

**CooFIS08**



# Il modello ondulatorio della luce nell'interpretazione di fenomeni di diffrazione e spettroscopia ottica da parte di studenti di scuola secondaria superiore

D. Catena\*, M. Michelini\*, L. Santi\*, I. Testa\*\*

*\*Dipartimento di scienze matematiche, informatiche e fisiche,  
Università degli studi di Udine*

*\*\*Dipartimento di fisica "E. Pancini", Università Federico II,  
Napoli*



# Il contesto: proposte didattiche sulle onde EM

---

- Questo studio si inserisce rappresenta una piccola parte di una ricerca riguardante l'elaborazione di proposte didattiche per migliorare l'apprendimento concettuale di studenti liceali riguardo le onde elettromagnetiche.
- Il quadro teorico adottato è quello del *Model of Educational Reconstruction* (Duit et al., 2012) con metodi di *Design Based Research* (Puntambekar, 2003).
- In quest'ottica, è stata analizzata la letteratura di ricerca riguardante le principali difficoltà di apprendimento degli studenti e gli aspetti fondamentali delle proposte didattiche implementate per superarle.



## Difficoltà di apprendimento

---

Le difficoltà di apprendimento che emergono dalla letteratura possono essere classificate come segue:

- Comprendere l'interdipendenza dei campi elettrico e magnetico nella propagazione di un'onda elettromagnetica → Interpretare correttamente le rappresentazioni formali di un'onda elettromagnetica piana (*Ambrose et al., 1999*).
- Identificare gli effetti dell'interazione delle onde elettromagnetiche con la materia tramite la forza di Lorentz (*Rettob et al., 2021*).
- Identificare le sorgenti di un'onda elettromagnetica (*Suárez et al., 2022*).
- Altre difficoltà di apprendimento che si riscontrano relativamente alla comprensione della propagazione di fenomeni ondulatori (*Wittman et al., 1999*).



## Proposte didattiche

---

- Le proposte didattiche riportate in letteratura ripercorrono sostanzialmente quelle dei principali libri di testo (**Griffiths, Tipler, Walker...**).
- Sono riportati alcuni tutorials che sfruttano le equazioni di Maxwell ed il fenomeno della polarizzazione per superare alcune delle difficoltà di apprendimento (*Ambrose et al., 1999*).
- Viene posta enfasi sul valore che l'esperimento di Hertz ha giocato nello sviluppo storico e nella ricostruzione epistemologica (*Tucci, 1998*) → Ricostruzione didattica.
- Le simulazioni interattive (es. PhET) e applicazioni (es. Phyphox) sono perlopiù relative ai fenomeni ottici (solo il caso di un'onda EM che si propaga tra un antenna trasmittente e una ricevente è illustrato tra le simulazioni PhET).
- Molte proposte didattiche sono state implementate riguardo l'interazione luce-materia (*Mešić et al., 2016; Wosilait et al., 1999*).



## Programma di ricerca

---

- L'elaborazione di proposte didattiche sulle onde elettromagnetiche richiede l'analisi del referente concettuale sul quale si basa l'interpretazione dello spettro elettromagnetico.
- È necessario dunque promuovere la capacità di riconoscere la natura comune di enti che fanno riferimento a modelli diversi (es. ondulatorio, radiazione, raggio, ...) e di interpretare gli stessi fenomeni relativi ad uno stesso ente in base a modelli diversi.
- Per promuovere tale capacità è innanzitutto richiesta la padronanza delle caratteristiche degli enti interpretativi a cui ogni modello fa riferimento.



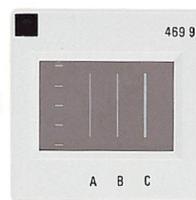
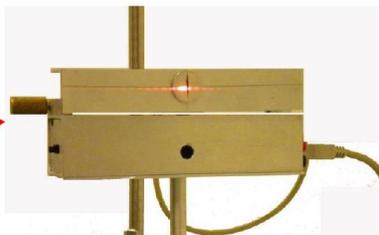
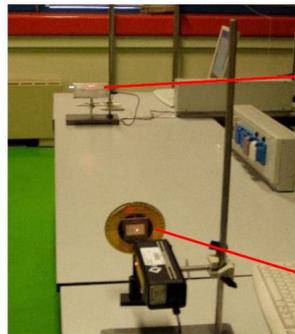
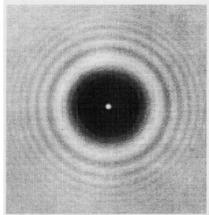
## Domanda di ricerca

