

Esplorazione del concetto di forza con l'utilizzo di Desmos in un percorso didattico

Exploring force concept through a learning project using Desmos

Valentina Bologna ^{A*}, Elisabetta Giachin^A and Francesco Longo^B

A) Department of Physics, University of Trieste, Italy, valentina.bologna@phd.units.it*, elisabettagiachin@gmail.com

B) Department of Physics, University of Trieste and National Institute for Nuclear Physics (INFN), Trieste, Italy, francesco.longo@ts.infn.it

*corresponding author

HOW TO CITE Bologna, V., Giachin, E., & Longo, F. (2021). Esplorazione del concetto di forza con l'utilizzo di Desmos in un percorso didattico. *Italian Journal of Educational Technology*, 29(1), 78-87. doi: 10.17471/2499-4324/1190

SOMMARIO Mai come ai tempi del COVID-19 è stato chiesto agli insegnanti di integrare le nuove tecnologie con l'azione didattica; una vera e propria occasione per rivedere gli approcci disciplinari e metodologici e valorizzare aspetti che talvolta la didattica tradizionale non riesce opportunamente a focalizzare. Quando infatti le difficoltà concettuali sono rilevanti, come nel caso della didattica della fisica, anche l'utilizzo di software opportuni e fortemente interattivi favorisce l'apprendimento e la costruzione epistemologica dello studente. Nella sperimentazione effettuata ci si è proposti di raggiungere questo intento: il concetto di forza nella Dinamica Newtoniana è stato proposto in un percorso didattico progettato e strutturato attraverso il software per la didattica Desmos a studenti della classe seconda della scuola secondaria di primo grado durante il primo periodo di *lockdown*. L'integrazione tecnologica è stata fondamentale per la riuscita del percorso e per una sua possibile promozione anche nella didattica non emergenziale.

PAROLE CHIAVE Dinamica Newtoniana; Cambiamento Concettuale; Didattica a Distanza; Didattica della Fisica; Tecnologie Didattiche Multimediali.

ABSTRACT Teachers have been asked to integrate new technologies with didactic education as it happened during COVID-19 times; this has been a real opportunity to review disciplinary and methodological approaches and to enhance features that usually traditional teaching does not use. The learning and the epistemological constructions are promoted also by the use of targeted software that may support the conceptual difficulties in Physics Education through high level of students' interaction. Our work proved to be quite successful in achieving this support in learning: during the first lockdown period, we proposed a learning unit on the concept of force according to the Newtonian Dynamics using the

Desmos software to students in the secondary school. The technological integration is crucial to complete the educational project and it could also be promoted in a non-emergency teaching setting.

KEYWORDS Newtonian Dynamics; Conceptual Change; Distance Learning; Physics Education; Multi-media Educational Technologies.

1. INTRODUZIONE

L'esigenza di garantire il diritto allo studio ai tempi del COVID-19 è stata un'opportunità per i docenti di mettersi alla prova nella Didattica A Distanza (DAD) attraverso la possibilità di cambiare gli stili di insegnamento. Essere presenti sulle piattaforme per videolezioni e utilizzare vari strumenti tecnologici nella propria attività didattica, però, non basta affinché essa sia efficace ai fini dell'apprendimento: va anche riformulato lo stesso approccio disciplinare.

A questo si aggiunge il fatto che va completamente reinventata la comunità di pratiche, scardinata nei suoi ritmi, nell'alternarsi delle azioni e dei tempi che scandiscono il processo pedagogico-didattico in presenza, nelle strategie di controllo del raggiungimento degli obiettivi formativi e delle competenze disciplinari. Integrare l'uso delle tecnologie informatiche, in genere, e quelle adatte alla DAD, in particolare, all'interno delle prassi consuetudinarie è stato probabilmente per i docenti lo scoglio più difficile da affrontare (Hodges, Moore, Lockee, Trust, & Bond, 2020).

Per i docenti più radicati in alcune forme di didattica, soprattutto quelle fortemente caratterizzate dalla trasmissione frontale di conoscenze e nozioni (senza, ad esempio, un coinvolgimento degli studenti in attività laboratoriali interattive), l'uso imposto della tecnologia per la DAD ha semplicemente amplificato i limiti intrinseci di queste modalità di insegnamento senza però metterne in discussione l'efficacia. Per chi era abituato ad un approccio maggiormente costruttivista, l'occasione ha permesso di inventare *ex novo* modalità di interazione attiva, di partecipazione efficace degli studenti che li rendesse protagonisti, anche a distanza, del loro processo di apprendimento.

