



UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Fisica

CooFIS08



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Italian Physical Society

2nd MEETING of CooFIS08 Italian Physics Education Research and History of Physics Research (IPER-HPR)

Napoli, 30 novembre - 01 dicembre 2023

Insegnare efficacemente le basi fisiche dell'effetto serra: evoluzione di una sequenza didattica

Autori:

Alessandro Salmoiraghi (1), Stefano Toffaletti (1), Marco Di Mauro (1), Camilla Fiorello (1), Tommaso Rosi (1), Eugenio Tufino (1), Pasquale Onorato (1) e Stefano Oss (1)

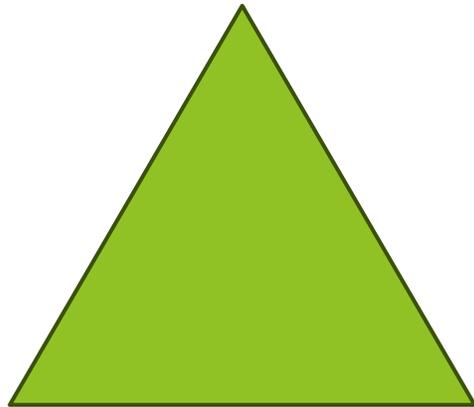
(1) Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Trento (TN)

Inquadramento metodologico

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. The shapes are primarily triangles and polygons, creating a dynamic, layered effect. The overall composition is clean and modern, with the text centered on a white background.

Design di una teaching-learning sequence

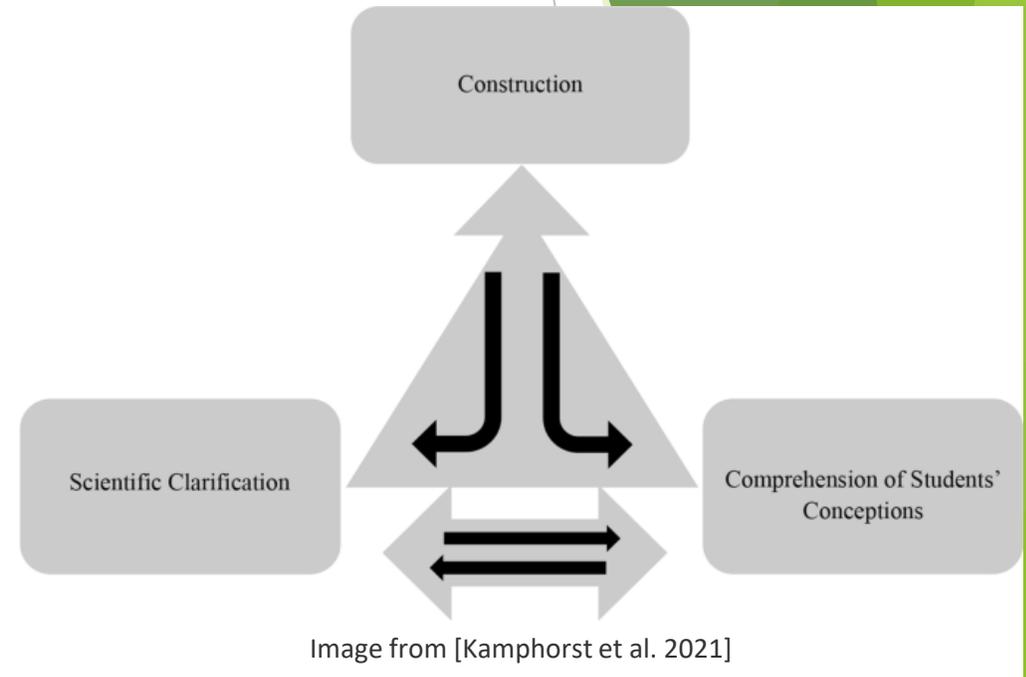
Studio delle proposte già sperimentate



Analisi critica del contenuto scientifico e sua ricostruzione per l'insegnamento

Analisi della ricerca didattica riguardo l'argomento

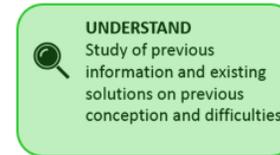
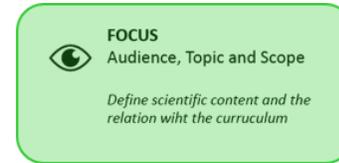
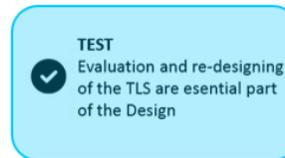
Approccio tridimensionale [Besson et al. - International Journal of Science Education 2010]



