

L'insegnamento della conservazione dell'energia meccanica tramite le simulazioni online PhET

Teaching conservation of mechanical energy through online PhET simulations

Daniel Doz

National Scientific Gymnasium “France Prešeren” with Slovene as Language of Instruction, Trieste, Italy
University of Primorska, Faculty of Pedagogy, Slovenia, doz_daniel@yahoo.it

HOW TO CITE Doz, D. (2020). L'insegnamento della conservazione dell'energia meccanica tramite le simulazioni online PhET. *Italian Journal of Educational Technology*, 28(1), 91-98.
doi: 10.17471/2499-4324/1131

SOMMARIO L'esperienza laboratoriale è uno degli elementi chiave nell'insegnamento della fisica nella scuola secondaria di primo e secondo grado. Molte ricerche hanno dimostrato che l'esperienza in laboratorio aumenta la motivazione degli studenti. In Italia sono molte le scuole sprovviste di un laboratorio scientifico, oppure hanno degli strumenti troppo vecchi o sono carenti di personale specializzato. Le simulazioni degli esperimenti di fisica potrebbero aiutare gli studenti ad imparare la fisica attraverso la sperimentazione online. In questo contributo viene presentata una simulazione sulla conservazione dell'energia meccanica tratta dal sito web “Colorado PhET”.

PAROLE CHIAVE Simulazione; Didattica della Fisica; Energia Meccanica; Computer.

ABSTRACT Laboratory experience is a key aspect in teaching physics in lower and upper secondary school in Italy. Many research studies have shown that lab experience can contribute to student motivation. In Italy, however, many schools do not have a science lab or have out of date instruments; some even lack specialized personnel capable of operating the lab. Simulated online physics experiments could help fill these gaps. In this paper, we present a simulation regarding the conservation of mechanical energy available online at the Colorado PhET website.

KEYWORDS Simulation; Physics Education; Mechanical Energy; Computer.

1. INTRODUZIONE

Nell'Allegato F del decreto ministeriale n. 211/2010 (Indicazioni Nazionali¹) riguardante le indicazioni per i licei scientifici, si può leggere che gli esperimenti di laboratorio sono una parte indispensabile per l'insegnamento della fisica e che l'attività laboratoriale dovrebbe essere presente in tutti gli anni di studio. Simili affermazioni si possono leggere anche nelle altre indicazioni nazionali.

L'esperienza laboratoriale si presenta come un metodo utilissimo per l'insegnamento della fisica e della scienza in generale perché aiuta gli alunni a sviluppare le capacità di osservazione, a comprendere deter-

¹ <http://www.gazzettaufficiale.it/gunewsletter/dettaglio.jsp?service=1&datagu=2010-12-14&task=dettaglio&numgu=291&redaz=010G0232&tmstp=1292405356450>

minati concetti scientifici e a ragionare sui vari fenomeni naturali, aumentandone, inoltre, la motivazione (Hofstein & Lunetta, 1982; Trumper 2003).

Sebbene le Indicazioni nazionali richiamino chiaramente l'importanza delle esperienze laboratoriali, secondo Skuola.net², sono molte le scuole italiane senza laboratori tecnici o con laboratori inadeguati. Da alcuni decenni si discute la possibilità di introdurre i computer nell'insegnamento della fisica (Esquembre, 2002). Alcuni studi hanno dimostrato che l'introduzione di laboratori virtuali (simulazioni) per l'insegnamento della fisica, propriamente designati ed applicati in un contesto appropriato, possono essere utili ad un apprendimento più efficace della fisica (Finkelstein et al., 2005; Jimoyiannis & Komis, 2001).

