

Il puzzle dei problemi: l' utilizzo delle rappresentazioni multiple come aiuto ai docenti nella costruzione di percorsi didattici

V. Bologna

1 Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Trieste

S. P. Leban

2 ISIS Gregorčič, Gorizia

Riassunto. Per poter sviluppare nei docenti una mentalità che consenta loro di approcciarsi criticamente ai problemi dei libri di testo è necessario sostenere il processo di formazione attraverso il consolidamento della consapevolezza che, nella definizione del proprio PCK (Pedagogical Content Knowledge, ovvero della propria Conoscenza Pedagogica del Contenuto), il docente dovrebbe prendere confidenza con l'introduzione e l'utilizzo delle rappresentazioni multiple. Questo strumento è esplicativo di un approccio disciplinare che consente di supportare l'apprendimento soprattutto in quelle situazioni curriculari in cui la Fisica non riveste un ruolo rilevante (come nei licei classico e linguistico, artistico, delle scienze sociali e negli istituti tecnici e professionali). Dal punto di vista del docente si tratta di uscire dal senso comune di trasmissione della conoscenza per esplorare nella ricchezza dei linguaggi disciplinari le potenzialità di pregnanza concettuale.

Abstract. In order to develop a mentality that allows teachers to adopt a critical approach to textbook problems it is necessary to support the training process through the consolidation of their awareness that during the definition of their PCK (Pedagogical Content Knowledge) they should become familiar with the usage of multiple representations. This tool is characteristic for a disciplinary approach that supports and expands the learning process in those curricular situations in which Physics does not play a relevant role (such as in classical and linguistic, artistic, social-science, technical and professional high schools). From a teacher's perspective, it requires to leave the common sense of transmission of knowledge and to explore the potential of conceptual meaning through the richness of disciplinary languages.

Una sola rappresentazione

Se si raccogliessero le più quotate inesattezze e gli errori ricorrenti che gli studenti fanno negli elaborati scritti di Fisica non basterebbero i volumi di un'intera enciclopedia. Ma quando i docenti riguardano e correggono questi elaborati, le loro affermazioni si possono contare sulle dita, e di solito sono le seguenti:

"Non usano le formule corrette"...

"Non sanno girare la formula"...

"Non capiscono la richiesta del problema"...

Nello stilare questo elenco si rafforza nel docente uno stato emotivo che si configura come un comune senso di rassegnazione davanti alla ricorsività negli errori di manipolazione delle formule, dell'interpretazione priva di significato fisico e di risultati numerici con valori di grandezze impossibili ed irrealistici.

Andando ad osservare la pratica didattica [1–3] vi sono alcune esperienze di rinnovamento che il docente cerca di attuare nei suoi processi di insegnamento per supportare lo studente nel compito difficile di risolvere un problema di Fisica.

Ma effettivamente quello che *normalmente* succede nello svolgimento della lezione in classe (ma non è molto diverso da quanto si è osservato nella didattica a distanza ⁽¹⁾) è vedere un docente che si adopera nella spiegazione dettagliata dello svolgimento di un problema, o di una categoria di problemi, e poi, assegna la medesima tipologia per il consolidamento come compito domestico.

Nel fare ciò utilizza talvolta una descrizione pittorica della situazione problematica e una sua rappresentazione in linguaggio grafico: ma nella maggior parte dei casi la strategia che viene presentata per la risoluzione di un problema è quella che si può sintetizzare con un unico termine ovvero con la sua *matematizzazione*. Il processo di matematizzazione del problema è la traduzione in linguaggio matematico del testo del problema utilizzando le relazioni funzionali delle grandezza fisiche, introdotte precedentemente nel processo di costruzione di conoscenza di un determinato contenuto.

Il vantaggio di presentare allo studente questa tipologia risolutiva della situazione problematica è sicuramente quello di garantire il controllo dal punto di vista "applicativo" del concetto fisico. Ma allo stesso tempo produce un effetto "riduzionista" nella comprensione di un fenomeno dal punto di vista fisico.

Insistere sulle rappresentazioni multiple della situazione fisica problematica è strategia riconosciuta nella ricerca didattica in Fisica [4, 5], proprio per una corretta strutturazione della conoscenza fisica nella sua inevitabile modellizzazione matematica.

