ancora una volta è stato sottolineato il ruolo cardine dell'errare nella pratica di esercizi di decentramento, tramite cui è possibile cogliere una molteplicità di dimensioni e prospettive sulla disciplina, oltre ad affinità strutturali tra domini distinti che la caratterizzano; si è visto inoltre come questo sia alla base di un ambiente sano, aperto al confronto, e fondamentale per ogni ricerca che si possa dire autentica, e ciò è confermato anche dalla storia della scienza e della fisica. Umanizzare la disciplina mettendo in cultura l'errore sembra dunque indispensabile per una didattica inclusiva e significativa.

Scholè

Una prima riflessione sulla *scholè*, e in particolare sull'idea di *tempo dell'altro*, viene da Alessandra, che a proposito delle sue esperienze in matematica e fisica al liceo dice:

"Facevo moltissima fatica a capirle e secondo me la prof andava come un treno [...]. Mi sentivo come una carrucola che andava dietro a una Ferrari, non riuscivo a starle dietro, per cui diciamo che i momenti in cui ho fatto più fatica o in cui mi sono sentita più esclusa sono stati i momenti in cui gli insegnanti andavano particolarmente di fretta" (Alessandra).

Da una parte c'è quindi la fretta nel presentare certi argomenti senza prestare attenzione ai tempi di cui ciascuno studente ha bisogno per confrontarsi con essi, e dall'altro, come suggerisce Fabio, c'è la fretta di portare avanti il programma che taglia fuori ogni esperienza trasversale; riferendosi alla mancanza, alle scuole superiori, delle sessioni di laboratorio, dice: *"secondo me è stata una occasione persa, perché avevamo comunque un bel gruppo classe e avremmo potuto fare qualcosa se il professor avesse deciso : 'Ok ci prendiamo del tempo nonostante tutto, nonostante siamo sempre in ritardo troviamo del tempo per fare quel tipo di esperienza che è un'esperienza diversa' "*. Riferendosi invece al modo di posizionarsi dell'insegnante, e quindi allo spazio che lascia agli studenti, dice:

"C'è bisogno di rendersi conto che l'insegnante forse deve fare un passo indietro, ma non perché non serve ma perché il suo compito è quello... non è quello di fare arrivare alla risposta ma lasciare lo studente libero di elaborare, è l'elaborazione e poi la capacità di elaborare nel modo giusto e quindi fare un lavoro corposo che lo fa crescere...e quindi lasciare lo spazio allo studente per fare questo tipo di lavoro, lo spazio e il tempo" (Fabio).

Sembra dello stesso parere Riccardo, che entusiasta del corso di Didattico della Fisica, e in particolare dei lavori di gruppo, dice:

"è più un lavoro di indagine, di esplorazione, di riscoperta[...]. Sei uscito da scuola, hai riscoperto, c'è stata proprio una crescita personale! E non è necessariamente legato alla disciplina, però è causato dalla disciplina" (Riccardo).

Per sintetizzare, dai commenti proposti sono emerse tutte le sfaccettature del concetto di *scholè*, viste come delle esigenze per un apprendimento personalizzato. Non si può prescindere innanzitutto dal *tempo dell'Altro*, alla base dell'inclusione e del supporto che lo studente deve avere; risulta evidente l'importanza di lasciare poi tempo per "esperienze diverse" e soprattutto per speculare liberamente: solo in questo modo c'è una crescita non solo cognitiva ma soprattutto personale. In questo caso è necessario che l'insegnante abbia la capacità di fare un passo indietro, lasciando agli studenti la *responsabilità* del loro apprendimento. Riprendendo infine un commento di Fabio già proposto nella sezione sull'attenzione (vedi sopra), l'umanità della relazione con l'insegnante sembra essere di grande importanza per trasformare il tempo trascorso nella scuola in tempo proprio, ovvero per "far vivere la fisica nella vita", facendo esplodere la bolla decritta nel paragrafo 2.4 .

4.2 Passaggio al concreto: la relatività ristretta

4.2.1 Discussione collettiva

Nel caso dell'incontro collettivo si sono provate a verificare le potenzialità dell'approccio presentato in un contesto specifico: la relatività ristretta. Si è deciso di utilizzare la metafora di Masschelein e Maarten dell'oggetto di conoscenza sul tavolo per provare a guardare, in una sola domanda, a tutti i nuclei tematici contemporaneamente, senza perdere in questo modo le loro intersezioni. La domanda, proposta agli studenti attraverso una Jamboard, è la seguente:

- Entrando nello specifico delle relatività ristretta, cosa può voler dire, secondo te, mettere le trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski sul tavolo e renderle poetiche?

Anche in questo caso le risposte (*Fig. 4.7*) risultano particolarmente ricche e stimolanti, ma molto concise e per questo non troppo esplicite. Esse sono state raggruppate rispetto ai nuclei tematici che più sembravano catturarne le sfaccettature; le cinque etichettate come "concettuali" sembrano essere ancorate a caratteristiche specifiche degli argomenti, e non alle pratiche con cui questi potrebbero essere presentati, e sono state quindi escluse dall'analisi.

Si insiste molto sulla centralità dell'aspetto estetico e sull'importanza che ha, nella contestualizzazione storica, un fuoco sull'umanità dei personaggi coinvolti: bisogna "cercare un'estetica intrinseca da cui gli scienziati sono influenzati quando costruiscono oggetti matematici", far scaturire dai concetti visti "l'umanità delle persone che ci hanno lavorato sopra e i loro valori", ma anche "la fatica connessa ad essa": la dimensione storica, "anche romanzata" sembra imprescindibile per fare ciò. Emerge poi la necessità di un approccio pluriprospettico e pluridimensionale, da coltivare "attraverso una riflessione interdisciplinare tra matematica, fisica e filosofia", capace di mettere in risalto