2. DAD, STRUMENTI TECNOLOGICI E DIDATTICA DELLA FISICA

La fisica è fortemente presente nelle Indicazioni Nazionali¹ per il curriculum di scienze nella scuola secondaria di primo grado, con manifesti intenti multidisciplinari. Ciò nonostante, la maggior parte dei docenti di questo ordine di scuola sceglie di affrontarla solo parzialmente, rispetto agli argomenti di biologia, chimica e scienze naturali previsti dalla Indicazioni. Alcune difficoltà di apprendimento negli studenti sono riconducibili alla mancanza degli strumenti matematici necessari alla comprensione della fisica. Tuttavia, si ritiene che questo sia solo uno degli aspetti da considerare.

Se, infatti, è proprio la carenza nella padronanza del linguaggio matematico a causare una certa difficoltà nell'apprendimento della fisica al livello della scuola secondaria di primo grado, esso può essere utilmente stimolato facendo uso di una molteplicità di altri linguaggi (quali la rappresentazione grafica, la realizzazione di schematizzazioni del fenomeno, l'utilizzo di animazioni e video esplicativi) che facilitano la comprensione del fenomeno fisico e la sua traduzione in linguaggio matematico. A questo proposito, l'adozione degli strumenti tecnologici è stata, quindi, un'opportunità offerta ai docenti, seppure in qualche modo obbligata dalla DAD, per esplorare nuovi percorsi di insegnamento della fisica.

L'uso di strumenti informatici in ambiente collaborativo presenta diversi aspetti salienti e alcune interessanti

¹ http://www.indicazioninazionali.it/wp-content/uploads/2018/08/Indicazioni_Annali_Definitivo.pdf

potenzialità, quali la fruibilità, la flessibilità e la possibilità di amplificare aspetti epistemologici disciplinari, come già verificato da diversi autori nella didattica della fisica (diSessa, 2004; El Kharki, Bensamka, & Berrada, 2020). A questi, poi, si deve aggiungere la capacità, che pochi altri strumenti di affiancamento alla prassi didattica offrono, di operare un esercizio efficace di integrazione fra i linguaggi disciplinari, adottando la strategia didattica delle rappresentazioni multiple. La prospettiva è quella di uscire dal “dogmatismo” concettuale che i libri di testo offrono per approdare ad un approccio socio-costruttivista (Vygotsky, 1934) dove lo studente, nell’interazione con il docente, è protagonista del suo stesso cambiamento concettuale, ovvero di quel processo che lo guida dal concetto intuitivo che ha di alcune grandezze fisiche alla conoscenza completa, strutturata ed elaborata, della grandezza stessa e dei fenomeni che ad essa si riferiscono. Dal punto di vista del docente, si tratta di organizzare il processo didattico secondo un quadro di maggior consapevolezza (Etkina, 2010; Shulman, 1986) del percorso che lo studente deve fare per indurre un efficace cambiamento concettuale (diSessa, 2018).

Il docente parte dal riconoscimento dei concetti intuitivi (*o prior primitives*, diSessa, 2018) dello studente e lo guida, attraverso l’uso delle rappresentazioni multiple, alla costruzione di frammenti di conoscenza (*o knowledge in pieces*, diSessa, 2018) che man mano integrano e modificano il concetto intuitivo che risulta inadeguato per spiegare un fenomeno e/o descrivere una situazione fisica. Ed è in questo processo di acquisizione della conoscenza che si pone la base per la costruzione epistemologica del sapere scientifico e avviene quello che viene indicato come cambiamento concettuale.

3. IL CONCETTO DI “FORZA” E LA SUA DECLINAZIONE DIDATTICA CON DESMOS

Nell’esperienza didattica che viene qui descritta si propone un percorso disciplinare sperimentato durante la DAD del primo *lockdown* (marzo 2020). Il percorso affronta il concetto di forza come previsto nelle Indicazioni Nazionali per il curriculum di scienze della scuola secondaria di primo grado. Tale concetto, basilare nell’insegnamento della fisica, è stato oggetto di grande interesse nella letteratura scientifica (cfr. Hesse, 1961) per le difficoltà concettuali ad esso intrinseche, che a volte emergono come misconcezioni. Per la trattazione di questo argomento ci si è indirizzati all’utilizzo e alle potenzialità del software Desmos (<https://www.desmos.com>), nato in realtà come strumento di supporto all’insegnamento della matematica (Ebert, 2015).