Il *potere* esplicativo e concettuale delle rappresentazioni multiple purtroppo, però, non è entrato a far parte della prassi didattica in modo preponderante. Complice di questo fatto è la mancanza nei libri di testo di Fisica di esercizi che divergano dalla richiesta di risoluzione del problema, ovvero dell'ottenimento di un risultato. Vi sono

⁽¹⁾ Il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trieste, nell'ambito del progetto di ricerca denominato *Early Physics*, sta conducendo un'osservazione a campione di docenti di Fisica afferenti a scuole secondarie di secondo grado di curriculum differenti, con particolare attenzione all'individuazione delle caratteristiche del PCK proprio di ciascun docente e dei tratti che accomunano alcuni processi nell'insegnamento come la risoluzione di problemi. Tali osservazioni sono state condotte sia in presenza sia a distanza, nei periodi di *lock-down* causati dalla pandemia di COVID-19.

esempi che cercano di *aggiungere* alla richiesta risolutiva l'interpretazione o l'analisi di rappresentazioni grafiche, ma la direzione verso cui poi tende l'esercizio è sempre, e solo, quello per lo più applicativo.

Quindi la rappresentazione in linguaggi diversi da quello matematico non ha assunto nel PCK del docente quel valore, quella significatività docimologica e didattica, da indurlo a modificare le tipologie di esercizi da assegnare agli studenti esplicitando così le potenzialità dell'interazione Matematica e Fisica a più ampio spettro ⁽²⁾.

Molte rappresentazioni

Convergere all'aspetto applicativo è comunque peculiare anche di alcuni approcci nella didattica della matematica, che soffre, come in Fisica, della difficoltà di svincolare le caratteristiche di esercizi e problemi risolutivo-procedurali da quelle rappresentativo-strutturali [6].

Le rappresentazioni che maggiormente vengono escluse nei processi risolutivi per i problemi in Fisica sono quelle di verbalizzazione e di rappresentazione pittorica: entrambe hanno un connotato di tipo descrittivo. Mentre la rappresentazione in linguaggio matematico e in quello grafico sono maggiormente considerate come più significative nel processo di modellizzazione del fenomeno e quindi della risoluzione della situazione problematica [1, 4].

Quando un docente affronta con i suoi studenti un problema, ha in mente tutte queste quattro rappresentazioni, ma, come se dovesse tagliare/preparare i pezzi di un puzzle, invece di fare pezzi, magari di forma diversa ma della stessa area, ritaglia un pezzo molto grande (che è la rappresentazione in linguaggio matematico) e altri tre più piccoli che sono le altre tipologie di rappresentazione. Alla fine lo studente, sebbene intuisce che vi siano altre rappresentazioni possibili, comunque cerca sicurezza nella manipolazione di formule. L'affermazione di questa studentessa di un liceo linguistico al termine della sua esercitazioni su un problema di conservazione dell'energia meccanica lo esplica in modo molto chiaro ⁽³⁾:

Faccio fatica a farmi venire in mente una spiegazione fisica, semplicemente guardo le formule nella speranza di uscirci.

⁽²⁾ Un approfondimento sugli schemi prevalenti di interazione Matematica e Fisica nel PCK del docente è stato presentato al Convegno PLS-G6 a Febbraio 2021 nel contributo di V. Bologna e M. Peressi dal titolo "Interazione tra Matematica e Fisica: schemi prevalenti nel PCK dei docenti di Fisica e costruzione di esercizi e problemi".

⁽³⁾ Questa affermazione e quelle dei suoi compagni fanno parte della documentazione raccolta durante la sperimentazione didattica (svolta in modalità a distanza) dell'uso delle rappresentazioni multiple ed in particolare della rappresentazione con i grafici a barre dell'energia, effettuata nell'ambito del progetto *Early Physics* presso il Liceo Classico-Linguistico F. Petrarca di Trieste nell'anno scolastico 2020/21.

L'evasione dalla *gabbia concettuale* che il problema pone allo studente va supportata, e come nella costruzione del puzzle, il docente aiuta a "girare" i pezzi per capire come si incastrano tra loro. Per il docente, allora, si tratta di aggiornare il suo PCK ⁽⁴⁾ sotto due aspetti che lo inducano allo sviluppo di un approccio per la risoluzione dei problemi che sostenga lo studente nel suo percorso:

- operare nel processo con particolare attenzione alla sua azione di *scaffolding* [7];
- esplicitare l'uso delle rappresentazioni multiple secondo la finalità di integrazione dei linguaggi disciplinari per sviluppare nello studente una miglior conoscenza concettuale.