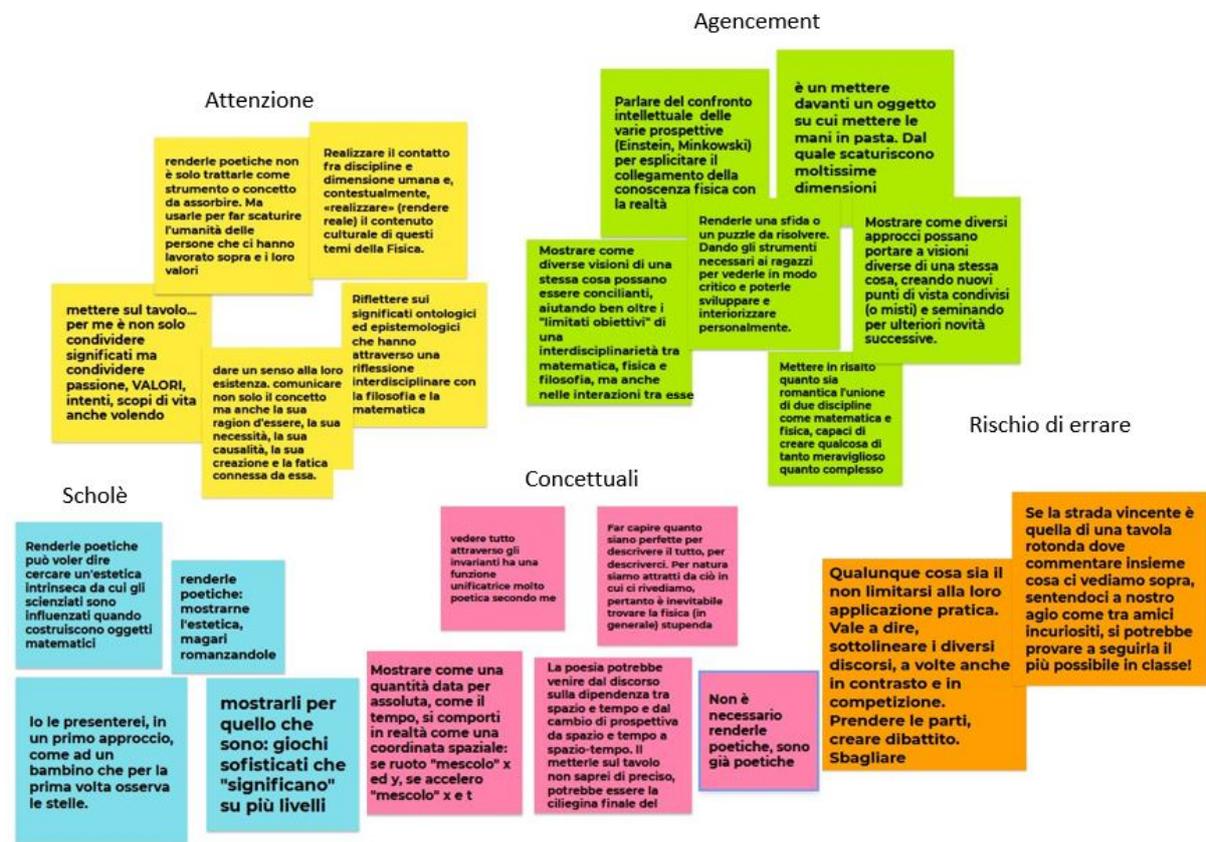


Fig.4.7: Trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski sul tavolo raggruppati per nuclei tematici

”quanto sia romantica la loro unione”, che porta a creare qualcosa di ”tanto meraviglioso quanto complesso”. Nell’approcciarsi ad esso bisogna essere coinvolti attivamente, ”prendere le parti, creare dibattito, sbagliare”, sentirsi a proprio agio ”come tra amici incuriositi” e tutti insieme ”mettere le mani in pasta”, contribuendo, ognuno secondo la propria inclinazione, al risultato finale.

Per sintetizzare, occorre mostrare simili oggetti di conoscenza per quello che sono: ”giochi sofisticati che significano su più livelli”. Da questo ultimo commento sembra emergere in modo particolarmente vivo la compresenza dei principi di costruzione e dei nuclei tematici: da un lato la complessità di tali oggetti, che coinvolge molteplici dimensioni, prospettive e domini della disciplina, deve essere esplicitata per poter interagire autenticamente con essi; dall’altro non si può prescindere dal fatto che essi siano *giochi*, da manipolare secondo la spontaneità dell’agencement, nelle pratiche libere e speculative della scholè, avendone cura ed errando con essi, prendendoli come compagni di viaggio.

A partire dalle riflessioni emerse si è dunque deciso di proseguire l’indagine in inter-

viste individuali per provare ed esplicitare in modo più chiaro il senso di certi commenti e proporre uno spazio per condividerne di più estesi.

4.2.2 Interviste

In questa sezione è analizzata la seconda parte delle interviste condotte, in cui si provano a ricavare proposte didattiche che siano coerenti con l'approccio presentato. Per comodità si riportano le domande proposte:

- Provando a pensare ad argomenti specifici (Trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski), cosa pensi che possa significare “agire in coerenza con” il percorso presentato?
- In che modo, presentando questi argomenti, può essere possibile mostrare “cosa vuol dire cercare, cosa vuol dire conoscere, cosa vuol dire innamorarsi di qualcosa”, riprendendo l'intervento di Igor?
- Riprendendo la jamboard emersa alla fine dell'incontro collettivo, ci sono dei commenti che secondo te sono particolarmente vicini all'approccio ecologico presentato e potenzialmente fruibili in attività didattiche? Perché? Ti andrebbe di provare a svilupparli ulteriormente o di avanzare ulteriori proposte concrete per affrontare un argomento specifico (Trasformazioni di Lorentz/ Diagrammi di Minkowski) in coerenza con l'approccio visto?

Si è deciso di riportare le risposte di ogni studente in forma unitaria, in modo da compattare le argomentazioni evitando ripetizioni. Queste sono state circoscritte per affinità nelle seguenti sezioni e alla fine di ognuna è riportata una sintesi sul ruolo dei nuclei tematici e dei principi di costruzione.

Fabio: per una conoscenza *in prima persona*

L'idea idiosincratica di Fabio è che per far sì che un contenuto sia appreso in modo significativo, sia necessario lavorare ad esso personalmente, ovvero in prima persona; la sua proposta didattica, che torna più volte nell'intervista, è ben sintetizzata nel seguente intervento:

”Per quanto riguarda le trasformazioni di Lorentz e i diagrammi di Minkowski penso all'importanza di...di renderle personali, cioè renderle proprio in prima persona! [...]. Secondo me una cosa veramente bella è far vedere come le stiamo vivendo in prima persona queste cose, cioè dire: “Ragazzi, noi stiamo viaggiando con la nostra galassia intorno a questa stella...a questa velocità, intorno al centro della galassia, come...cosa significa questo per

noi?” Metterci dentro noi nel problema, nella questione...è una cosa che già si tende a fare in alcuni casi, in alcuni contesti, e il rischio, che metto subito avanti, è quello di renderlo un po' didascalico, cioè si creano dei problemi ad hoc, si semplifica, un po' la questione per far venire fuori quello che si vuole. Io personalmente mi terrei il tempo di parlarne...lascerei spazio alla complessità e direi ok, lavoriamo appunto su di noi e su dove vediamo che queste cose ci toccano, ok, e può essere un approccio sia in cui il professore appunto mette davanti agli studenti dei problemi personali sia il contrario, in cui gli studenti vanno alla ricerca di questi problemi che può essere anche più interessante! E poi lì si affrontano uno per uno, nel senso che tante volte potrebbe essere che agli studenti viene in mente qualcosa, qualche quesito che però non siamo ancora in grado di risolvere, eh ma va bene così! Cioè, ci si mette lì e si dice: "ok, proviamo a risolverlo..." e se non funziona capiamo che c'è qualcosa che manca eh...eh va benissimo! Cioè, in ricerca e anche in in fisica in generale, sappiamo bene che c'è sempre qualcos'altro che non stiamo considerando oppure qualcosa che stiamo approssimando.... eh va bene! Cioè, si affronta il problema, si vedono...si lavora sul problema reale per cercare di estrapolare le informazioni che ci interessano, quindi non per forza per arrivare al risultato ma per imparare a ...perché una volta che hai estrapolato le informazioni hai il quadro di riferimento, magari non hai la risposta ma hai il quadro su cui ti stai muovendo!" (Fabio).

Ciò che conta per Fabio non è avere risposte precise a domande preimpostate ma al contrario, perdersi nel cercare tanto le domande quanto le risposte a partire da esperienze di immedesimazione che possono poggiare su elementi concreti o essere, come in questo caso, del tutto immaginative. Tali esperienze risultano fondamentali, in quanto basate su un posizionamento esplicito della propria persona rispetto al problema, o meglio, della propria *prima persona*. In questo modo l'esperienza didattica può diventare esperienza vissuta, e anche se non si trovano risposte si sarà fatto proprio il quadro di riferimento, che sarà entrato nel proprio orizzonte di significato. L'errare risulta evidentemente centrale per Fabio, e non solo per gli studenti ma anche per gli insegnanti, come esplicitato nella seguente riflessione:

"L'esperienza di tutti i giorni ci dice che a molti studenti non interessa niente di quello che stiamo facendo sostanzialmente...quindi come fai ad avvicinare quegli studenti là?! Quello che devi fare è perderti, cioè, devi darti la possibilità di allontanarti pian piano dalla via che ti eri prefissato finché non incontri i binari su cui stanno viaggiando loro! E quindi devi per forza allargarti eh...e non per forza questa è una perdita di tempo perché può dare anche al professore la possibilità di imparare ad affrontare un certo argomento con modalità diverse!" (Fabio).

In conclusione, dagli interventi proposti risulta centrale, secondo un approccio pluri-prospettico, mettere il fuoco sul proprio punto di vista: posizionarsi nella realtà rispetto a ciò che si sta studiando, ed errare liberamente in questa prospettiva, permette di fare esperienza diretta ("vissuta") del quadro di riferimento. Ciò risulta indispensabile per collocare forme di conoscenza, definirne il dominio e soprattutto renderle significative per sé.