Model of Educational Reconstruction [Duit et al. 2012]

DESIGN AND PROCEDURE (DBR)

TESTING AND
EVALUATION



DESIGN



IMPLEMENTATION



[Guisasola et al. - Physical Review Physics Education Research (2017)]

Riprogettazione

The background features abstract, overlapping geometric shapes in various shades of green, ranging from light lime to dark forest green. These shapes are primarily located on the right side of the page, creating a modern, layered effect. The rest of the page is plain white.

Precedenti TLS

[Onorato, Malgieri, De Ambrosis, Rosi, Salmoiraghi e Oss 2021 - Giornale di Fisica]

Gruppi PER:

- ▶ **Pavia** [Besson et al. - European Journal of Physics 2010, Tarantola - Master thesis 2012, De Ambrosis & Onorato - Mondadori Education 2014]
- ▶ **Bologna** [Tasquier - Giornale di Fisica 2013, Tasquier - PhD thesis 2015]
- ▶ **Trento** [Moggio - PhD thesis 2016]
- ▶ Questi gruppi di ricerca mettono in evidenza come permanga la difficoltà da parte degli studenti a riconoscere la differenza tra radiazione solare e radiazione terrestre, come queste interagiscono con la materia e come ciò si traduce nel bilancio energetico.
- ▶ Partendo da queste osservazioni abbiamo progettato una nuova TLS che includesse esperimenti volti a indagare l'interazione tra radiazione e materia.

Passi cognitivi	Attività
Riconoscere e spiegare la condizione stazionaria della temperatura di oggetti esposti alla radiazione solare o di una lampada (bilancio energetico ed equilibrio radiativo)	Misurazioni della temperatura nel tempo di cilindri di metallo di differenti colori esposti alla radiazione solare o sotto una lampada.
Discriminare i concetti di calore e radiazione e riconoscere che gli oggetti emettono radiazione termica.	Esperimenti sull'emissione di radiazione infrarossa da parte di corpi a diverse temperature per mezzo di un radiometro.
Distinguere la radiazione visibile e infrarossa e il comportamento di un materiale in base al diverso tipo di radiazione incidente.	Visione della radiazione infrarossa emessa da un telecomando per mezzo di una fotocamera digitale
Mettere insieme gli elementi precedenti in modo da comprendere la natura radiativa dell'effetto serra in un modello.	Analisi qualitativa dello spettro della radiazione.
Comprendere l'effetto serra sulla Terra e il global warming (surriscaldamento globale) a partire da un modello di flussi di energia sviluppato per il modellino dell'effetto serra	Esperimenti con un modellino dove il comportamento di una piccola serra posta sotto la radiazione solare è stata studiata durante un'attività all'aperto.

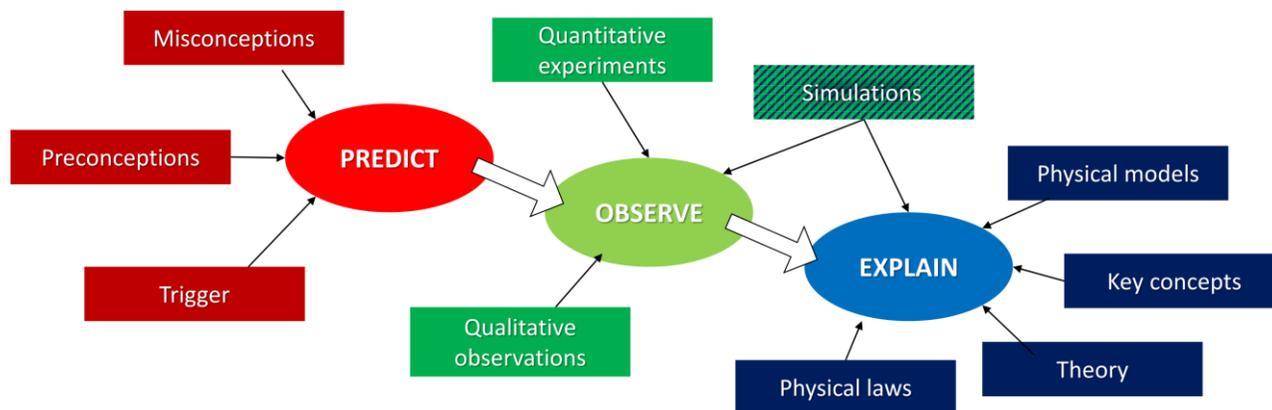
Quadro sintetico dei passi cognitivi e delle attività proposte nella versione 0 della sequenza. [Moggio - PhD thesis 2016]