Lo *scaffolding* (che letteralmente significa "impalcatura") descrive esattamente l'atteggiamento del docente nel supportare e promuovere un apprendimento disciplinare non superficiale. Questo atteggiamento didattico si può esplicitare in tre azioni principali: la mediazione concettuale, la frammentazione delle richieste e la focalizzazione sull'argomentazione nella descrizione di fenomeni e di modelli.

Parallelamente l'integrazione dei linguaggi disciplinari si sviluppa su altri tre livelli di intervento didattico: la mediazione semantica ⁽⁵⁾, la traduzione delle rappresentazioni multiple e l'esplicita richiesta di argomentazione nel loro uso.

Il punto di incontro tra questi due aspetti è dunque l'implementazione consistente nell'azione didattica di attività che supportano lo sviluppo della competenza argomentativa negli studenti attraverso le rappresentazioni multiple: questo agire del docente modifica ovviamente il suo PCK e lo orienta all'argomentazione [8].

I pezzi del puzzle

Qualsiasi proposta di innovazione didattica, per entrare effettivamente nel processo d'insegnamento e quindi nelle peculiarità del PCK, deve evidenziare alcune caratteristiche che la rendano *appetibile* al docente che deve farsene promotore: la "spendibilità" didattica, la versatilità progettuale e la ri-usabilità (ovvero la riproducibilità senza il contesto di accompagnamento che contraddistingue la fase sperimentale).

⁽⁴⁾ A tal proposito si suggerisce - ed è in fase di sperimentazione - una tipologia di formazione permanente del docente in servizio, integrata attraverso un'azione di *tutoring* del docente stesso, accompagnato da esperti della didattica disciplinare, consistente nell'osservazione della sua attività in classe, nella discussione costante con i tutor e nel supporto da parte di questi nella costruzione di percorsi didattici. Tale strategia formativa gli consente di essere reso consapevole del proprio PCK e contestualmente rinnovarlo.

⁽⁵⁾ Il termine è generalmente usato negli studi in didattica della matematica, ma è perfettamente consono anche all'apprendimento della fisica dove vi è un continuo interscambio tra linguaggio verbale e linguaggio matematico, per cui occorre attivare negli studenti da un lato il controllo sui due registri espressivi e, dall'altro, l'abilità metacognitiva di comprendere come trasformazioni sintattiche di espressioni formali condensino processi di pensiero difficilmente realizzabili in linguaggio naturale [6].

Inoltre, nella specificità formativa di potenziare il *problem-solving* fisico negli studenti, un approccio innovativo deve offrire al docente uno strumento che implementi la sua capacità di individuazione delle difficoltà di apprendimento nell'utilizzo delle rappresentazioni multiple e nello sviluppo della competenza argomentativa.

Un facilitatore didattico per l'integrazione delle rappresentazioni multiple nel processo di risoluzione dei problemi è il software *open-source* DESMOS (<https://www.desmos.com>). Si tratta di una piattaforma sviluppata per l'apprendimento della matematica ma le sue caratteristiche sono appropriate anche nell'apprendimento della fisica [10].

Questo strumento consente al docente di sviluppare un percorso attraverso un'interfaccia di elaborazione progettuale che gli offre la possibilità di guidare lo studente, passo dopo passo, attraverso la somministrazione di domande, filmati, immagini, grafici, formule e rappresentazioni pittoriche e descrizioni (Figura 1).