Partendo da queste osservazioni, e prendendo in considerazione le necessità di molte scuole, si è scelto di incentrare lo studio su un particolare sito web per la simulazione di alcune situazioni reali che si studiano in fisica. Il sito in questione, *PhET Colorado Fisica*³, è uno strumento che potrebbe aiutare gli studenti a fare esperienza laboratoriale tramite simulazioni interattive di numerosi esperimenti di fisica (Doz & Doz, 2019). Nel presente articolo si vuole presentare l'uso didattico di una delle simulazioni online presenti sul sito web *PhET Colorado* riguardante la conservazione dell'energia meccanica. Tale simulazione è stata utilizzata in una classe seconda di un liceo scientifico, ad indirizzo di scienze applicate, per poter favorire l'apprendimento di tale tematica, attraverso l'utilizzo di un approccio più attivo da parte degli alunni e con le tecnologie informatiche.

2. PHET COLORADO E LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA

La possibilità di accedere alle simulazioni online di vari esperimenti ha reso le simulazioni al computer parte integrante di molti curricula scientifici (Rutten, Van Joolingen, & Van Der Veen, 2012). Il *PhET (Physics Education Technology) Colorado* è un sito internet, disponibile anche in italiano, gestito dall'Università del Colorado Boulder e dedicato alle simulazioni online gratuite per l'apprendimento e l'insegnamento delle scienze. Tutte le simulazioni sono a contenuto dinamico: l'utente viene coinvolto in prima persona nella risoluzione dei problemi e può manipolare i dati iniziali osservandone i cambiamenti. Gli studenti possono pertanto apprendere attraverso il metodo per scoperta (McKagan et al., 2008). Gli autori del sito affermano che uno dei loro obiettivi è quello di rendere accessibili i "laboratori" anche agli utenti affetti da disabilità. Tra le simulazioni di fisica proposte se ne possono trovare molte che coprono alcuni capitoli normalmente trattati in classe.

La conservazione dell'energia meccanica rappresenta uno dei capitoli più importanti nella fisica (Bambill, Benito, & Garda, 2004; Bryan, 2010; Lancor, 2014), che è però spesso oggetto di numerosi errori da parte degli alunni (Jewett Jr., 2008). A scuola vengono normalmente proposti quattro casi in cui si deve assumere che l'energia meccanica totale del sistema venga conservata (Bryan, 2010): gli oggetti in caduta libera; i pendoli semplici; gli oggetti lasciati scivolare su piani inclinati; e le masse oscillanti sulle molle.

A scuola non si fanno molti esperimenti sulla conservazione dell'energia, ancor meno quelli che richiedono misurazioni dirette o indirette delle energie coinvolte (Bryan, 2010). Alcuni autori propongono di utilizzare il computer e analizzare i video di alcuni esperimenti sulla conservazione dell'energia meccanica (Aleksandrova & Nancheva, 2008; Bryan, 2004, 2010 George, Broadstock, & Abad, 2000). I costi di tali esperienze laboratoriali sono contenuti, essendoci anche dei software gratuiti per l'analisi dei dati raccolti (Bryan, 2004).

Nelle simulazioni online di PhET Colorado si possono analizzare diversi modelli di conservazione dell'e-

² <https://www.skuola.net/scuola/scuole-senza-laboratori-progetto-esperimenti-online.html>

³ <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>

nergia meccanica. Una simulazione prevede di posizionare un ragazzo sullo skateboard su una pista con o senza attrito, potendo regolare le impostazioni e i dati iniziali della simulazione, quali l'altezza iniziale, la sua massa, il coefficiente d'attrito, la forma della pista, ecc. Con il diagramma a barre è possibile visualizzare concretamente il variare delle energie coinvolte: nel caso senza attrito, all'aumentare dell'energia cinetica l'energia potenziale diminuisce, e viceversa, ma l'energia totale del sistema non varia, il che dimostra che l'energia meccanica è costante nel tempo. Nel caso dell'attrito, invece, si può notare che con il tempo l'energia termica aumenta, ma l'energia totale del sistema resta invariata (Figura 1).