Riccardo e Igor: la narrazione come *esperienza di vita*

I punti di vista di Riccardo e Igor, anche se diversi nell'implementazione, poggiano sullo stesso assunto, e cioè sul fatto che una trattazione fortemente narrativa, ricca e attentamente costruita, possa diventare una vera e propria esperienza vissuta; ciò, secondo loro, risulta ancora più importante nel caso in cui, come nella relatività, gli argomenti di cui si parla sono estremamente lontani dall'esperienza quotidiana: la narrazione diventa, per usare le parole di Riccardo, "la trasformazione di Lorentz" che porta dal proprio vissuto a qualcosa di non esperibile.

La proposta di Riccardo è la seguente:

"A prescindere dalla classe io penso che proverei a cominciare [...] con un forte elemento di realtà su cui io possa di fatto mettere le mani, non un qualcosa di astratto. E questo lo porrei pesantemente in una trattazione narrativa, perché io sono patito della trattazione narrativa e soprattutto perché secondo me più quello che vai a trattare è lontano dalla narrazione quotidiana, più te hai bisogno di una narrazione che ti faccia da ponte. Allora io cosa faccio, mi devo costruire tutta una narrativa che faccia leva su questo esperimento, che faccia proprio da trasformazione di Lorentz fra la visione intuitiva e la visione invece post-ragionamento sull'esperimento" (Riccardo).

Facendo riferimento ad un esperimento del PSSC sull'energia cinetica di particelle relativistiche, Riccardo spiega che a partire da una testimonianza del genere, in una lezione fortemente interattiva e utilizzando molti materiali più o meno formali, cercherebbe di far scattare in modo corale la necessità, l'esigenza di scoprire cosa manca alla meccanica classica. A questo punto, continua:

"Io ti pongo davanti una situazione, tipo l'esperimento mentale sulla relatività della simultaneità. Parto un da un osservatore tipo quello fermo, ok, lui li vede simultanei. Va bene, può succedere che te vedi due flash, no? Allora quell'altro come li vede, io mi faccio tutti i conti con la mia meccanica classica e viene fuori che anche quell'altro li vede simultanei perché la velocità del treno si somma alla velocità della luce...e poi dico ok, però se faccio l'esperimento quell'altro non li vede simultanei! Come non li vede simultanei,

cosa stai dicendo?! Perché viene fuori che facendo tutta una serie di esperimenti alla velocità della luce le altre velocità non si sommano! Cioè, dove sei sei, la velocità della luce c'ha una velocità, quella è e quella rimane! Allora? Allora bisogna rifare i conti, li abbiamo fatti, tecnicamente sono quelli, però abbiamo fatto una cosa che abbiamo visto dagli esperimenti che non è una consentita! Allora rifacciamo tutti i conti, faccio i conti per l'osservatore sul treno e i conti mi tornano con l'esperimento, cioè, anche i conti mi dicono guarda, lui non li vede simultanei! Allora questo cosa vuol dire?!"(Riccardo).

Continua affermando la necessità di esplicitare anche gli stessi principi della relatività seguendo una modalità del genere, perché:

"É come se fosse un'esperienza...anche perché... cioè, lo sai anche tu, è roba che la...relatività, le trasformazioni di Lorentz in sé non sono cose esperibili nella vita di tutti i giorni, è roba che boh, mi fido. Ecco, questo mi fido va eliminato per favorire la comprensione, e io lo farei con una trattazione narrativa in modo da creare quell'esperienza che manca! Dici, ma è un racconto! Allora, è un racconto, sì, ma anche i libri e i film sono racconti, però possono diventare parte delle tue esperienze di vita! [...] Non è più un concetto scolastico, è un'esperienza che io ho vissuto a scuola e magari in quanto esperienza non ha una connotazione scolastica, quindi diventa ecologico anche in un'ottica di poi dopo, si espande più facilmente, si radica meglio non solo nell'ambiente scolastico ma anche nell'ambiente extra scolastico!"(Riccardo).

Alludendo alle difficoltà che gli studenti potrebbero incontrare, riflette infine sull'importanza che potrebbe avere in questo senso far riferimento alla dimensione personale dei precorritori della relatività: "Immaginatevi quanto si sono spaccati il cranio! Lì di nuovo diventa uno stralcio di vissuto". La dimensione *personale* è centrale anche per l'insegnante poiché è proprio il taglio che questi riesce a dare alla narrazione, ed il suo mettersi sul tavolo, nel metterci l'oggetto di conoscenza, che a suo dire può renderla una esperienza di vita.

Dal punto di vista di Igor, invece, la narrazione è sì fondamentale, ma se introdotta da un'esperienza di *stupore*, necessaria a generare "un'attenzione diversa e una volontà sicuramente rinata di scoprire". Un approccio possibile, suggerisce Igor, potrebbe essere il seguente:

"Vedere come lo spazio e il tempo in un certo senso si mescolino... creare questa idea che realmente una cosa si possa mescolare con l'altra... e questa...finisce la lezione così, non so, lanci una bombetta di fumo e te ne vai, chi rimane dice wow! [...] Una volta che hai stravolto continua a stravolgere, perché se prima era sempre stato un 'leggi-ripeti', oppure 'questa è la nozione, imparala', stravolgi anche quel metodo, quindi parla come se stessi parlando

di cultura, come se stessi parlando di un racconto, una storia, una storia come può essere uno scrittore che scrive qualcosa, un comandante che va a conquistare qualcos'altro, uno scienziato che ha pensato a questa cosa [...]. A quel punto, quando hai tutte queste armi, butti la bombetta del formalismo in modo un po' finale... dopo che hai fatto sedere tutti al tavolo, perché tutti erano seduti a caso, hai fatto sedere tutti al tavolo perché li hai scombinati, gli hai risvegliato l'attenzione, incominci a parlare di questo aspetto, di questa cosa" (Igor).

Approfondendo la sua idea di narrazione, suggerisce che seguire un approccio storico potrebbe essere importante:

"Secondo me è fondamentale non fargli vedere la linearità [...]. In una storia ci sono dei colpi di scena, ci sono delle fatiche, delle difficoltà, delle cose ci vanno vicine; quindi questo mettere in cultura, e se ti dovessi dare una risposta così, il più concreto che posso dare, è presentarlo realmente come una storia, quindi dire ci troviamo in questa situazione, siamo in questo contesto, loro pensano questo, ci sono queste persone che stanno sbagliando, c'è questo signore, c'è Lorentz che aveva visto matematicamente, quindi anche per vedere un attimo lo scollamento tra la rappresentazione matematica e la realtà, quindi dire che le rappresentazioni, anche lì, perché vengono legate tutte ad Einstein come se le avesse trovate...no! C'erano, e magari anche dire che spiegavano qualcosa di diverso [...]. Poi c'è questo personaggio che incomincia a prendere questa strada con questa creatività, con questa idea, ed è questo Einstein, ma anche senza insistere su di lui, c'è questo personaggio che fa questa cosa e poi dice 'io ho pensato questo, vediamo se nella realtà, nel mio ecosistema ci sono altri personaggi, altre menti che hanno avuto altre idee...prendiamo questo strumento! Quindi riprendendo anche l'idea di strumento vediamo che inserendo i miei principi funziona comunque...' quindi vedere come si iniziano a incastrare" (Igor).

A questo punto, conclude, un tale impianto narrativo, a seconda della classe, può ramificarsi lungo una molteplicità di direzioni, e un simile percorso sarà estremamente significativo:

"[Il percorso] ti ha portato dietro talmente tante cose che sei innanzitutto una persona molto più consapevole, che è quello che deve fare la scuola, e poi hai legato Lorentz a così tante cose che anche se non vuoi ti rimane! Quella ragnatela non è un filo che è partito e ho presentato Lorentz...no, te l'ho presentato con una storia, con una parte storica, te l'ho presentato con errori e messe a posto, te l'ho presentato come modello, te l'ho presentato...e questo forse è anche un modo di vedere più prospettive, più aspetti della stessa

cosa, te l'ho presentato attraverso talmente tante cose che è in una ragnatela da cui non lo puoi distaccare [...], e più ne riesci a tenere insieme e più lo radichi!” (Igor).