---

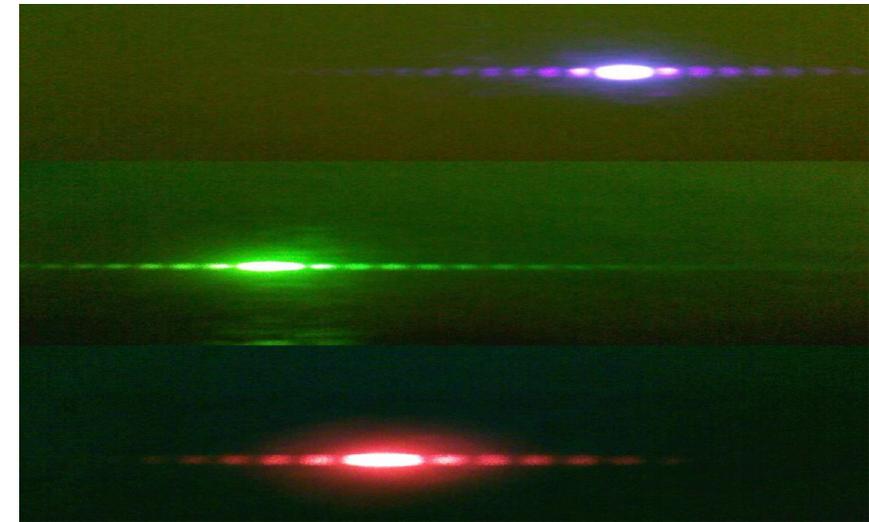
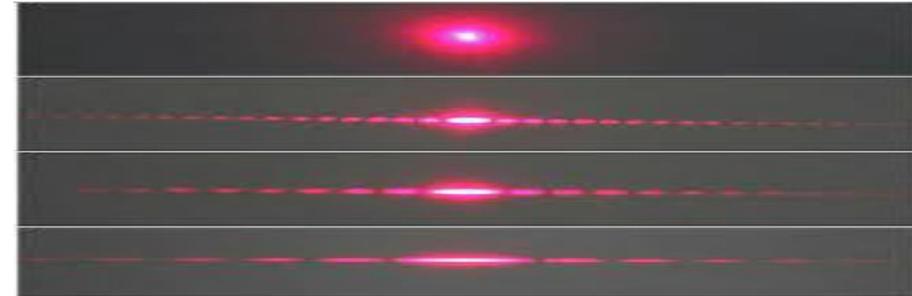
- La luce rappresenta la porzione dello spettro elettromagnetico più adatta a svolgere tale studio (esperienze quotidiane osservabili + diversi modelli per lo stesso ente con fenomeni uguali o diversi).
- Si è dunque deciso di investigare le **modalità di applicazione del modello ondulatorio della luce nell'analisi dei fenomeni di diffrazione e spettroscopia ottica da parte degli studenti.**
- Lo studio si riferisce all'implementazione con studenti liceali di percorsi didattici su tali fenomeni, elaborati dall'unità di ricerca in didattica della fisica dell'università di Udine utilizzando metodi di *Design-Based Research*.



# Il razionale del percorso costruito con DBR sulla **diffrazione ottica**

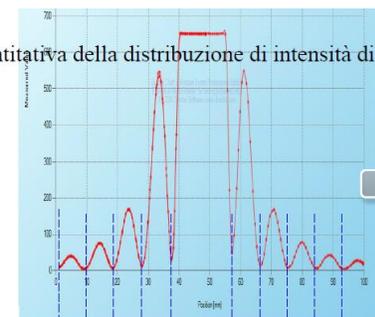


- **La luce attraverso una singola fenditura secondo il paradigma dell'ottica geometrica:** le grandezze caratteristiche del fenomeno
- **La luce attraverso una singola fenditura molto stretta:** osservazione empirica → le nuove relazioni tra le grandezze caratteristiche
- **Esperimento per individuare le leggi del fenomeno:** misura della distribuzione dell'intensità luminosa al variare della larghezza della fenditura
- **Interpretazione del fenomeno:** si applicano il principio di Huygens-Fresnel e il metodo della bisezione nel limite di Fraunhofer