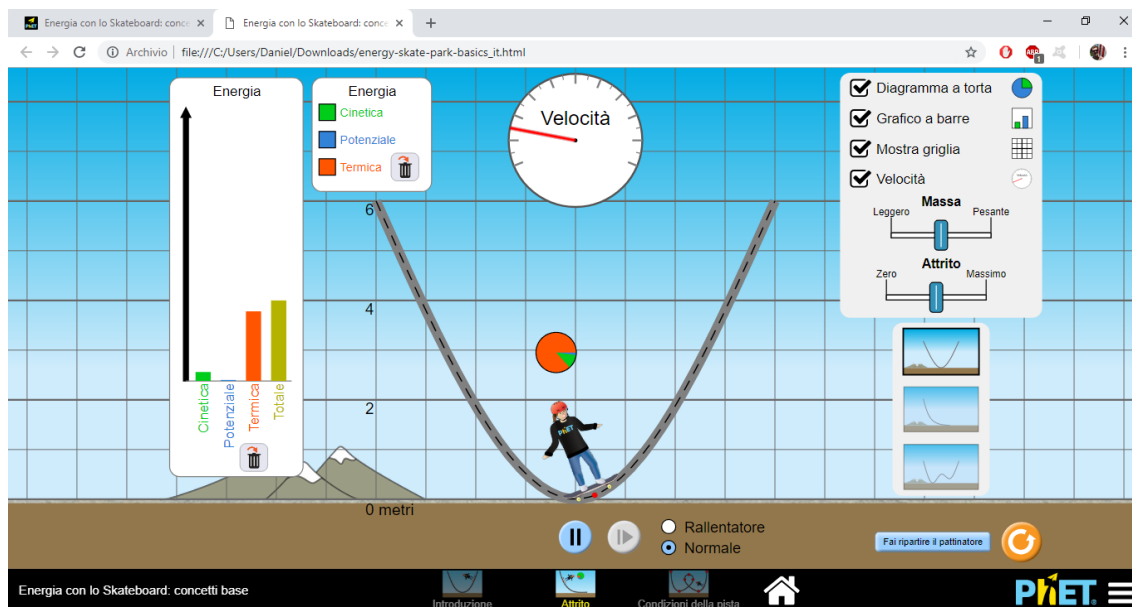


Figura 1. Ragazzo sullo skateboard su pista con attrito.

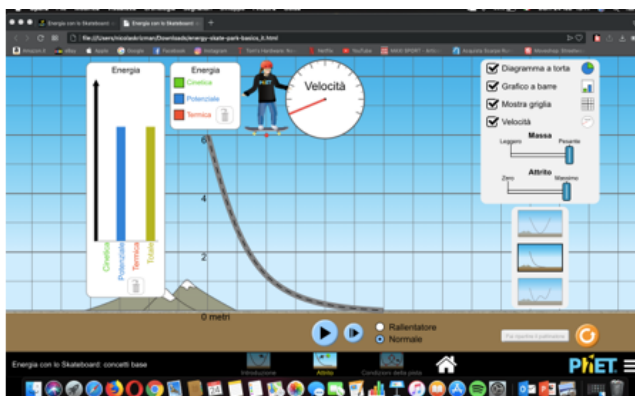
3. RESOCONTO DI UNA SPERIMENTAZIONE DIDATTICA

Per poter valutare l'effettiva efficacia dell'utilizzo di tale simulazione, nell'anno scolastico 2018-19 è stata condotta una sperimentazione didattica in una classe seconda di un liceo scientifico, opzione scienze applicate con lingua d'insegnamento slovena. La classe era composta da 15 alunni, 5 femmine e 10 maschi; tra gli studenti c'erano anche due ragazzi con DSA, un discalcolico e uno con disturbi dell'attenzione.