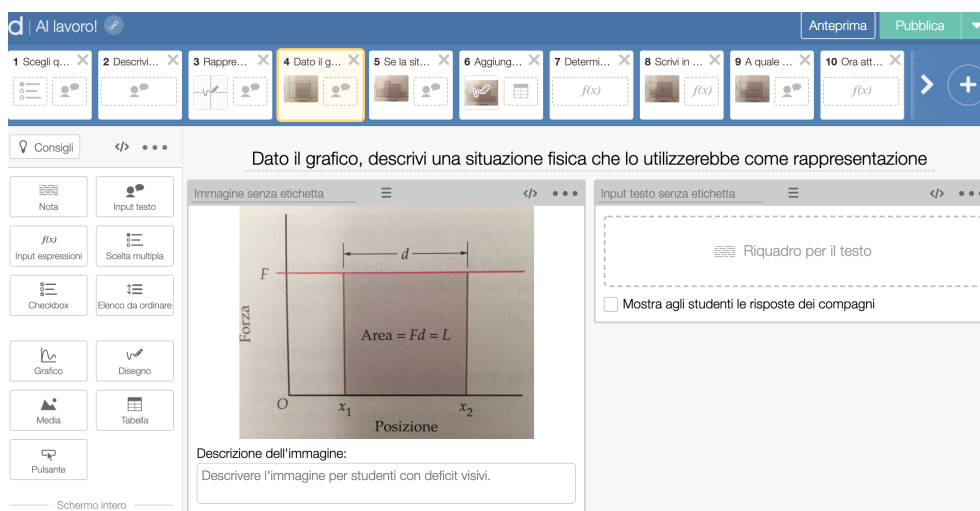


Fig. 1. – L'interfaccia della piattaforma DESMOS per la costruzione del percorso.

La seconda peculiarità di DESMOS è l'interattività: lo studente viene coinvolto nelle attività proposte attraverso le schermate del percorso, guidato gradualmente nel ragionamento e nelle rappresentazioni, ma libero di sviluppare un pensiero proprio. Durante lo svolgimento dell'attività l'insegnante ha tutto sommato un ruolo marginale nel processo di trasmissione dei contenuti che invece vengono fatti propri dallo studente per scoperta, imparando facendo, vero protagonista dell'attività didattica in una prospettiva pedagogica socio-costruttivista [11]. Chiedendo, poi,

agli studenti di argomentare le proprie risposte, li si induce ad un processo metacognitivo, nel quale l'autocorrezione gioca un ruolo determinante nell'apprendimento [9]. Allo stesso tempo, mentre lo studente svolge il percorso, il docente può *letteralmente* controllare come lo studente lo stia affrontando, dove trova ostacoli e quali attività invece gli risultino più semplici. Questo controllo avviene attraverso una *dashboard*, un vero e proprio pannello di osservazione sincrona dell'attività (Figura 2).

The screenshot shows a teacher dashboard for a lesson titled "L'energia". The dashboard is organized into a grid with 9 activity columns and 11 student rows. Each cell in the grid contains a small icon representing the activity and a status indicator (a dot, an 'x', or a checkmark). The student names are anonymized.

	1 Che cos...	2 Scegli tr...	3 Descrivi l...	4 Quando ...	5 Visualizz...	6 Osserva ...	7 Osserva ...	8 Osserva ...	9 Collega ...
Evelyn Granville	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Ngô Bảo Châu	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Diana Davis	●	×	×	●	—	●	●	—	×
Brahmagupta	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Dudley W. Wood...	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Sophie Piccard	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Girolamo Cardano	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Frances Kirwan	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Mary Ross	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Euphemia Lofton...	●	×	×	●	—	●	●	—	✓
Gotthold Eisenstein	●	×	×	●	—	●	●	—	✓

Fig. 2. – La *dashboard* del docente nella piattaforma DESMOS per il controllo sia in modalità sincrona che asincrona dello svolgimento delle attività degli studenti (i nomi degli studenti che hanno svolto l'attività sono stati anonimizzati).

Infine, l'analisi delle risposte che gli studenti registrano sulla piattaforma consente al docente:

- di avere un feedback per ogni studente del proprio sviluppo del processo di apprendimento richiesto nello svolgimento dell'attività;
- di raccogliere delle informazioni estremamente puntuali e dettagliate su dove si origina l'errore e in quale contesto di rappresentazione lo studente evidenzia maggiori difficoltà e fragilità di elaborazione concettuale.

Parallelamente, l'individuazione di errori e difficoltà fornisce al docente stesso una cartina tornasole del suo agire didattico: è un potente strumento d'indagine sull'efficacia del proprio metodo di insegnamento e, quindi, un'opportunità per riflettere sul proprio PCK, mettendolo in discussione. Nella frammentazione delle richieste, proprio dello *scaffolding*, il docente è portato ad esplicitare gli impliciti derivanti dalla propria esperienza e dal proprio percorso formativo. Un'operazione talvolta non

banale nella decostruzione concettuale e soprattutto nella sua ricostruzione a partire proprio dall'utilizzo delle rappresentazioni multiple.