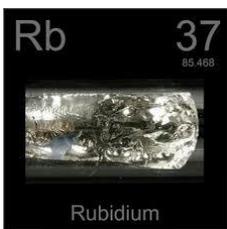
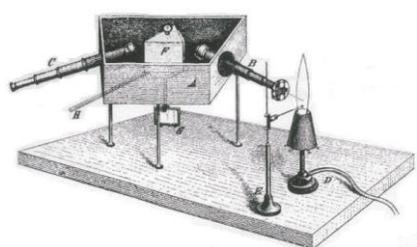


Analisi quantitativa della distribuzione di intensità di luce

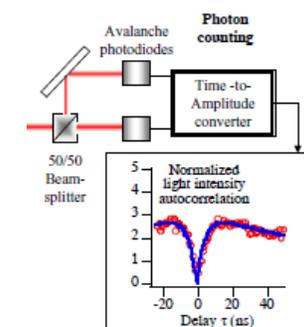
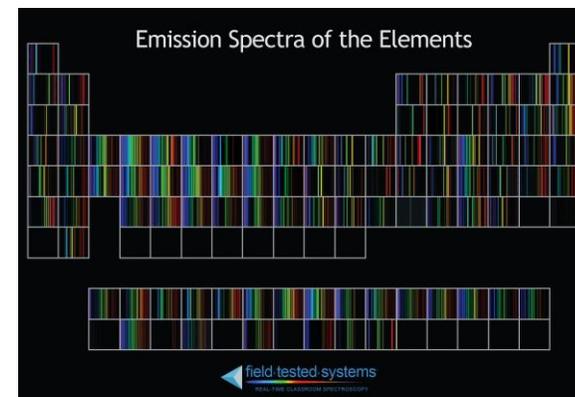
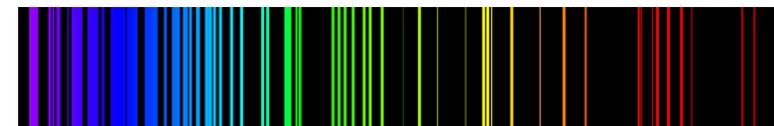
$$\begin{aligned} X_m &\text{ vs } m \\ X_M &\text{ vs } M \\ X_M &\text{ vs } I_M \end{aligned}$$



# Il razionale del percorso costruito con DBR sulla spettroscopia ottica



- **Sorgenti di luce:** cosa è?  
identificazione dei tipi / principi di funzionamento / tecnologie impiegate
- **Luce emessa:** caratteristiche (colore, intensità)
- **Raccolta di spettri da diverse sorgenti**
- **Relazione tra luce emessa e processo di emissione**
- **Struttura della materia:** livelli energetici e descrizione degli atomi
- **Dagli spettri di Kirchhoff e Bunsen alle leggi di Balmer e Rydberg**
- **La scoperta di Cs e Rb**
- **La nuova Tavola degli elementi**



La natura quantistica della luce:

- 1905 Einstein - 1986 Aspect
- Descrizione della struttura della materia

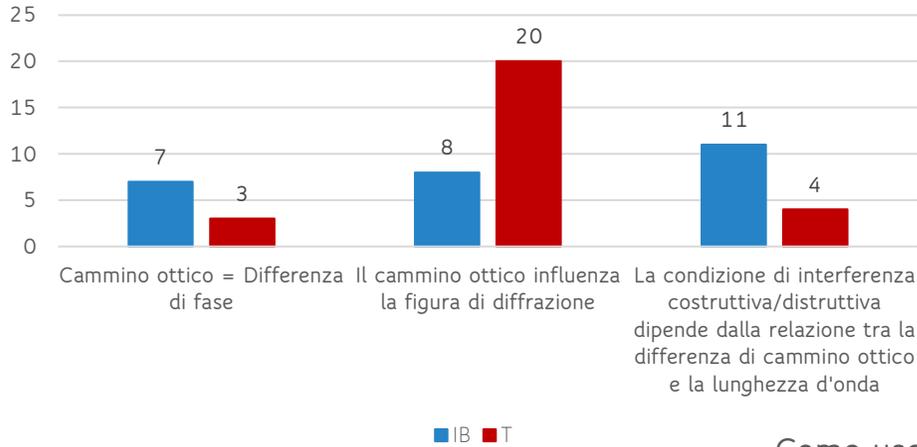
## Metodi

---

- **Campione:** 60 studenti dell'ultimo anno di un liceo scientifico di Treviso, di cui 26 hanno sperimentato in precedenza anche il percorso sulla diffrazione.
- **Struttura degli interventi didattici:** 4 ore per ciascun intervento + 2 ore per gli esperimenti (in piccoli gruppi).
- **Strumenti:** Post-test con domande a risposta aperta.
- **Analisi dati:** Definizione operativa delle categorie di risposta (in generale mutuamente esclusive).