Gli alunni dovevano accedere al sito internet PhET Colorado e scaricare la simulazione base sulla conservazione dell'energia meccanica. I ragazzi avevano il compito di sperimentare liberamente con la simulazione, dopodiché dovevano descrivere le loro osservazioni in una relazione di laboratorio. Il compito consisteva nel descrivere il moto del ragazzo nelle seguenti condizioni:

- pista priva di attrito: osserva il cambiamento dell'energia cinetica e potenziale all'aumentare della massa del ragazzo e osserva come cambia l'energia totale;
- pista parabolica priva di attrito: osserva il cambiamento dell'energia cinetica e potenziale al variare dell'altezza sulla quale si trova il ragazzo;
- pista parabolica con attrito: osserva il cambiamento dell'energia cinetica, potenziale e termica, al variare della massa del ragazzo, del coefficiente d'attrito della pista e dell'altezza iniziale del ragazzo;
- costruisci una pista arbitraria e descrivi il cambiamento delle energie sulla tua pista, variandone l'attrito.

Le osservazioni dovevano essere registrate informalmente, successivamente dovevano essere elaborate e presentate in una relazione scritta sull'esperienza laboratoriale. Nella relazione i ragazzi dovevano descrivere come si "preparava" l'esperimento, quali erano le condizioni iniziali, le ipotesi e il metodo di raccolta dei dati. Gli alunni dovevano concludere la relazione di laboratorio con delle osservazioni su quali variabili influiscono sul cambiamento dell'energia meccanica totale e, in un secondo tempo, verificare le proprie ipotesi (Figura 2). La conclusione corretta era che l'energia totale del sistema non cambiava nel corso dell'esperimento.



OPAZIMO, DA:

- Rolkar pade na klanec ter nadaljuje dokler se ne ustavi na ravnini
- V hipu trka se takoj nek delež potencialne energije spremeni v termično
- Ko rolkar doseže tla, se je vsa potencialna energija že spremenila v kinetično in termično energijo
- Med roljanjem po tleh se postopoma vsa kinetična energija spremeni v termično (zato se ustavi)
- S spreminjanjem mase rolkarja se totalna energija viša (z njo vse ostale)
- Če trenje zvišamo na 100% se bo kinetična energija prej spremenila v termično oz. se bo rolkar hitreje ustavil

Figura 2. Esempio di relazione di laboratorio (in sloveno).

Nelle relazioni di laboratorio tutti gli alunni hanno concluso che l'energia totale del sistema non cambiava durante il moto del ragazzo. Gli studenti hanno anche annotato che la somma dell'energia potenziale e quella cinetica, in assenza di attrito, si conservava nel corso dell'esperimento. Tutti hanno riportato che all'aumentare dell'energia potenziale diminuiva quella cinetica e viceversa. La maggior parte ha usato il teorema della conservazione dell'energia meccanica per dimostrare che, nel caso della parabola, le altezze massimali raggiunte dallo skateboard erano sempre uguali, in quanto l'energia potenziale restava uguale; soltanto tre alunni hanno cercato di dimostrare che le altezze erano uguali considerando, però, degli argomenti scorretti.

Per verificare l'effettivo apprendimento dei concetti elaborati con l'ausilio delle simulazioni online, i ragazzi sono stati sottoposti ad un test di autovalutazione, nel quale dovevano rispondere a cinque domande riguardanti l'energia meccanica totale e la conservazione di essa nei casi con e senza attrito. Volendo lasciare agli studenti un ampio margine di argomentazione, si è evitato di fare domande che richiedessero calcoli. Lo scopo del test era quello di verificare l'effettivo apprendimento di alcuni concetti basilari sul teorema

della conservazione dell'energia meccanica. A titolo di esempio, alla domanda “Che cosa possiamo dire sull'energia meccanica totale, se il ragazzo si trova su una pista con attrito?”, lo studente ha risposto: “L'energia meccanica diminuisce sempre, dal momento che si aggiungerà anche l'energia termica, che aumenta, mentre l'energia meccanica diminuisce” (Figura 3).