4. IL SOFTWARE DESMOS PER LA DIDATTICA INTERATTIVA

Per rispondere alle esigenze disciplinari evidenziate e nella prospettiva di individuare nuove strategie affinché gli studenti diventino protagonisti del proprio apprendimento con un approccio attivo integrato dall’uso delle nuove tecnologie - come anche raccomandato dal Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD) emanato con DM 851 del 27/10/2015² - è stato utilizzato il software Desmos, disponibile su piattaforma per tutti i sistemi operativi. Desmos offre, infatti, la possibilità di fornire agli studenti contenuti digitali integrativi per costruire competenze disciplinari e trasversali e, parallelamente, è un facilitatore nella formazione del pensiero scientifico.

Il software Desmos si presenta come strumento da utilizzare per la costruzione di percorsi sia preparati dal docente sia direttamente dagli studenti. Gli insegnanti, infatti, possono impostare attività didattiche improntate sul lavoro cooperativo, adottando strumenti matematici (ad esempio, l’uso di grafici, tabelle o

² https://www.istruzione.it/scuola_digitale/allegati/2015/DM_n_851_Piano_Naz_Sc_Digitale.pdf

equazioni) per rappresentare i fenomeni fisici o, viceversa, stimolando la capacità di interpretare la rappresentazione grafica per trarre informazioni sul fenomeno che si sta osservando. Allo stesso tempo, gli studenti apprendono la matematica e la fisica in modo interattivo e divertente rinforzando la loro motivazione; essi possono, altresì, costruire esercizi, presentazioni e appunti digitali sviluppando così le competenze metacognitive di controllo del proprio apprendimento, favorendo l'interazione tra *peer* e facilitando l'attività di *tutoring*.

Desmos può risultare utile su differenti livelli di personalizzazione dell'attività proposta, supportando l'efficacia del percorso verso una didattica anche individualizzata per alunno o per gruppo di studenti, creando opportuni "codici classe". Il software offre, infatti, le seguenti opportunità: inserimento di video e immagini negli esercizi, nelle presentazioni e in tutte le attività di tipo cooperativo; creazione di tabelle e rappresentazioni grafiche; utilizzo di una calcolatrice scientifica; gestione di pacchetti di attività (esercizi, test, presentazioni) con accesso tramite credenziali utente (anche senza registrazione alla piattaforma).

Dal punto di vista del docente, Desmos permette di gestire un report dei risultati per monitorare in modo personalizzato la prestazione dei singoli studenti (Figura 1), di accedere ad aree di condivisione, sia per inserire sia per scaricare materiali, e di creare ambienti virtuali. Questo tipo di monitoraggio, se effettuato contestualmente allo svolgimento della lezione a distanza, supporta opportunamente quel processo di *scaffolding* mediato dal software, che rafforza le competenze dello studente nell'affrontare richieste di difficoltà crescente.

d La forza		Codice disattivato		Screenshot		Riepilogo		Insegnante		Studente	
Anonimia 23 studenti		1 Libri app...	2 Un bicchi...	3 Un orolog...	4 Un bamb...	5 Un termo...	6 Una bom...	7 Una pira...	8 Una lamp...	9 Trascina l...	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	✓	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	✓	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	•	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	•	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	•	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	•	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	
...	...	×	•	•	•	•	•	•	×	•	

Figura 1. La dashboard del docente per il monitoraggio dell'attività svolta in itinere dagli studenti.

Per la costruzione del percorso l'insegnante accede alla piattaforma e, dopo aver effettuato la registrazione gratuita, può navigare tra le molte attività proposte e condivise dalla comunità Desmos, oppure può creare una sua nuova attività attraverso la pagina dedicata (*Activity Builder*, <https://learn.desmos.com/create>). L'interfaccia per la costruzione dell'attività è estremamente intuitiva e semplice da utilizzare (Figura 2)³.

³ Attivando al massimo le potenzialità del software il percorso si può realizzare nella modalità di scrittura condivisa con gli stessi studenti.