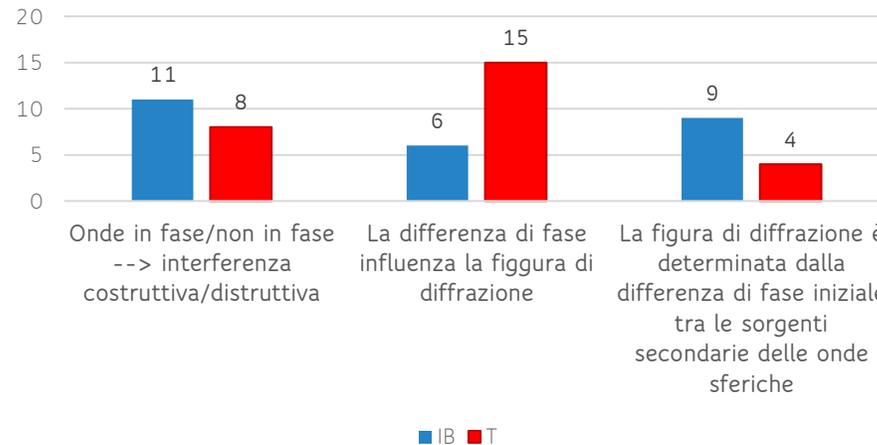


Come useresti il concetto di cammino ottico per spiegare la figura di diffrazione?



$\chi^2(2) = 9.994, p = 0.007$

Come useresti il concetto di fase per spiegare la figura di diffrazione?



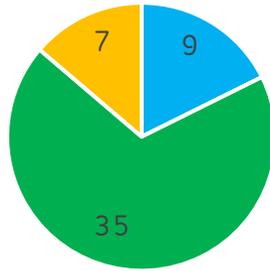
$\chi^2(2) = 6.237, p = 0.044$

## Risultati – Interpretazione della figura di diffrazione

*Il confronto con un gruppo di controllo evidenzia, da parte degli studenti che hanno sperimentato il percorso sulla diffrazione, un maggiore uso del modello scientifico che interpreta il fenomeno della diffrazione ottica in base ai referenti concettuali adoperati nel percorso.*



Considera uno spettro continuo. Rimuovendo il prisma, lo spettro cambierà? Se sì, come?



\*12/60 studenti affermano che lo spettro NON cambierà

\*\*Categorie non mutuamente esclusive

- Non sarà più continuo
- Cambieranno le dimensioni
- Diventerà bianco

Considera uno spettro continuo. Sostituendo il prisma con un reticolo di diffrazione, lo spettro cambierà? Se sì, come?



\*14/60 studenti affermano che lo spettro NON cambierà

\*\*Categorie non mutuamente esclusive

- Immagine allo specchio/Si sdoppia
- Non sarà più continuo
- Diventerà bianco
- Cambieranno le dimensioni
- Si creerà una banda bianca centrale e delle righe laterali di vari colori

*Si evidenzia una sovrapposizione tra chi ritiene che lo spettro non cambierà nei due casi o che diventerà discreto.*