Ed è proprio qui che emerge la grande potenzialità di questo strumento rispetto alla necessità di implementare una nuova strategia che integri i linguaggi disciplinari quando si va a risolvere una situazione problematica. Viene, infatti, fornita al docente l'opportunità di sviluppare una forma di *ampliamento concettuale* in cui ogni linguaggio disciplinare funziona da volano per evidenziare aspetti e livelli di approfondimento diversi di un dato problema.

Tale processo richiede necessariamente al docente di uscire dallo schema prevalentemente *applicativo* dell'interazione tra matematica e fisica [3] e scoprire, incentivato e supportato dalla tipologia dello strumento didattico e dall'utilizzo delle rappresentazioni multiple, schemi di *ampliamento*, *costruzione* ed *esplorazione*.

Partendo ora da una situazione problematica *tradizionale*, proposta in diversi libri di testo [12], la costruzione dei pezzi del puzzle del problema può essere fatta richiedendo allo studente di lavorare sul piano della traduzione della rappresentazione nei diversi linguaggi disciplinari oppure sul piano dell'argomentazione, oppure su entrambi contemporaneamente. Ecco un esempio di come si possa utilizzare il software integrando i linguaggi disciplinari nelle rappresentazioni multiple.

Normalmente, un docente ritiene che, dopo aver spiegato il concetto di lavoro, averne dato la corretta definizione, aver esemplificato alcuni casi, lo studente sia in grado di rispondere ad un quesito problematico, come quello proposto di seguito:

Per fare spazio su un tavolo, fai scivolare una pila di libri appoggiati su di esso, senza sollevarla. Poiché applichi una forza eccessiva, i libri finiscono per oltrepassare il bordo del tavolo e finiscono sul pavimento. La massa complessiva dei libri è di 4,5 kg e il tavolo è alto 0,80 metri.

- *Qual è il lavoro fatto dalla forza-peso durante lo spostamento dei libri sul tavolo?*

Nella realtà delle classi, invece, per molti studenti, un quesito simile può risultare *opaco* ⁽⁶⁾. L'individuazione del fatto che sia opaco emerge proprio dallo spezzare la richiesta in un puzzle di rappresentazioni multiple. Come questo possa essere attuato attraverso DESMOS si vede in figura 3. Queste schermate appartengono ad un percorso molto più articolato sul concetto di lavoro ⁽⁷⁾ che proprio attraverso l'uso delle

⁽⁶⁾ L'aggettivo *opaco* è ereditato dall'approccio nella didattica della matematica chiamato *Early Algebra* [6] dove indica la difficoltà dello studente nel riconoscere un significato nel linguaggio disciplinare e a tradurlo correttamente nella rappresentazione opportuna.

⁽⁷⁾ Il percorso completo è disponibile all'indirizzo:

<https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/60113f4e90b8fb0cda9778a4?lang=it>

Il percorso è stato sperimentato nell'ambito delle attività del progetto *Early Physics* in 3 classi

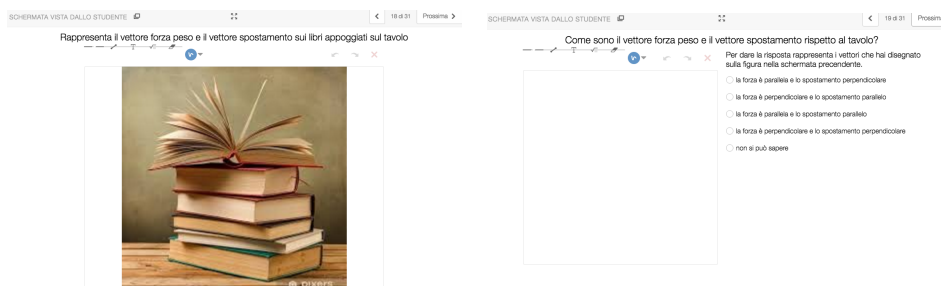


Fig. 3. – Un esempio di rappresentazione nel linguaggio grafico-vettoriale (schermata di sinistra) e di traduzione dal linguaggio grafico-vettoriale a quello verbale (schermata di destra).