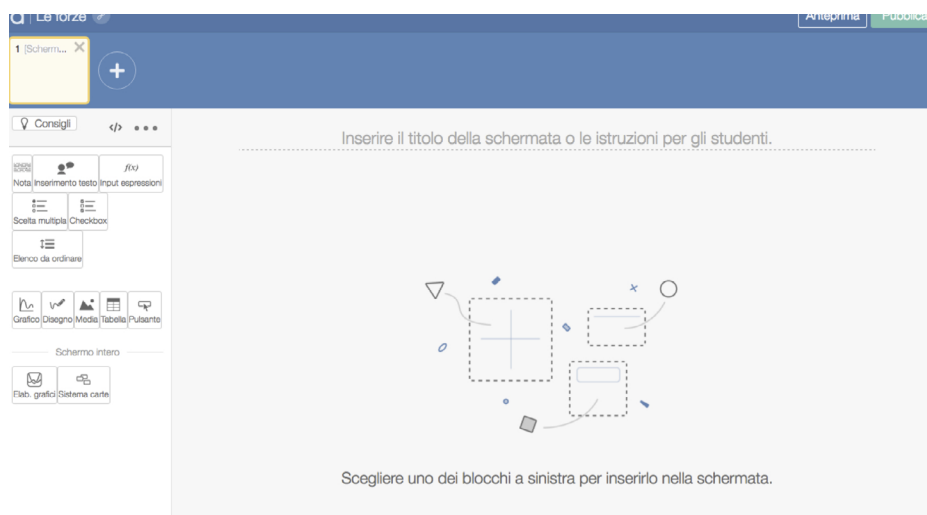


Figura 2. L'interfaccia per la costruzione del percorso.

Per la struttura stessa dell'interfaccia, il docente è incoraggiato a frammentare il percorso didattico, rendendo così esplicito ogni passaggio nella costruzione e sviluppo di un concetto scientifico, guidando in modo esplicito lo studente al cambiamento concettuale e alla costruzione epistemologica delle sue conoscenze.

4.1. Descrizione del percorso

4.1.1. Strutturazione della lezione interattiva

L'unità di apprendimento che viene qui presentata⁴ è stata sviluppata per gli studenti della classe seconda della scuola secondaria di primo grado pensando ad un primo approccio alle leggi della dinamica. L'unità è strutturata in brevi esercitazioni alternate da spiegazioni teoriche ed è divisa in cinque parti: nella prima (schermate 1-9; si veda la Figura 3) si analizzano le conoscenze intuitive degli studenti; nella seconda (schermate 10-13) si discute il concetto di interazione; nella terza parte (schermate 14-20) si introducono gli strumenti matematici di rappresentazione della forza come grandezza vettoriale; nella quarta (schermate 21-32) si determina e si manipola la relazione espressa in linguaggio matematico tra forza e accelerazione; e, infine, nella quinta parte (schermate 33-34) si propongono due esempi di applicazione della relazione $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ ⁵.

⁴ L'unità didattica è tuttora disponibile sulla piattaforma Desmos, all'indirizzo <https://teacher.desmos.com/activitybuilder/custom/5e54caa8204160426dea0d43>

⁵ La notazione vettoriale della relazione tra le grandezze è stata proposta nella scrittura in linguaggio matematico utilizzando il grassetto per indicare l'uso della grandezza vettoriale. Di fatto, poi, nel percorso è stata esplorata la relazione tra le intensità di vettori nella stessa direzione e verso.