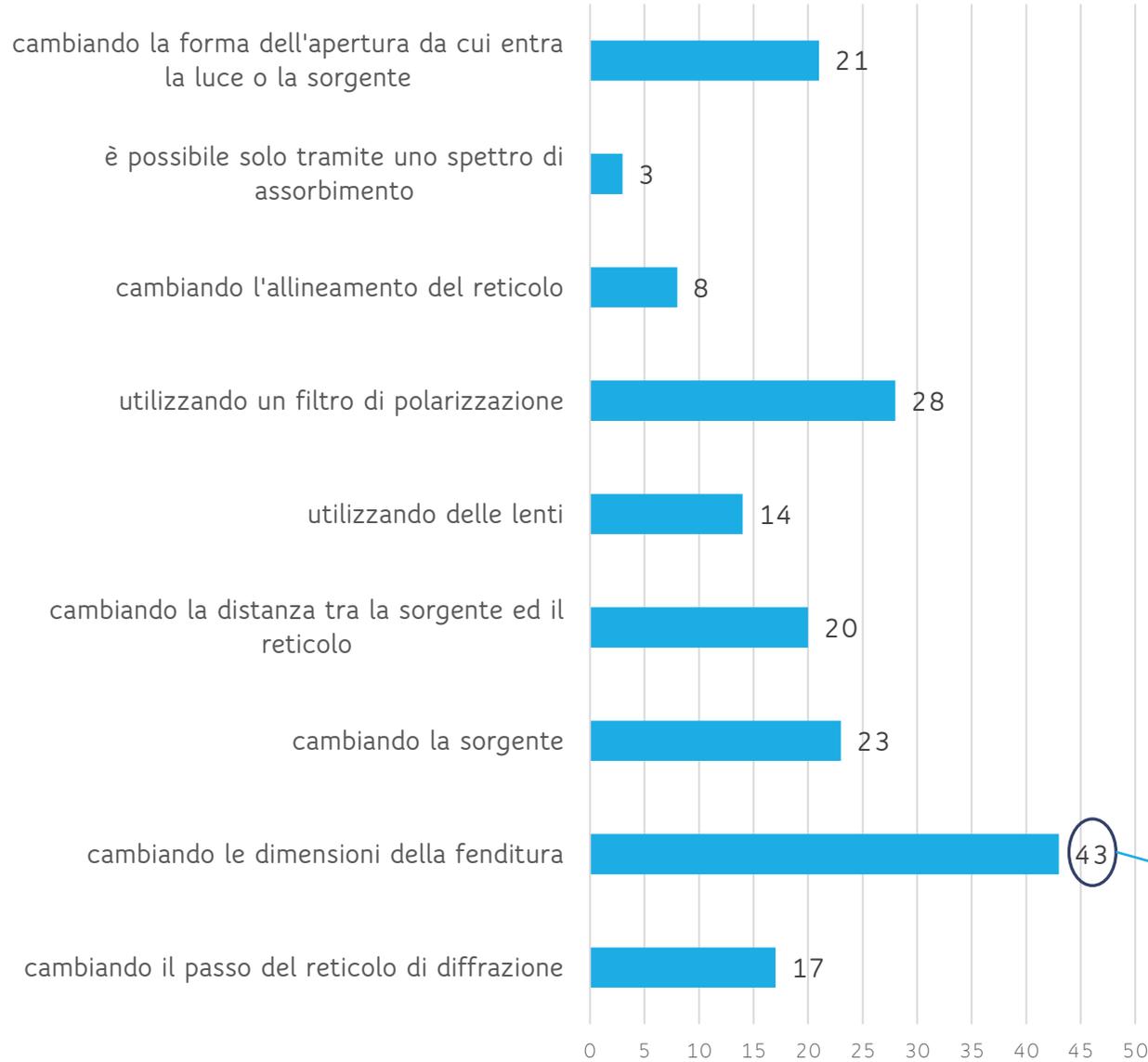


# CooFIS08

## Risultati – Funzione degli elementi dispersivi

Hai osservato immagini spettrali a forma di righe. In che modo è possibile ottenere un'altra forma per le emissioni spettrali?

# CooFIS08



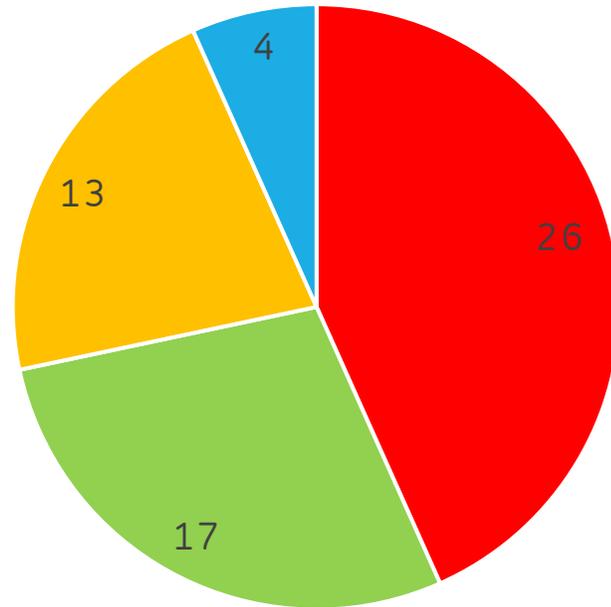
\*opzioni non mutuamente esclusive

## Risultati – Funzione degli elementi dispersivi

*Le categorie più densamente popolate fanno riferimento alla fenditura, indice della possibilità di applicare modelli diversi della luce per interpretare il fenomeno.*



Quale modello di luce permette di giustificare l'osservazione di uno spettro di emissione?