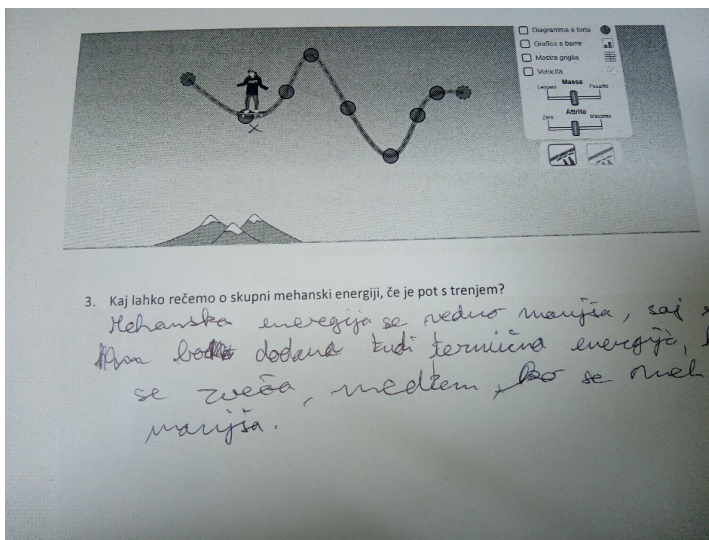


Figura 3. Esempio di risposta corretta (in sloveno).

Come esempio di terminologia errata, alla domanda “Che cosa possiamo dire sull'energia meccanica totale, se il ragazzo si trova su una pista con attrito?”, lo studente ha risposto: “Se la pista è con attrito, allora ci saranno l'energia termica, cinematica e centripeta, siccome c'è l'attrito. Col tempo, l'energia termica sarà sempre maggiore, poi il ragazzo si fermerà, perché ci sarà solamente l'energia termica, che sarà uguale all'energia totale” (Figura 4).

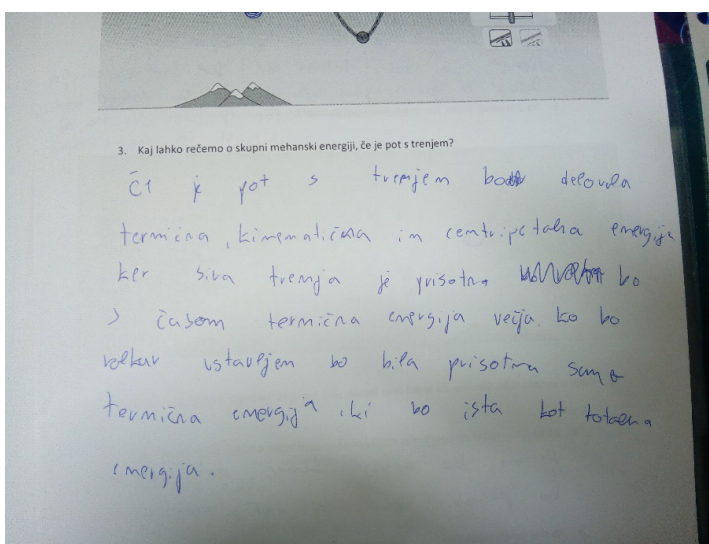


Figura 4. Esempio di terminologia errata nella risposta (sloveno).

L'analisi della prova ha mostrato che tutti i ragazzi avevano individuato correttamente i punti in cui la velocità del ragazzo era massimale, oltre a rispondere correttamente alle domande riguardanti la conservazione dell'energia meccanica. Al contrario, alcuni alunni hanno avuto dei dubbi nel caso della pista con attrito. Al posto di concludere che parte dell'energia cinetica e potenziale si trasformava in energia termica, hanno infatti dichiarato che l'energia meccanica si "perdeva".

Si sono notate delle notevoli difficoltà per quel che riguarda la terminologia scientifica, soprattutto riguardante la corretta espressione in sloveno. Alcuni hanno utilizzato il termine italiano "cunetta" o la traslitterazione in sloveno "kunetta". In due prove si è riscontrato il termine "energia cinematica" ("kinematična energija") al posto di "energia cinetica", mentre in un altro è stato evidenziato l'uso del termine "energia centripeta" ("centripetalna energija") al posto di "energia potenziale"; in entrambi i casi si assume che gli errori derivino da un'assonanza della parola slovena "kinetična" (cinetica) con "kinematična" (cinematica), nonché "centripetalna" (centripeta) con "potencialna" (potenziale). Tutte le prove sono state restituite agli studenti e si sono commentati i risultati. In particolare, si è proceduto a correggere le prove attraverso un'analisi fisica e linguistica. Si è continuato poi con l'introduzione delle definizioni di energia meccanica, cinetica e potenziale.