Risulta centrale, nella riflessione vista, l'idea di *complessità produttiva*, alla base della proposta di Igor, caratterizzata da un approccio che coinvolge tutti i principi di costruzione. Ha un ruolo fondamentale anche l'elemento di stupefazione, o esperienza estetica, che permette di *corrispondere* con l'oggetto, reso pubblico e quindi appropriabile. Anche in questo caso la dimensione storica permette di dare spazio alla dimensione umana interna alla disciplina, la rende cultura e, in particolare, rende parte della cultura della disciplina l'errore, la negoziazione e la fragilità.

In conclusione, sintetizzando i contributi dei due eventi, emerge l'importanza di dare spessore all'oggetto di conoscenza in questione, facendo leva sui principi di pluriprospektività, pluridimensionalità e longitudinalità; allo stesso tempo risultano centrali le dimensioni *personale* e *umana* dell'insegnante, che deve partecipare attivamente e sinceramente all'attività, mettendosi completamente in gioco e provando ad entrare in risonanza con i bisogni della classe. Queste dimensioni possono essere coltivate anche portando avanti una narrazione storica centrata sulle sensazioni e sui modi dei personaggi coinvolti: a partire da ciò è inoltre possibile radicare nella cultura della disciplina la pratica dell'errore, fondamentale per un ambiente inclusivo. Infine l'esperienza estetica, riportata qui come *elemento di stupefazione*, è ciò che permette di iniziare la pratica didattica, aprendo le porte della *scholè*.

Andrea, Alessandra e Paolo: il dibattito scientifico in aula

Per Andrea, Alessandra e Paolo alla base di un'esperienza didattica significativa è necessaria una costruzione corale dei contenuti, centrata sul dibattito in aula. Ciò emerge in modo evidente nell'intervento di Andrea, la cui proposta didattica è la seguente:

”Presenterei prima di tutto il problema del passaggio da un sistema di riferimento all'altro e direi 'Ragazzi, abbiamo però una velocità che non possiamo superare, dobbiamo capire come questo incida poi nel passaggio da un sistema di riferimento all'altro...per poter descrivere il tizio in treno rispetto alla stazione e quelle cose lì...' e quindi proverei proprio a sfruttare il fatto che c'è una discussione in aula, il fatto che comunque si riesca a creare quella dinamica nell'ecosistema classe in cui c'è un confronto tra più idee, pescando quando vedo qualcosa che torna come quello che sappiamo storicamente a livello di didattica [...]. Poi a un certo punto arriverei a tirar fuori gli esempi di Einstein e di Minkowski in particolare, perché porterei da un lato l'aspetto pratico, alla Einstein, e dall'altro l'aspetto matematico alla Minkowski...solo dopo inizierei magari a raccontare la differenza di approccio tra i due, perché quello diventa un dettaglio storico che aiuta anche a capire la possibilità di

interpretare la stessa cosa in maniera diversa, però appunto, prima cercherei di far sviluppare il dialogo in aula...magari vengono fuori delle idee strane, si cerca di capire perché possano essere sbagliate o perché magari invece un'idea potrebbe anche essere giusta ma è difficile da applicare...insomma tante cose che mettendo al centro così lo studente riescano anche a tenere un po' l'attenzione. Io farei quindi anche capire che c'è la possibilità di avere delle prospettive, delle interazioni diverse e spiegargli quindi l'approccio scientifico dietro queste cose...il dibattito che c'è tra i personaggi è lo stesso che avete voi in aula, no?!" (Andrea).

Riferendosi poi alle proposte emerse nella jamboard durante l'incontro collettivo dice di sentire molto vicina l'idea di presentare tali concetti "come a un bambino che per la prima volta guarda le stelle":

"Sulle trasformazioni di Lorentz partirei proprio da un effetto wow del tipo fare un esempio alla Galileo con la nave, la nave vista da fuori, da dentro, la stanza della nave [...]. Il concetto è cercare di spiegare quella cosa lì, anche riprendendola magari se l'hai fatta prima...con degli esempi che in qualche maniera possano risuonare gli studenti...ed è per questo che a me piace un sacco quella nave di Galileo, per esempio [...]. Poi però estremizzarla, estremizzarla e dirgli: però se noi ci immaginassimo di cavalcare il fotone, quindi cavalcare il raggio di luce, a quel punto iniziamo ad avere questi problemi eccetera eccetera...quindi cercare di creare quell'effetto wow per le trasformazioni di Lorentz proprio per creare quel dibattito sul cosa ci si aspetta visto questo cambio di situazione...sfruttare questo effetto wow per attirare l'attenzione su quanti più studenti possibile...farli discutere ed interagire subito su quelle che possono essere le loro soluzioni" (Andrea).

Alessandra e Paolo, che non se la sentono di entrare tanto nel merito di una via per la progettazione didattica, accennano appena a delle idee; Alessandra propone di partire dall'analisi di testi originali per introdurre le trasformazioni di Lorentz. Facendo riferimento alla lezione di un professore da cui era rimasta profondamente colpita, sottolinea che ciò che l'aveva resa più partecipe era il fatto che lui si esponesse personalmente:

"Il professore ci metteva la sua esperienza personale, diceva: 'io quando avevo letto l'articolo la prima volta non l'avevo capito, non mi era molto chiaro, l'ho dovuto leggere più volte...' quindi ci metteva anche del suo, dell'esperienza personale, mentre procedeva piano piano, passo dopo passo alla costruzione delle trasformazioni" (Alessandra).

Ad ogni modo, ciò che per lei può rendere l'esperienza davvero significativa è il dibattito:

”Aprire un dibattito ad esempio all’interno della classe...cioè, tu pensi che sia come Minkowski o come dice Einstein? [...] É un porre enfasi sull’esperienza di gruppo e l’esperienza che avviene all’interno della classe...per questo credo possa in qualche modo favorire l’apprendimento e far mettere in gioco anche gli studenti senza sentirsi giudicati! In qualche modo introdurre al dibattito anche storico per facilitare l’apprendimento” (Alessandra).

Paolo pensa invece che sia innanzitutto fondamentale far scattare l’esigenza dei postulati: a quel punto sostiene che seguire una linea storica potrebbe essere particolarmente efficace. Ad ogni modo, la cosa fondamentale è che si dia spazio per la costruzione collettiva del contenuto che si vuole apprendere:

”Questo approccio facilita, crea un terreno iperfertile per la negoziazione delle idee, quindi ogni studente poi si sente depositario di una parte della scoperta, della parte del processo di apprendimento di tutti e non solo il suo! Non sta imparando da solo ma sta aiutando la scoperta di tutti quanti i suoi compagni, suoi pari, quindi il suo apporto non è soltanto una nota che vale solo per sé, e questo per me per esempio è importantissimo, cioè, non mi importa se io capisco meglio una cosa, cioè, non me ne frega niente, però se altre 10 persone la capiscono meglio grazie a quello che dico io ha molto più valore quello che stai dicendo!” (Paolo).

In conclusione, per tutti e tre una costruzione corale dei contenuti risulta fondamentale per un apprendimento significativo, in quanto porta ad una sorta di ri-scoperta di essi. Lasciare agli studenti il proprio tempo e la possibilità di errare è indispensabile, e una partecipazione attiva e *personale* dell’insegnante permette di valorizzare anche l’inevitabile senso di fatica e disagio che si ha nell’approcciarsi a certi argomenti.