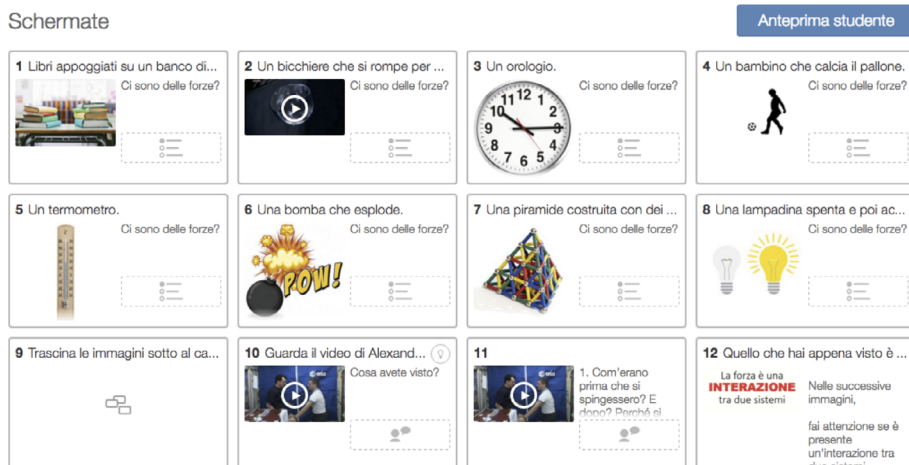


Figura 3. Un'immagine a monitor di alcune delle schermate Desmos (1-12) visibili agli studenti.

4.1.2. Prima parte: le conoscenze intuitive sul concetto di forza

Nella prima parte l'obiettivo è quello di far emergere le idee intuitive degli studenti sul concetto di forza. La ricerca didattica riporta che gli studenti intendono la forza come una proprietà intrinseca dei corpi che costringe qualcuno o qualcosa ad agire (Brown, 1989). Nel percorso si cerca proprio di far emergere questa interpretazione concettuale previa.

4.1.3. Seconda parte: il concetto di interazione

Dal momento che questa interpretazione si oppone alla visione newtoniana della forza derivante dall'interazione tra oggetti, nella seconda parte viene proposta la descrizione della forza come interazione tra due sistemi (Figura 4), secondo quanto esplicitato dalla terza legge di Newton. Questo concetto rimane spesso implicito nei libri di testo scolastici e pertanto non ne viene fatta una corretta elaborazione concettuale, prerequisito per affrontare anche argomenti successivi.



Figura 4. La terza legge di Newton come illustrata nel video⁶ inserito nella schermata 10.

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=tzzfOTNuJ9U>

4.1.4. Terza parte: la rappresentazione grafica della forza

Dopo aver introdotto la forza come interazione tra due oggetti, occorre un modo per rappresentarla. Viene proposto l'utilizzo di una freccia senza che venga definita in maniera esplicita come rappresentazione di un vettore. L'obiettivo in questa attività è quello di proporre uno strumento matematico simbolico per visualizzare un concetto astratto come quello della forza. La freccia è caratterizzata da direzione e verso ed è una rappresentazione della forza stessa in quanto grandezza vettoriale.

4.1.5. Quarta parte: il legame tra forza e accelerazione

Per favorire il cambiamento concettuale e introdurre la seconda legge di Newton, in questa parte di percorso si è guidato lo studente attraverso la descrizione della legge con il linguaggio grafico-simbolico e l'esplorazione di diverse forme di rappresentazione del concetto fisico per attribuire significato fisico al formalismo matematico. Lo studente è stato così guidato a sviluppare un ragionamento formale, cioè a tradurre l'osservazione di un fenomeno fisico in un linguaggio diverso, costruendo attivamente la relazione $F = ma$ (Figura 5 e Figura 6). L'obiettivo era anche quello di esplorare il significato relazionale dell'uguale nella formula matematica, per togliere quel valore unidirezionale spesso attribuito e rafforzato da una didattica procedurale della matematica nel livello scolare precedente (Navarra, 2019).

Che cos'è l'accelerazione?



Guarda il video e rifletti.

Che significato ha la tabella del video? La macchina parte da ferma e per raggiungere la velocità di 40 m/s, ad ogni istante varia la sua velocità.

Da che cosa è causata l'accelerazione?

☐ Condividi con la classe

Figura 5. La schermata 21 introduce gli studenti al concetto di accelerazione.

Ora prova tu a esprimere il valore numerico della grandezza fisica.

Tieni in considerazione che le unità di misura sono:
 Newton (N) per la forza,
 chilogrammo (Kg) per la massa,
 metro al secondo quadrato (m/s²) per l'accelerazione.

$F = m * 7$	$a = ?$
$3 = m * a$	$F = ?$
$F = 4 * a$	$m = ?$

☐ Condividi con la classe

Figura 6. L'esercizio per abbinare ad ogni grandezza la corrispondente unità di misura (schermata 30).