- modello ondulatorio
- modello a fotoni
- modello a raggio
- mix di modelli

*Il modello ondulatorio risulta preponderante anche nell'identificazione delle grandezze caratteristiche delle sorgenti di luce.*

## Risultati – Il modello della luce

---



## Discussione

---

- I risultati sull'interpretazione di figure di diffrazione da singola fenditura mostrano l'efficacia del percorso sulla diffrazione nel fornire un aiuto per superare i nodi concettuali relativi alle grandezze caratteristiche del modello ondulatorio della luce (fronte d'onda-cammino ottico-differenza di fase).
- Si evince una netta sovrapposizione (per un terzo del campione) tra chi ritiene che la rimozione del prisma o la sua sostituzione con il reticolo di diffrazione rende discreto uno spettro continuo. Le risposte di tali studenti sono compatibili con l'attribuzione di carattere dispersivo alla fenditura che produce lo spettro.



## Discussione

---

- Ulteriore evidenza di tale sovrapposizione si ha anche esplicitando la categoria delle dimensioni della fenditura. Tale sovrapposizione è quasi totale per gli studenti che hanno sperimentato il percorso sulla diffrazione prima di quello sulla spettroscopia.
- Il modello prevalente adoperato per giustificare la formazione di uno spettro di emissione è quello ondulatorio, essendo anche quello che si sovrappone meno con gli altri modelli della luce nell'interpretazione degli studenti, oltre a caratterizzare la sorgente in maniera completa.



## Conclusioni

---

- Nonostante le risposte ad altri quesiti evidenzino una buona padronanza acquisita rispetto ai fenomeni della spettroscopia ottica (associazione tra livelli energetici e spettri di emissione, consapevolezza riguardo la natura dei colori), l'interpretazione di tali fenomeni risulta condizionata dal modello ondulatorio della luce costruito per spiegare il fenomeno della diffrazione.
- Tale bias concettuale suggerisce di trattare fenomeni di diffrazione e polarizzazione ottica sia mediante un modello ondulatorio della luce, sia mediante un modello a fotone come oggetto quantistico (adoperato nel percorso sulla spettroscopia ottica), superando nel contempo la netta separazione tra fisica classica e moderna nel curriculum.



# References

---

Ambrose B. S.; Heron P. R. L.; Vokos S., McDermott L. C.; Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena, *Am. J. Phys.* 67, 891–898 (1999).

Duit R., Gropengieber H., Kattmann U., Komorek M., Parchmann I. *The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science* (2012) 13-37.

Griffiths D. J., *Introduction to Electrodynamics* (Pearson Education, Boston, 2013), pp. 449–450.

Mešić V., Hajder E., Neumann K., Erceg N., Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics (2016) *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 12, 010135.

Puntambekar, DBR Collective (2003). *Educational Researchers* 32 1 5.

Rettob R. J., Poluakan C., Tulandi D. A., Mongan S. W., PoliiJ. (2021), Students learning difficulties in understanding the Lorentz force, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1968 012041.

Suárez A., Martí A. C., Zuza K., Guisasola J., Las relaciones causa-efecto en las ecuaciones de Maxwell y sus implicancias en la enseñanza del electromagnetismo en los cursos introductorios de Física, *Physics Education Research Rev. Bras. Ensino Fís.* 44 2022.

Tucci, Pasquale (1998). “L’elettromagnetismo da F. Neumann a H. Hertz” in *Quaderno 8. Memorie storiche di fisica. Supplemento anno XXXI, n. 4 di La fisica nella scuola, ottobre-dicembre 1998, pp.5-36.*

Wittman M. C., Steiberg R. N., Redish ., E. F. *Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves, The physics teacher* (1999).

Wosilait K.; Heron P. R. L.; Shaffer P. S.; McDermott, L. C. Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light, *Am. J. Phys.* 67, S5–S15 (1999).