Marco e Iride: vedere qualcosa *più grande di sé*

La lunga riflessione di Marco, di cui si riporteranno solo gli aspetti più rilevanti ai fini dello studio, inizia con una considerazione sull’importanza, in fisica, di guardare al processo, non ai risultati:

”La fisica è il ragionamento, è riuscire a capire quello che c’è dietro, e paradossalmente trovo veramente che sappia più la fisica, per valori, magari uno che studia filosofia e sa come argomentare, come metterci il sé sempre rimanendo attinenti al discorso, alla materia, piuttosto che uno che studia fisica e sa le formuline per bene, stile formulario...c’è più fisica in un libro di filosofia che in un formulario! Penso che si possa racchiudere in questa cosa” (Marco).

Il ruolo del sé nella disciplina è centrale nella sua idea idiosincratica: egli vede l'apprendimento come un alternarsi di salti nel vuoto, che consentono di intuire gli orizzonti verso cui può tendere la disciplina e che la rendono significativa per sé, e momenti di ancoraggio ad essa, che forniscono gli strumenti per portare avanti queste speculazioni. La proposta didattica che avanza durante l'intervista è la seguente:

”Le presenterei [le trasformazioni di Lorentz] dal punto di vista storico... riuscire a calare le persone dentro e allo stesso tempo proiettarle in qualcosa di più grande di loro, riuscire da una parte a rendere il tutto più concreto, più ok, questo è come ci siamo arrivati e cerchiamo di arrivarci insieme; ecco, riuscire a far vedere un po' tutte queste cose, e allo stesso tempo, dall'altra parte, renderle poetiche, s'era detto, o comunque trasmettere il loro fascino, far vedere come possono fare da ponte, come ho detto prima, per varie interpretazioni, per vari punti di vista, per varie idee, e collegarle a macrotemi anche meno collegati, come può essere l'astronomia, per esempio...riuscire a prendere determinati concetti che sono lontanissimi da un ragazzo di quarta o quinta superiore e avvicinarli a lui...quindi magari io prenderei una lezione intera, un'ora, un paio d'ore, semplicemente per trasmettere questa cosa, trasmettere il perché devo studiarle, perché devo fare fatica a stabilire questo contatto tra cose che per me sono irraggiungibili e ho sempre pensato queste cose non le potrò mai capire, almeno non a questa età...tipo distanze intergalattiche e cose del genere...e cose invece che reputo banali, cioè, fare questo collegamento tra due cavi, che mi sembrano lontanissimi tra loro, e farti vedere che le trasformazioni Lorentz, sono quella prolunga che ti serve per arrivare dalla presa, le trasformazioni di Galileo, a capire i viaggi interstellari!”(Marco).

Dopo aver accennato al modo in cui imposterebbe la narrazione storica, necessaria, secondo lui, per riportare gli studenti ”a vivere in prima persona tutta quella crisi che c'è stata cercando di sottolineare dei punti cardine importanti”, prova a fare un altro esempio di cosa intenda dire per *vedere qualcosa più grande di sé*:

”Direi...quello che noi vediamo, i mondi, le stelle, il sole...quanto credete che si possa vedere e conoscere noi della terra nel sistema solare, della galassia, dell'universo? A nessuno verrebbe in mente di dire che noi conosciamo meno del 5 % di quello che c'è nell'intero universo, ma non in termini di conosciamo l'abbiamo visto, conosciamo nel senso che sappiamo che c'è ! Tutto il resto noi non lo riusciamo a percepire proprio, non riusciamo a capire cosa c'è là, e a me piacerebbe molto lasciare questa lezione introduttiva un po' così, un po' eterea, un po' buttata là, da dire non c'è da studiare niente di per sé, non è che domani vi interrogo sulla materia oscura, su che percentuale

ce n'è o sul passaggio logico che c'è stato da un esperimento all'altro, però spero che andiate a casa e diciate ok, c'è un sacco di roba, cazzo! Non è solo questo, c'è dell' altro, voglio sapere cos'altro c'è? Qualcuno dirà di sì e lì si sblocca la voglia di capire la fisica...se invece a uno non interessa pace, però almeno sa che c'è questa cosa!"(Marco).

Sembra avere una visione simile anche Iride, che non entra nel vivo di una proposta didattica limitandosi ad affermare l'importanza di un approccio storico, ma suggerisce che una riflessione sul formalismo sarebbe per lei imprescindibile:

"Ci si dice, a pensarci un attimo: "è assurdo che ci sia tutto questo match tra il formalismo che usiamo e quello che in realtà descrivono...com'è possibile che abbiamo la matematica così...questo strumento così giusto, così perfetto, per fare tutti questi ragionamenti e tutto fila liscio". Questo chiaramente è un ottimo spunto per far capire a livello interdisciplinare che c'è il match perché è un po' la stessa cosa...cioè, non è che sia un linguaggio, è anche un linguaggio, ma è proprio sulle strutture fondanti! Quello è molto estetico, molto bello, molto poetico, perché che cavolo, cioè, è un qualcosa di più profondo di tutto quello che possiamo pensare! Poi vabbè, qua vado fuori dalle trasformazioni di Lorentz, però mi viene in mente...mi pare fosse l'equazione di Dirac che diceva un qualcosa che ancora nessuno...a cui nessuno ancora aveva pensato o visto, ed effettivamente poi è successo, cioè, l'antiprotone mi pare fosse; anche lì c'è...cioè, questa cosa fa tirar fuori un certo rispetto per quella formuletta che tu scrivi perché che cavolo, è proprio...genera quasi conoscenza, realtà!"(Iride).

Questa riflessione sembra corrispondere perfettamente con l'idea di salto nel vuoto che è emersa dalle riflessioni di Marco, aprendo a possibilità vertiginose. Sembra importante riportare un'ultima riflessione di Marco, che prova a spiegare il perché, dal suo punto di vista, una proposta come quella fatta è coerente con l'approccio ecologico presentato:

"Perché mette in primo piano la persona, mette in primo piano te studente ma anche te professore, perché comunque io sono molto più divertente, cioè, è sia affascinante perché non la limita a delle cose...è un po' come sradicare questa pianta dalle radici, dalle radici fisse piantate nel terreno: le equazioni, e le eleva a qualcosa di più affascinante, più poetico eccetera, poi ovviamente serve rimetterla, è come fare un travaso, da un vaso piccolo, che è l'inizio del nostro percorso, con le trasformazioni di Galileo e quello che sappiamo finora, a un vaso molto più grande che ci da molte più opportunità di sviluppare le radici, di crescere come pianta...nel mentre però c'è un momento in cui sei completamente staccato da terra e hai un po' questa sensazione di volare un po' nel vuoto! Quindi hai anche la possibilità di dire:

"ma se arrivassi così in alto?" E poi ti rimettono nel vaso perché è giusto che tu ce l'abbia, perché sennò moriresti senza questo ancoraggio, però a quel punto hai detto: sì, ma io lassù ci posso arrivare, e se non ci posso arrivare comunque io ci voglio arrivare! ovviamente deve essere un passaggio breve, cioè, uno non può impostare tutto il corso sul far vedere queste cose astratte, serve...servono tanti piccoli travasi!"(Marco).

In conclusione risulta fondamentale aprire, passo dopo passo, agli orizzonti verso cui può tendere la disciplina, esplicitando le profonde implicazioni e potenzialità di certi concetti e del formalismo che li regge. L'elemento estetico risulta centrale in queste esperienze poiché, proiettando verso conquiste significative per sé, *rende pubblici* gli strumenti della disciplina, che acquisiranno un significato personale. Lasciare il tempo per speculare e coltivare la pratica dell'errare sembrano essere punti altrettanto importanti per lasciar seguire agli studenti le proprie inclinazioni e prestare quindi attenzioni ai contenuti delle esperienze.

4.3 Sintesi dei contributi a *RQ3*

In questa sezione sono sintetizzati i contributi principali che l'analisi dell'indagine ha dato a *RQ3*, riportata per comodità:

- Perché e in che modo i nuclei tematici individuati possono integrare i *design principle* dell'appropriazione nella progettazione di attività didattiche?