4.1.6. Quinta parte: dal concetto alla sua rappresentazione. Esercizi di traduzione

In quest'ultima parte si propongono due esempi di applicazione della relazione $F = ma$ per far emergere la capacità dello studente di interpretare e analizzare una situazione problematica. Egli dovrà essere in grado di determinare i fattori rilevanti, capire quali informazioni siano utili, far uso del formalismo corretto ed essere in grado di applicare e generalizzare il concetto a situazioni diverse.

4.2. La sperimentazione

Il percorso interattivo è stato proposto agli alunni di sei classi seconde di due scuole secondarie di primo grado, una a Trieste e una a Cividale del Friuli (Udine), per un totale di 102 studenti⁷. Gli studenti erano divisi in gruppi classe così distribuiti: il gruppo classe 1 ha visto la partecipazione di 18 alunni; il gruppo classe 2 di 12 alunni; il gruppo classe 3 di 17 alunni; nel gruppo classe 4 hanno aderito alla sperimentazione 18 alunni; nel gruppo classe 5 hanno partecipato 15 alunni, infine, nel gruppo classe 6 hanno partecipato 22 alunni.

L'attività è stata proposta agli studenti tramite la didattica a distanza durante la chiusura delle scuole durante la prima ondata del COVID-19, nelle due modalità possibili: sia *on line* con il docente che monitorava lo svolgimento, sia *off line* come assegnazione di compiti a casa. Si sottolinea che nessuna delle classi partecipanti aveva affrontato questo argomento in classe prima della somministrazione del percorso. Con il gruppo 1 è stato anche possibile discutere in un meeting *on line* le difficoltà o i punti di forza incontrati dagli studenti stessi. Nel gruppo classe 6, invece, il percorso è stato somministrato alla presenza del docente, che ha supervisionato lo svolgimento senza comunque intervenire: il software Desmos era familiare agli alunni perché utilizzato in diverse occasioni durante i mesi di didattica a distanza, soprattutto in ambito aritmetico. Infine, va rilevato che il 20% degli studenti che hanno svolto il percorso presentava delle difficoltà di apprendimento (con certificazione per DSA o per BES). Per essi la modalità si è dimostrata flessibile alle loro esigenze soprattutto per due motivi: in primo luogo, perché potevano prendersi tutto il tempo che volevano per passare da una schermata alla successiva (andando anche avanti e indietro lungo il percorso per cercare le informazioni), e, in secondo luogo, perché ogni schermata aveva una singola e ben definita richiesta.

Attraverso l'analisi delle risposte che gli studenti hanno fornito durante il percorso, si evince che alcuni non hanno concluso l'itinerario proposto dall'esplorazione del concetto intuitivo di forza fino alla sua formalizzazione in linguaggio matematico. Negli esercizi proposti nell'ultima parte (Schermate 23-31) vi sono state alcune mancanze e compilazioni parziali.

La difficoltà qui riscontrata è riconducibile al fatto che gli alunni non sono abituati a lavorare ad esercizi di traduzione e rappresentazione: questo è dovuto, probabilmente, all'omissione nelle prassi di insegnamento della matematica della scuola secondaria di primo grado della trattazione esplicita dei Tre Usi della Variabile, secondo il modello didattico chiamato 3UV (Ursini, 2011). Nelle attività proposte le grandezze in gioco del concetto di forza vengono, infatti, rappresentate in tutti e tre gli usi possibili di variabile: secondo la loro relazione funzionale, come numero generico attribuendo ad ogni grandezza un ben preciso valore numerico, e con il significato di incognita.

Nella discussione *on line* e nel questionario di gradimento somministrato al gruppo classe 1 è emerso chiaramente che la rappresentazione grafica e la sua traduzione nella formula consentono di padroneggiare meglio il significato fisico delle grandezze.

⁷ Non è stato possibile analizzare i dati per genere perché gli studenti per accedere alla piattaforma hanno utilizzato dei nickname che non consentivano il loro riconoscimento e neppure la loro suddivisione per genere.

5. CONCLUSIONI

Il percorso didattico progettato con l'utilizzo del software Desmos è stato efficace sia dal punto di vista della didattica disciplinare, sia dal punto di vista dell'integrazione dello strumento tecnologico sul piano metodologico. L'interattività, la personalizzazione del percorso a misura di studente e la multidisciplinarietà hanno caratterizzato l'attività in tutte le sue parti e la sperimentazione effettuata ha dimostrato la potenzialità di Desmos non solo ai tempi del COVID-19 e della DAD, ma anche per un'efficace didattica ordinaria integrante le nuove tecnologie.