La simulazione online è stata, dunque, utile nel far capire ai ragazzi la conservazione dell'energia meccanica nel caso della pista senza attrito e che gli oggetti, in assenza di attrito, raggiungono la stessa altezza. Grazie alle simulazioni, durante la verifica delle conoscenze acquisite sono però emerse alcune difficoltà riguardanti il caso con attrito.

4. DISCUSSIONE

McKagan et al. (2008) hanno mostrato che le simulazioni proposte da PhET Colorado possono aiutare gli studenti a comprendere meglio alcuni concetti astratti e controintuitivi della meccanica quantistica. I punti forti delle simulazioni, secondo gli autori, sono la visualizzazione semplice, l'interattività delle attività, l'uso efficiente delle computazioni e il contesto pertinente. Anche Adams, Paulson e Wieman (2008) hanno dimostrato che l'utilizzo delle simulazioni proposte da PhET Colorado stimola gli utenti a porsi delle domande riguardanti la natura delle leggi fisiche, nonché a cercare autonomamente le risposte a questi problemi. Il processo di apprendimento tramite simulazioni dovrebbe essere graduale (da simulazioni più semplici a quelle più complesse) e guidato dall'insegnante soltanto in parte: non si dovrebbe porre troppe domande ai ragazzi, al fine di non rendere vano l'apprendimento tramite scoperta (cfr. anche Adams, 2010; Wieman, Adams, Loeblein, & Perkins, 2010; Wieman, Adams, & Perkins, 2008). Le simulazioni al computer potrebbero aumentare la motivazione dei ragazzi ad imparare in modo efficace (Wieman et al., 2008). Da queste ricerche si può concludere che le simulazioni accessibili sul sito web Colorado PhET sono un buon strumento per imparare la fisica attraverso simulazioni reali. Per gli insegnanti che volessero includere tali simulazioni nelle loro classi, si suggerisce di lasciare che i ragazzi esplorino autonomamente, guidandoli soltanto in parte. Si invita gli insegnanti ad introdurre i nuovi concetti in maniera sistematica e graduale, iniziando dalle simulazioni più facili, affinché i ragazzi possano prendere familiarità con i concetti studiati (Doz & Doz, 2019). Le simulazioni online per l'insegnamento e l'apprendimento della fisica rappresentano uno strumento aggiuntivo per stimolare la curiosità degli studenti e motivarli nell'apprendimento della fisica. Essendo tali simulazioni più accessibili (anche per studenti disabili), esse permettono ai ragazzi di sperimentare liberamente e di approfondire le conoscenze di fisica, aiutandoli a porsi nuove domande riguardanti le varie situazioni fisiche. Tali simulazioni potrebbero rappresentare un ulteriore aiuto agli insegnanti di fisica nelle scuole secondarie in Italia sprovviste di laboratori o personale ATA qualificato.

5. CONCLUSIONI

Nel caso dell'insegnamento della conservazione dell'energia meccanica, le simulazioni online potrebbero rappresentare un valido modo di sperimentare con varie masse e coefficienti d'attrito. Essendo molto difficile allestire un vero e proprio esperimento, in cui i ragazzi abbiano la possibilità di verificare la validità del teorema della conservazione dell'energia meccanica, la simulazione su PhET Colorado potrebbe aiutare gli insegnanti a presentare alcune semplici modelli di problemi fisici.