Come emerso dall'analisi i nuclei tematici, che risultano essere di per sé vaghi e difficilmente utilizzabili, possono diventare operativi se affiancati ai principi di costruzione dell'appropriazione, ovvero, utilizzando l'immagine precedentemente proposta, se pensati come satelliti che, orbitandogli intorno, suggeriscono affinamenti e pratiche coerenti con essi. Essendo legati a discipline differenti, questi permettono di catturare dinamiche generalmente implicite nei quadri teorici di riferimento legati alla didattica delle scienze, contribuendo quindi ad una didattica significativa e inclusiva per gli studenti. Segue una descrizione degli affinamenti dei *design principle* che risultano significativi alla luce dell'indagine condotta.

Un primo aspetto che risulta centrale riguarda l'inclusione, coerentemente al principio di pluridimensionalità, della dimensione umana e di quella personale.

Con la prima ci si è riferiti agli aspetti emotivi, sensazionali ed empatici che caratterizzano tutti i partecipanti alle attività didattiche, quindi gli studenti, gli insegnanti e i personaggi storici incontrati durante le lezioni. Considerare questa dimensione significa prestare attenzione e dare spazio e senso alla fragilità degli studenti, alla loro stanchezza, euforia e noia, entrare in connessione, o meglio in corrispondenza con essi e in base a questo capire come e quando *tirare e mollare la corda*; significa, per l'insegnante, lasciar

trasparire anche le proprie sensazioni e soprattutto le proprie difficoltà, non temere di nasconderle e anzi, affrontarle insieme agli studenti; significa infine esplicitare o provare ad immaginare le emozioni e le sensazioni dei personaggi storici incontrati durante il percorso e familiarizzare con essi sottolineando, anche in questo caso, le loro fragilità.

Con dimensione personale ci si è invece riferiti agli aspetti idiosincratici dei partecipanti alle attività didattiche, da considerare e coltivare; se ciò può essere dato per scontato per quanto riguarda gli studenti, risulta invece importante sottolinearne l'importanza, emersa dall'indagine, per quanto riguarda gli insegnanti e i personaggi storici: esplicitarne i gusti, le passioni e i dissensi senza ancorarli ad alcuna ragione concettuale, permette agli studenti di avere una visione più reale e vicina della scienza e di valorizzare le proprie idee e le proprie inclinazioni. Questi due aspetti hanno un ruolo fondamentale nella creazione di un collegamento tra lo studio della scienza e la formazione identitaria.

Per quanto riguarda il principio di pluriprospektività è emersa l'importanza di includere la prospettiva dello studente, ovvero dove e come questi si collochi rispetto ad un certo argomento. Ciò significa, riprendendo le parole di Fabio, far vivere i contenuti *in prima persona*, prestando una grande attenzione alla loro contestualizzazione e rilevanza per gli studenti.

Un altro punto suggerito dall'analisi è provare a trattare anche le singole dimensioni di un concetto secondo un approccio pluridimensionale: in questo modo risulta possibile catturare l'attenzione di chi non risuona con essi facendogli cogliere certe sfaccettature significative per sé.

La fluidità dell'agencement suggerisce infine di utilizzare il principio di longitudinalità non solo pensando allo svolgimento del percorso didattico, ma anche a quello formativo dell'identità degli studenti: tornare su argomenti già affrontati e riproporre riflessioni o attività, risulta fondamentale per poter corrispondere con essi durante la loro crescita personale nel modo più inclusivo possibile.

Le pratiche didattiche emerse, che lavorano sui *design principle* e sono percepite come importanti per un apprendimento significativo dagli studenti, ruotano intorno a due fulcri: il decentramento e l'apertura di orizzonti significativi per sé.

Per decentramento si è inteso il *movimento* che conduce fuori da sé e permette di guardare al mondo con gli occhi degli altri. Questo risulta fondamentale per i principi di costruzione, in quanto consente di guardare alle cose da punti di vista diversi in esperienze di forte immedesimazione. Per aprire ad esse è fondamentale *mettere in cultura* l'errore, in quanto solo in questo modo è possibile creare spazi il più possibile scevri da giudizi in cui potersi muovere liberamente. A partire da ciò è possibile coltivare la pratica dell'errare, ovvero lasciare momenti agli studenti per speculare e approcciarsi personalmente ai problemi, liberi di sbagliare, di deviare e di cambiare punto di vista, in esperienze profondamente inter-relazionali. Il dibattito, il conflitto e la negoziazione risultano centrali per questo punto. Un'altra pratica per l'insegnante che può favorire il decentramento è quella di *mettere sul tavolo* il proprio agencement: esplicitare il proprio flusso di pensieri e ragionamenti rispetto ad un concetto spontaneamente, intriso dei

propri gusti, del proprio stile, della propria storia, può permettere esperienze di forte immedesimazione o, per usare le parole di Iride, di *seguire il flusso*.

Aprire orizzonti significativi per sé significa infine avere la possibilità di intraprendere percorsi efficaci e creativi che portano ad una rapida crescita del proprio punto di vista. Le vie suggerite dagli studenti per lavorare su questo piano sono due: lasciarli liberi, a partire da un certo contenuto, di errare individualmente, seguendo spontaneamente i propri interessi e le proprie passioni, e lavorare su esperienze estetiche che permettano ad un concetto di ramificarsi in una molteplicità di direzioni.

Conclusioni

Questa tesi si colloca nel dibattito centrato sul ruolo delle discipline scientifiche nel processo di formazione identitaria degli studenti. A partire da considerazioni riguardanti il mio rapporto con la fisica e le difficoltà incontrate nel rendere le conoscenze acquisite *personali* e vive nei miei orizzonti di senso, ho provato a seguire un percorso che indagasse questo disagio, la sua diffusione, le sue cause e delle possibili vie per superarlo.

Il concetto di appropriazione descritto, sviluppato e reso operativo dal gruppo di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Bologna (Levrini *et al.*, 2015), ha avuto un ruolo centrale in questo studio; a partire da un'idea di complessità produttiva, in esso sono proposti dei principi di costruzione (*design principle*) che rendano possibile elaborare delle proposte didattiche significative e inclusive per gli studenti. L'approccio, basato sul rispetto dello stile cognitivo di ognuno, apre alla possibilità di sviluppare dei percorsi estremamente ricchi da un punto di vista concettuale, che consentono di posizionarsi rispetto agli argomenti proposti secondo le proprie inclinazioni.

L'idea di apprendimento significativo è centrale anche nei corsi di Antropologia dell'educazione e di Pedagogia generale e sociale, che guardano ad esso focalizzandosi non sul piano concettuale ma su quello sociale e culturale, indagando in particolare l'aspetto relazionale dell'apprendimento.

Dall'incontro delle prospettive viste, distinte e complementari, che tenute insieme affrontano il problema su un piano concettuale, sociale e culturale, si è provato a sviluppare questo percorso di tesi. In particolare, facendo riferimento alla lettura dell'antropologo Tim Ingold di certi temi (Ingold, 2018), si è provato a costruire un percorso che guardasse all'educazione da una prospettiva relazionale, o meglio *ecologica*, e che potesse catturare delle dinamiche dell'apprendimento sfuggenti ai modelli didattici orientati alle scienze. Questo è stato articolato intorno a quattro nuclei tematici principali: l'*attenzione*, l'*agencement*, il *rischio di errare* e la *scholè*; essi contengono una molteplicità di altri costrutti e non essendo sviluppati per una disciplina specifica risultano particolarmente ricchi ma allo stesso tempo vaghi. Tenendo presente uno studio di Russ (Russ, 2017), che sottolinea l'importanza di far riferimento al tema dell'attenzione nella didattica delle scienze ma di renderlo innanzitutto operativo, contestualizzandolo ad esse, si è deciso di seguire una strada alternativa: per mantenere le potenzialità dei costrutti legate al background di partenza, si è scelto di sviluppare il percorso indipendentemente dalla

fisica, per collocarlo rispetto ad essa in un secondo momento.