La potenzialità di Desmos che maggiormente va indicata è la flessibilità e il ventaglio di possibilità che questo strumento offre, rendendo la fase progettuale del docente altamente creativa. Questo consente di frammentare e strutturare il percorso didattico con trasparenza e chiarezza rendendo esplicito il processo di elaborazione delle conoscenze messo in atto dall'insegnante secondo il suo piano pedagogico-didattico (Shulman, 1986). Nella fase di utilizzo fornisce, inoltre, al docente quel controllo nel processo di apprendimento di ogni singolo alunno, consentendo di amplificare, molto più di quanto si riesca a fare in classe, le azioni di supporto e il tutoraggio, soprattutto se l'attività viene svolta con la supervisione dell'insegnante. Infine, dal punto di vista dell'apprendimento disciplinare, ha consentito di operare nello studente quel cambiamento concettuale che lo guida da una conoscenza intuitiva del concetto di forza ad una più elaborata e strutturata, in accordo con la dinamica newtoniana. In questo delicato passaggio è stato necessario individuare le conoscenze primitive e con queste costruire una conoscenza più formale in termini anche dei linguaggi disciplinari.

Proprio grazie alla formalizzazione dei linguaggi disciplinari e la differenziazione di esercizi, si è evidenziata l'ultima potenzialità dello strumento, facendo peraltro emergere in modo molto evidente le difficoltà che gli studenti hanno nell'integrazione di linguaggi appartenenti ad ambiti disciplinari differenti quali matematica e fisica. L'utilizzo di un software come Desmos, da un lato, fa emergere queste difficoltà, dall'altro fornisce un valido strumento per il loro superamento, secondo la prospettiva per cui più precocemente nel curriculum scientifico della scuola secondaria di primo grado ci si applica all'integrazione disciplinare, prima gli studenti potranno comprendere, gustare e stupirsi della bellezza del pensiero fisico.

6. BIBLIOGRAFIA

Brown, D. E. (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24(6), 353. doi: 10.1088/0031-9120/24/6/007

diSessa, A. A. (2004). Principles for computer-based instruction in physics. In E. F. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi", CLVI* (157-174). Amsterdam, NL: IOS Press. doi: 10.3254/1-58603-425-1-157

diSessa, A. A. (2018). A friendly introduction to "knowledge in pieces": Modeling types of knowledge and their roles in learning. In G. Kaiser et al. (Eds.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education, ICME-13 Monographs*. Charm, CH: SpringerOpen. doi: 10.1007/978-3-319-72170-5

Ebert, D. (2015). Graphing projects with Desmos. *Mathematics Teacher*, 108(5), 388-391. doi: 10.5951/mathteacher.108.5.0388

El Kharki, K., Bensamka, F., & Berrada, K. (2020). Enhancing practical work in physics using virtual Javascript and LMS platform. In D. Burgos (Eds.), *Radical Solutions and eLearning. Lecture Notes in Educational Technology* (131-146). Singapore, SG: Springer. doi: 10.1007/978-981-15-4952-6_9

- Etkina, E. (2010). Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Physical Review Special Topics Physics Education Research*, 6(2), 1-26.
doi: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020110
- Hesse, M. B. (1961). *Forces and fields. The concept of action at a distance in the history of physics*. Edinburgh, UK: Thomas Nelson and Sons. doi: 10.1086/287897
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, A. (2020). The difference between emergency remote teaching and online learning. *Educause Review*. Retrieved from <https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning>
- Navarra, G. (2019). Il progetto ArAl per un approccio relazionale all'insegnamento nell'area aritmetico-algebrica. *Didattica della Matematica. Dalla Ricerca alle Pratiche d'Aula*, 5, 70-94.
doi: 10.33683/ddm.18.5.3
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. doi: 10.2307/1175860
- Ursini, S. (2011). Il Modello 3UV: uno strumento teorico a disposizione degli insegnanti di matematica. *QuaderniCIRD*, 2, 59-70. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10077/5132>
- Vygotsky, L. S. (1934/1987). Thinking and speech. In R. W. Rieber & A. S. Carton (Eds.), *The collected works of L. S. Vygotsky*, 1 (37–285). New York, NY, USA: Plenum.