Descrivi ora questa situazione fisica, leggendo dal grafico tutte le informazioni che puoi estrarre

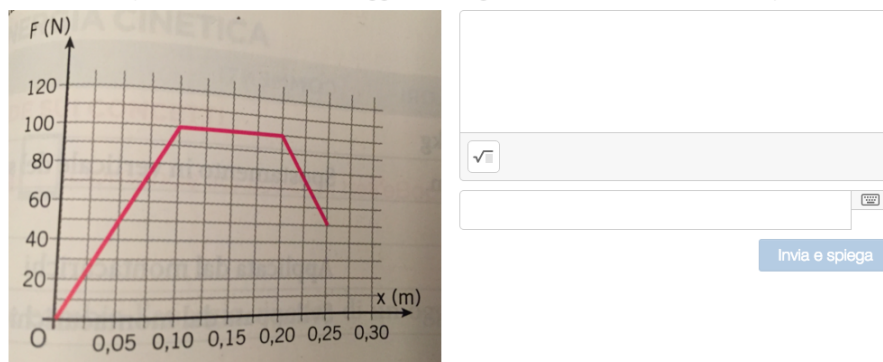


Fig. 4. – Un esempio di traduzione dal linguaggio grafico a quello verbale.

rappresentazioni multiple ha cercato di consolidare la conoscenza concettuale per poi declinarla nella situazione problematica rendendola da *opaca* a chiara/trasparente. Quanto sia importante lavorare nella costruzione di significato dei diversi linguaggi si evince andando ad osservare una ulteriore schermata, tratta dal medesimo percorso, di traduzione dal linguaggio grafico al linguaggio verbale (figura 4) e alla corrispondente visualizzazione delle risposte date dagli studenti (figura 5).

Nell'interesse di evidenziare le potenzialità dello strumento DESMOS quale facilitatore nell'utilizzo delle rappresentazioni multiple, a loro volta facilitatori e mediatori

quarte, due afferenti alla Liceo Classico-Linguistico F. Petrarca di Trieste e una all'ISIS Gregorčič di Gorizia, con lingua d'insegnamento slovena.

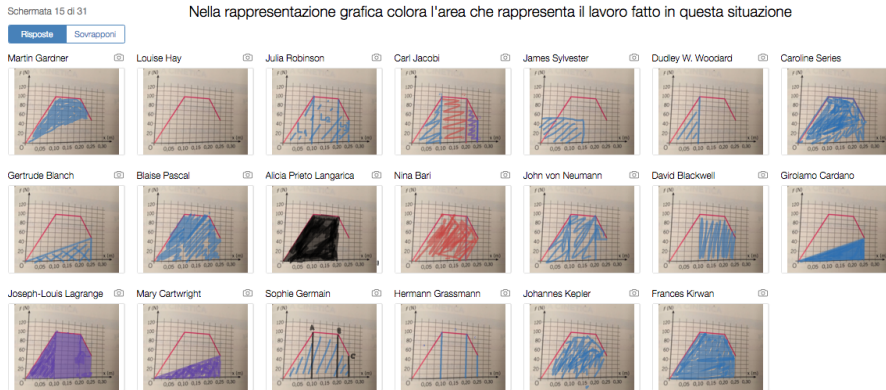


Fig. 5. – Le risposte degli studenti alla richiesta di identificare l’area che corrisponde al lavoro effettuato nella situazione fisica rappresentata nel grafico vista dalla *dashboard* del docente.

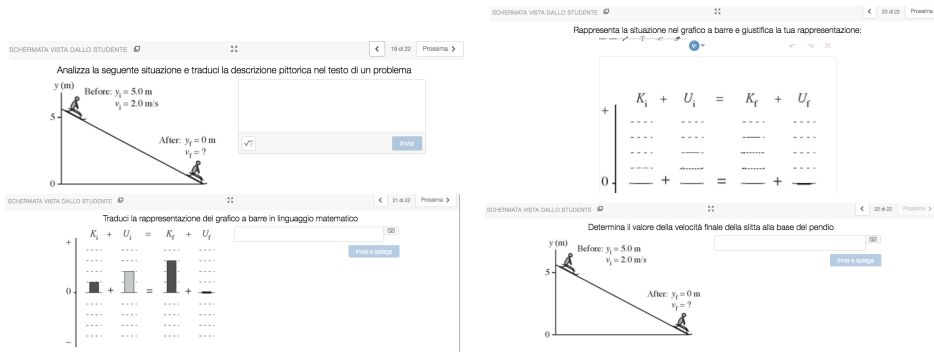


Fig. 6. – Partendo dalla descrizione pittorica si chiede allo studente di tradurre in linguaggio verbale, poi di rappresentare la situazione attraverso i grafici a barre dell’energia, infine di tradurre in linguaggio matematico e infine, si chiede di calcolare la velocità finale della slitta.