Il percorso è stato presentato a degli studenti che frequentavano il corso di Didattica della fisica presso l'Università di Bologna e l'indagine è stata condotta in due momenti, uno collettivo ed uno individuale, per provare a cogliere le loro reazioni. Le domande di ricerca su cui si è articolata l'indagine sono state identificate come *RQ1* e *RQ2*. Con la prima si è provato ad indagare quanto un simile approccio fosse sentito vicino da una *comunità di pratica* come quella dei partecipanti all'indagine, e quanto il disagio cui si accennava all'inizio fosse diffuso; con la seconda, che è stata circoscritta alla relatività ristretta, si è provato a capire se e come il percorso presentato potesse essere reso operativo.

I risultati dell'indagine hanno mostrato una grande vicinanza degli studenti al percorso proposto affiancata ad un certo scetticismo circa la sua operatività. A partire da questi si è quindi deciso di riprendere il concetto di appropriazione e posizionare il percorso rispetto ad esso. Ciò ha portato a sintetizzare *RQ1* e *RQ2* in *RQ3*:

- *RQ3*: Perché e in che modo i nuclei tematici individuati possono integrare i *design principle* dell'appropriazione nella progettazione di attività didattiche?

Si è concluso che i nuclei tematici esplicano tutte le proprie potenzialità se *lanciati in orbita* intorno ai principi di costruzione, suggerendo affinamenti e pratiche coerenti con essi. Per quanto riguarda i primi, dall'analisi condotta è emersa l'importanza di tener conto delle dimensioni personale ed umana degli studenti, degli insegnanti e dei personaggi storici incontrati durante il percorso, di lavorare sulla prospettiva *personale* dello studente, ovvero collocarlo rispetto ai contenuti studiati, e di tornare su riflessioni o attività già proposte, proiettando il principio di longitudinalità sul suo percorso formativo. Per quanto riguarda invece le pratiche, esse ruotano intorno a due fulcri principali: il decentramento e l'apertura di orizzonti significativi per sé, e tra esse spiccano l'errare, basato su una vera e propria cultura dell'errore, e coltivare profonde forme di esperienza estetica, fondamentali per contribuire ad ampliare gli orizzonti di senso degli studenti.

Dallo studio condotto sembra emergere che affiancare dei nuclei tematici come quelli individuati ai principi di costruzione dell'appropriazione, saldamente ancorati alla fisica, possa effettivamente contribuire alla progettazione di percorsi didattici significativi per gli studenti. Resta aperto il problema di capire come individuare più precisamente ed efficacemente tali contributi, come renderli operativi sfruttandone al massimo le potenzialità, e soprattutto quanto possano essere funzionali nello svolgimento di attività didattiche. Questi potrebbero essere i presupposti per degli studi futuri.

Appendice A - Studio pilota

Si riportano le domande utilizzate nello studio pilota collettivo e i relativi risultati.

Q1	Quanto da 1 (per niente) a 5 (completamente) ti senti vicino all'idea che sia importante trattare il tema dell'identità nell'insegnamento della fisica?
Q2	Quanto da 1 (per niente) a 5 (completamente) ti senti vicino all'approccio presentato?
Q3	Quanto da 1 (per niente) a 5 (completamente) credi nell'importanza di questo approccio per l'insegnamento della fisica?
Q4	Quanto da 1 (per niente) a 5 (completamente) credi nell'utilizzabilità di questo approccio nell'insegnamento della fisica?
Q5	Questo approccio mette l'accento su termini quali attenzione, poesia, "rendere pubblico"... Che effetto ti fa questo vocabolario? Quali aggettivi associ al vocabolario utilizzato?
Q6	Entrando nello specifico delle relatività, cosa PUÒ VOLER dire, SECONDO TE, mettere le trasformazioni di Lorentz sul tavolo e renderle poetiche?

Tab. A1: Domande utilizzate nella discussione collettiva

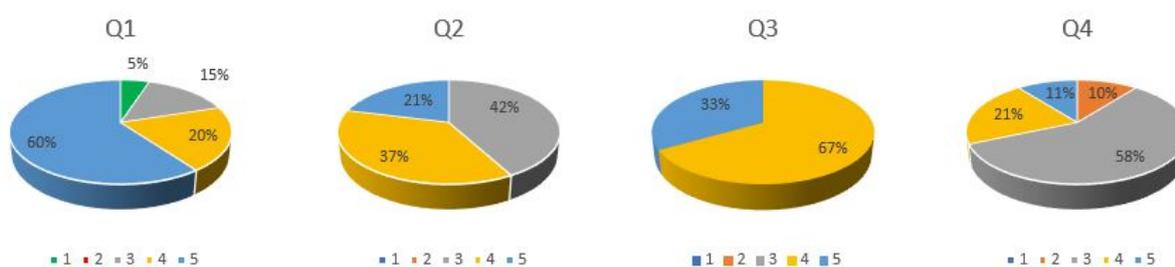


Fig. A1: Dati raccolti da Q1 a Q4



Fig. A2: Aggettivi utilizzati per descrivere l'approccio (Q5)



Fig. A3: Proposte didattiche per trasformazioni di Lorentz (Q6)

Bibliografia

- [1] Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of educational research*, 81 (2), 132–169.
- [2] Bakhtin, M. (1981). *Discourse in the novel* (M. Holquist & C. Emerson, Trans.). In M. Holquist (Ed.), *The dialogic imagination* (pp. 259–422). Austin: University of Texas Press.
- [3] Beghetto R. A. (2008). Correlates of Intellectual Risk Taking in Elementary School Science, *Journal of Research in Science Teaching* 46(2):210-223 DOI:10.1002 / tea.20270
- [4] Benasayag, M., Cohen T. (2020). *Cinque lezioni di complessità*. Fondazione Giangiacomo Feltrinelli, Scenari, 9788868353797.
- [5] Benfey, O.T. (1958). August Kekulè and the birth of the structural theory of chemistry in 1858. *Journal of Chemical Education* 1958 35 (1), 21 DOI: 10.1021/ed035p21
- [6] Bruner, J. (2004). *The psychology of learning: A short history*. Daedalus, Winter, pp.13–20.
- [7] Bøe, M. V., Henriksen, E. K., Lyons, T. & Camilla Schreiner (2011). Participation in science and technology: young people’s achievement-related choices in late-modern societies, *Studies in Science Education*, 47:1, 37-72, DOI: 10.1080/03057267.2011.549621
- [8] Bonetti R. (2018). *Apprendimento a km 0*. CISU Editore. ISBN 887975646X
- [9] Bonetti R. (2019). *Etnografie in bottiglia. Apprendere per relazioni nei contesti educativi*. Meltemi. 8883539397
- [10] Bonetti R. (2020). *Far volare i banchi*. Bononia University Press. ISBN 978-88-6923-666-2

- [11] Born, M. (1962). *Einstein's theory of relativity*. Ed. italiana: *La sintesi einsteiniana* (1969). Bollati Boringhieri.
- [12] Bridgman P. W. (1927), *La Logica della Fisica Moderna*, ed it. Boringhieri.
- [13] Bridgman P. W. (1949), *Le teorie di Einstein e il punto di vista operativo*, in Schilpp P. A. (ed.), *Albert Einstein: scienziato e filosofo*, Boringhieri, Torino (ed. it. 1958).
- [14] Castelnuovo, E. (2008). *L'officina matematica, ragionare con i materiali*. La Meridiana, 9788861530461.
- [15] De Zuani Cassina F. (2021). *Identity development in physics classes: from community of practice towards nexus of multi-membership*, University of Bologna, Supervisor: Levrini O., Co-supervisor: Satanassi S.
- [16] Deleuze, G., Guattari F., (1980). *Millepiani, Capitalismo e Schizofrenia*, Castelvecchi, Roma, 2003.
- [17] Deligny, F. (1947). *I vagabondi efficaci e altri scritti*. Edizioni dell'Asino, 2020. 9788863573688
- [18] diSessa, A. A., Sherin, B. and Levin, M. *Knowledge analysis: An introduction*, in *Knowledge and Interaction: A Synthetic Agenda for the Learning Science*, edited by A. A. diSessa, M. Levin, and N. J. S. Brown (Taylor & Francis, New York, NY, 2016), pp. 30–61.
- [19] Duit, R., Gropengießer, H. and Kattmann, U. *Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction*, in *Developing Standards in Research on Science Education*, edited by H. E. Fischer (Taylor & Francis, London, 2005), pp. 1–9.
- [20] Einstein, A. (1905). *Sull'elettrodinamica dei corpi in movimento*, in A. Einstein, *Opere scelte*, a cura di E. Bellone, Bollati Boringhieri, Torino, 1988, pp. 148-177
- [21] Fabbri M. (2005). *Nel cuore della scelta. Kierkegaard, l'etica senza fondamenti e l'angoscia della formazione*. Unicopli, Frontiere della formazione, 9788840008271.
- [22] Fabbri, M. (2012). *Il transfert, il dono, la cura. Giochi di proiezione nell'esperienza educativa*. Pedagogia teoretica. Franco Angeli Editore. ISBN: 8856849224.
- [23] Fabbri M. (2018). *Oltre il disagio. Percorsi di crisi, orizzonti di civiltà*. Franco Angeli, 9788891779519
- [24] Galison, P. (2000). *Gli orologi di Einstein, le mappe di Poincaré: imperi del tempo*. Raffaello Cortina Editore.