I risultati di un esperimento condotto con 15 ragazzi della classe seconda del liceo scientifico opzione scienze applicate hanno mostrato che le simulazioni online contribuiscono ad aumentare le loro conoscenze sulla conservazione dell'energia meccanica. Le relazioni di laboratorio dimostrano che gli studenti hanno saputo analizzare correttamente le situazioni fisiche proposte nella simulazione, mentre le prove scritte, basate sulla simulazione stessa, comprovato che gli studenti hanno acquisito le conoscenze sulla conservazione dell'energia meccanica. Inoltre, nelle prove scritte, gli studenti hanno saputo mettere in pratica le conoscenze che hanno acquisito attraverso l'utilizzo delle simulazioni online. Si sono notate alcune difficoltà linguistiche e di espressione che sono state risolte poi con un'attenta analisi comune degli elaborati. Il valore didattico di questa simulazione è pertanto molto alto e si dovrebbero condurre ulteriori ricerche per poterne valutare l'effettiva efficacia in classe.

6. BIBLIOGRAFIA

Adams, W., Paulson, A., & Wieman, C. (2008, July 23-24). What Levels of Guidance Promote Engaged Exploration with Interactive Simulations?. Paper presented at *Physics Education Research Conference 2008*, Edmonton, Canada.

Retrieved from <https://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=7985&DocID=701>

Adams, W. K. (2010). Student engagement and learning with PhET interactive simulations. *Il Nuovo Cimento*, 33(3), 21-32. doi: 10.1393/ncc/i2010-10623-0

Aleksandrova, A., & Nancheva, N. (2008). Using video analysis to investigate conservation impulse and mechanical energy laws. *Methodologies and Tools of the Modern (e-)Learning, Information Technologies & Knowledge*, 2, 91-96.

Bambill, H. C. R., Benito, M. R., & Garda, G. R. (2004). Investigation of conservation laws using a conical pendulum. *European Journal of Physics*, 25(1), 31-35. doi: 10.1088/0143-0807/25/1/005

Bryan, J. A. (2004). Video analysis software and the investigation of the conservation of mechanical energy. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 4(3), 284-298. Retrieved from <https://www.citejournal.org/volume-4/issue-3-04/science/video-analysis-software-and-the-investigation-of-the-conservation-of-mechanical-energy>

Bryan, J. A. (2010). Investigating the conservation of mechanical energy using video analysis: four cases. *Physics Education*, 45(1), 50. doi: 10.1088/0031-9120/45/1/005

Doz, D., & Doz, E. (2019, in press). Poučevanje fizike preko simulacij: primer poučevanja ohranitve mehanske energije, *Fizika v šoli*.

Esquembre, F. (2002). Computers in physics education. *Computer Physics Communications*, 147(1-2), 13-18. doi: 10.1016/s0010-4655(02)00197-2

Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, ... LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review - Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 1-18. doi: 10.1103/physrevstper.1.010103

George, E.A., Broadstock, M.J., & Vazquez Abad, J. (2000). Learning Energy, Momentum, and Conservation Concepts with Computer Support in an Undergraduate Physics Laboratory. In B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), *Fourth International Conference of the Learning Sciences* (pp. 2-3). Mahwah, NJ, USA: Erlbaum

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. doi: 10.2307/1170311

Jewett Jr, J. W. (2008). Energy and the confused student I: Work. *The Physics Teacher*, 46(1), 38-43. doi: 10.1119/1.2823999

Jimoyiannis, A., & Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers & Education*, 36(2), 183-204. doi: 10.1016/s0360-1315(00)00059-2

Lancor, R. A. (2014). Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23. doi: 10.1080/09500693.2012.714512

McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., Malley, C., Reid, S., LeMaster, R., & Wieman, C. E. (2008). Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76(4), 406-417. doi: 10.1119/1.2885199

Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. doi: 10.1016/j.compedu.2011.07.017

Trumper, R. (2003). The physics laboratory—a historical overview and future perspectives. *Science & Education*, 12(7), 645-670.

Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching physics using PhET simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225-227. doi: 10.1119/1.3361987

Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682-683. doi: 10.1126/science.1161948