concettuali [4], si riportano nella figura 6 alcune schermate di un percorso sulla conservazione dell’energia meccanica ⁽⁸⁾ basato su un esempio noto in letteratura [13]. Per introdurre l’uso della rappresentazione del grafico a barre dell’energia, il percorso è stato sviluppato con il supporto di una simulazione PHET (shorturl.at/psGH5)

⁽⁸⁾ Il percorso completo è disponibile all’indirizzo: <https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/6021548e9044470cc864f71b?lang=it> ed è stato somministrato sperimentalmente nelle medesime classi di cui alla nota (7).

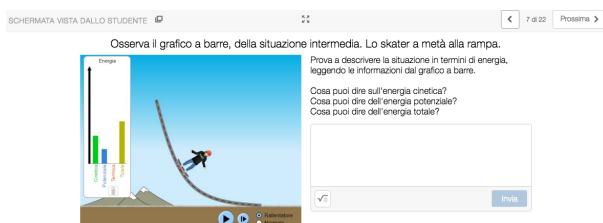


Fig. 7. – Un esempio di mediazione di significato per aiutare lo studente alla lettura e interpretazione di un grafico a barre dell'energia.

cercando di aumentare la ricchezza della simulazione con la richiesta di argomentare la lettura e l'interpretazione del grafico e della descrizione pittorica (figura 7).

Passare da una didattica formalmente strutturata alla sola rappresentazione delle situazioni problematiche in linguaggio matematico ad una didattica che potenzia la molteplicità delle rappresentazioni richiede al docente una revisione del proprio PCK. Ma dove può sembrare impegnativo e non scontato essere disponibili a modificare tale impronta, l'efficacia e la spendibilità della proposta sopra esplicitata suggeriscono una prospettiva di interazione tra la matematica e la fisica fondata sullo sviluppo di percorsi di integrazione dei linguaggi disciplinari. Ed è nell'esplorazione di queste potenzialità che il docente acquista la consapevolezza che è solo nello sviluppo di una competenza argomentativa che si avvalga di tutti i linguaggi che si può migliorare l'atteggiamento degli studenti verso la Fisica.

Bibliografia

- [1] POSPIECH G., in *Mathematics in Physics Education* (Springer, Cham 2019) 1-33
- [2] POSPIECH G. ET AL., in *Mathematics in Physics Education* (Springer, Cham 2019) 269-291
- [3] LEHAVI Y. ET AL, in *Key Competences in Physics Teaching and Learning* (Springer, Cham 2017) 95-133.
- [4] OPFERMANN M. ET AL, in *Multiple Representations in Physics Education. Models and Modeling in Science Education* (Springer, Cham, 2017) 1-22.
- [5] ETKINA E. ET AL., *The Physics Teacher*, **44** (2016) 34-39.
- [6] NAVARRA G., *Didattica della matematica. Dalla ricerca alle pratiche d'aula*, **5** (2019) 70.
- [7] RESIER B.J.and TABAK I., in *The Cambridge Handbook of the Learning Science* (Cambridge University Press, Cambridge, 2014) 44-62.
- [8] WANG J.and BUCK G.A., *J Sci Teacher Educ*, **27** (2017) 577.
- [9] AZEVEDO R. ET AL., in *Theoretical foundations of student-centered learning environments* (Routledge, New York, 2014) 171-197.
- [10] BOLOGNA V. ET AL., *Italian Journal of Education Technology*, **29** (2021) 78-87.
- [11] VYGOTSKIJ L.S., in *The collected works of L. S. Vygotsky* (Plenum, New York, 1934a-1987) 37-285.
- [12] FABRI E., PENCO U., *La Fisica nella Scuola*, **27/4** (1994) 6.
- [13] VAN HEULEVEN A.and ZOU X., *American Journal of Physics*, **69** (2001) 184.