- [25] Giancoli, D. C. (2006). *Fisica. Principi e applicazioni*. CEA - Casa Editrice Ambrosiana. Milano. ISBN: 88-408-1336-5
- [26] Gouët, P. (2021), *L'aventure de l'identité, fidélité et mouvement*, Edition Apogée, Philosophie Populaires de Ateliers.
- [27] Han, B.C. (2017). *L'espulsione dell'Altro. Società, percezione e comunicazione oggi*. Nottetempo, Milano.
- [28] Harney, S. and F. Moten (2013) *The Undercommons: Fugitive Planning and Black Study*. Wivenhoe: Minor Compositions.
- [29] Husserl E. (1931), *Meditazioni cartesiane*, Bompiani, Milano, 1960
- [30] Ingold, T. (2013). *Making. Antropologia, archeologia, arte e architettura*. Cortina Raffaello. Culture e società. 9788832850604
- [31] Ingold, T. (2015). *Siamo linee. Per un'ecologia delle relazioni sociali*. Treccani. Visioni. 2020. 9788812008261
- [32] Ingold, T. (2019). *Antropologia come educazione*, La Linea (Bologna), Secondo libro, 9788897462651
- [33] Jaber, L.Z. & Hammer, D. (2016) *Engaging in Science: A Feeling for the Discipline*, *Journal of the Learning Sciences*, 25:2, 156-202, DOI: 10.1080/10508406.2015.1088441
- [34] Kapur, M. & Bielaczyc, K. (2012): *Designing for Productive Failure*, *Journal of the Learning Sciences*, 21:1, 45-83
- [35] Levrini, O. (1999). *Relatività ristretta e concezioni di spazio*. *Giornale di fisica*, XL, 4, 205-220, 1999.
- [36] Levrini O. (2002). *The substantialist view of spacetime proposed by Minkowski and its educational implications*. *Science Education*, 11(6), 601-617.
- [37] Levrini O., Fantini P. (2013). *Encountering Productive Forms of Complexity in Learning Modern Physics*. *Science & Education*, 22 (8), 1895–1910, DOI 10.1007/s11191-013-9587-4
- [38] Levrini, O., Fantini, P., Tasquier, G., Pecori, B., & Levin, M. (2015). *Defining and operationalizing appropriation for science learning*. *Journal of the Learning Sciences*, 24 (1), 93–136.
- [39] Levrini, O., Levin, M., Fantini, P., & Tasquier, G. (2019). *Orchestration of classroom discussions that foster appropriation*. *Science Education*, 103, 206–235.

- [40] Levrini O., Levin M., Fantini P. (2020). Fostering appropriation through designing for multiple access points to a multidimensional understanding of physics. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 16, 020154.
- [41] Levrini, O., Fantini, P., Barelli, E., Branchetti, L., Satanassi, S. & Tasquier, G. (2021). The present shock and time re-appropriation in the pandemic era. *Science & education*, 30 (1), 1–31.
- [42] Lyons, T. (2006). Different Countries, Same Science Classes: Students' experiences of school science in their own words, *International Journal of Science Education*, 28:6, 591-613.
- [43] Manuzzio, G., Passatore, G. (1981). *Verso la Fisica*, vol. 3. Appendice III.c. Principato.
- [44] Masschelein, J. (2010). The idea of critical e-ducation research- e-educating the gaze and inviting to go walking, *The Possibility/Impossibility of a New Critical Language of Education*, Sense Publisgers, Rotterdam 20101, pp. 275-291
- [45] Masschelein J., Maarten S. (2013). *In defence of the school: A public issue*. Education, Culture & Society Publishers
- [46] McGee EO, Martin DB (2011). "You Would Not Believe What I Have to Go Thorough to Prove My Intellectual Value!" Stereotype Management Among Academically Successful Black Mathematics and Engineering Students. *American Educational Research Journal*. 48(6):1347-1389. doi:10.3102/0002831211423972
- [47] Nasir, N. S., Rosebery, A. S., Warren, B., & Lee, C. D. (2006). Learning as a cultural process. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 489–504). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- [48] Nasir N. S., & Hand, V. (2008). From the court to the classroom: Opportunities for engagement, learning, and identity in basketball and classroom mathematics. *The Journal of the Learning Sciences*, 17 (2), 143–179
- [49] Pennac, D. (2007). *Chagrin d'école*. éditions Gallimard. ISBN 2070769178
- [50] Rancière, J. 1991. *The Ignorant Schoolmaster: Five Lessons in Intellectual Emancipation*, trans. K. Ross. Stanford, CA: Stanford University Press.
- [51] Resnick, R. (1968) *Introduction to Special Relativity*. Jihn Wiley & sons. ISBN: 047171724
- [52] Rogers, C.R. (1973). *Libertà nell'apprendimento*, Firenze: Giunti Barbera, 9-10

- [53] Rosa, H. (2010). *Alienation and acceleration: Towards a critical theory of late-modern temporality*. NSU press.
- [54] Russ, R.S. (2017). Characterizing Teacher Attention to Student Thinking: A Role for Epistemological Messages. *Journal of Research in Science Teaching*, Volume 55, Issue 1, January 2018, Pages 94-120.
- [55] Scardamalia, M. (2000). Can schools enter a Knowledge Society? In M. Selinger and J. Wynn (Eds.), *Educational technology and the impact on teaching and learning* (pp. 6-10). Abingdon, RM.
- [56] Schreiner C., Sjøberg, S. (2007). Science education and youth's identity construction - two incompatible projects? *The Re-Emergence of Values in Science Education* (pp. 231-247). DOI:10.1163/9789087901677-020
- [57] Serres, M. (1992). *Il mantello di Arlecchino. "Il terzo-istruito": l'educazione dell'era futura*, Marsilio, Padova 1992.
- [58] Stroupe, D, Caballero, MD, White, P. (2018) Fostering students' epistemic agency through the co-configuration of moth research. *Sci Ed.* 2018; 102: 1176– 1200. <https://doi.org/10.1002/sce.21469>
- [59] Taylor E.F., Wheeler, J.A. (1965). *Spacetime Physics*. W.H. Freeman & Co Ltd. ISBN: 0716703149.
- [60] Toffler, A., Toffler, H. (1970). *Future shock*. New York: Random House.
- [61] Tuminaro, J. and Redish, E. F. (2007). Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 3, 020101. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.3.020101.
- [62] Tytler R, Osborne J. (2012). Student Attitudes and Aspirations Towards Science. *Second international handbook of Science Education* (pp. 597-626) Edition: 1 Chapter: 41 Publisher: Springer Editors: Barry Fraser, Kenneth Tobin, Campbell McRobbie
- [63] Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511803932>
- [64] Wickman, O. (2006). *Aesthetic experience in science education : learning and meaning-making as situated talk and action*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, ISBN 0-8058-5503-3