Aree concettuali	Sottoaree	Attività
1) Calore e Temperatura	a. Calore e Temperatura b. Propagazione del calore c. Interpretazione microscopica	Esperimenti classici di termologia Attività sul modello microscopico Costruzione interattiva dei concetti di calore e Temperatura
2) Spettro elettromagnetico e corpo nero	a. Energia delle bande dello spettro b. Legge di Stefan-Boltzmann c. Legge di Wien	Osservazione di sorgenti luminose con un reticolo di diffrazione e lo smartphone Misura della legge di Stefan-Boltzmann con una lampadina ad incandescenza Osservazione dello spostamento dello spettro al crescere della temperatura Simulazioni PHET sullo spettro di corpo nero
3) Interazione radiazione-materia	a. Riflessione b. Rifrazione c. Assorbimento d. Diffusione elastica e anelastica e. Trasparenza selettiva f. Effetti della concentrazione g. Trasparenza selettiva e Radiazione IR h. Modello microscopico	Esperimenti di ottica geometrica e legge di Snell Esperimento sull'assorbimento, la legge di Beer e la trasparenza selettiva Simulazioni con app PhET sulla legge di Beer (lunghezza d'onda e concentrazione) Dimostrazioni con la termocamera fotocamera IR Dimostrazioni sulla diffusione elastica e anelastica della radiazione Simulazione PhET su interazione radiazione materia
4) Oggetti esposti alla radiazione, stato stazionario e Bilancio energetico	a. Equilibrio radiativo b. Stati stazionari c. Corpi neri e corpi grigi: emissività e assorbanza	Esperimento di misura della costante solare Dimostrazione con il "modello idrodinamico" di stato stazionario Dimostrazione con il cubo di Leslie: emissività Dimostrazione sull'assorbanza di oggetti di diverso colore
5) Bilancio energetico della Terra ed effetto Serra	a. Proprietà gas serra b. Albedo c. Feedback d. Costruzione di modelli per ottenere la Temperatura media globale	
6) Analisi del Global Warming	a. Effetti delle variazioni del feedback b. Clima, inquinamento ed eventi meteorologici estremi	Effetto Larsen con due smartphone Dimostrazione con il "modello idrodinamico" di stato stazionario modificato

Aree concettuali e attività della sequenza riprogettata.

Riprogettazione: metodi e scelte didattiche

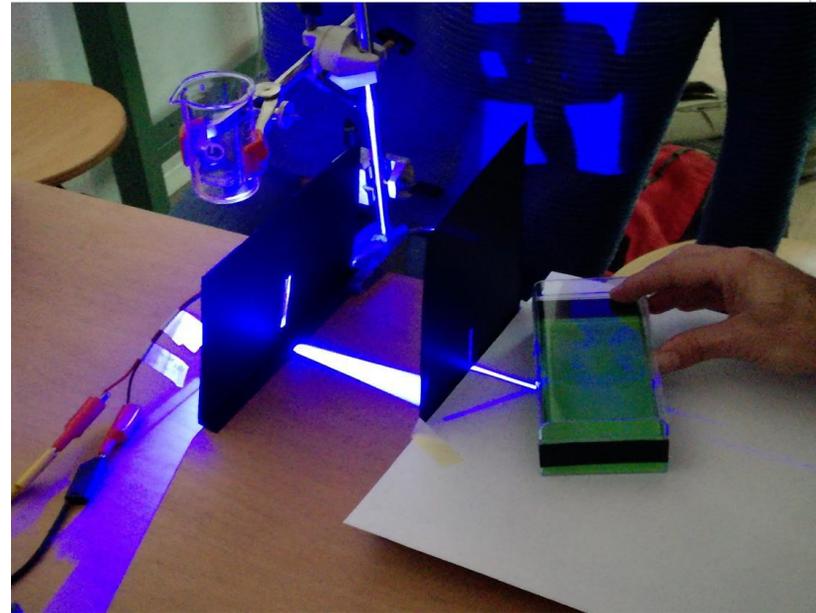
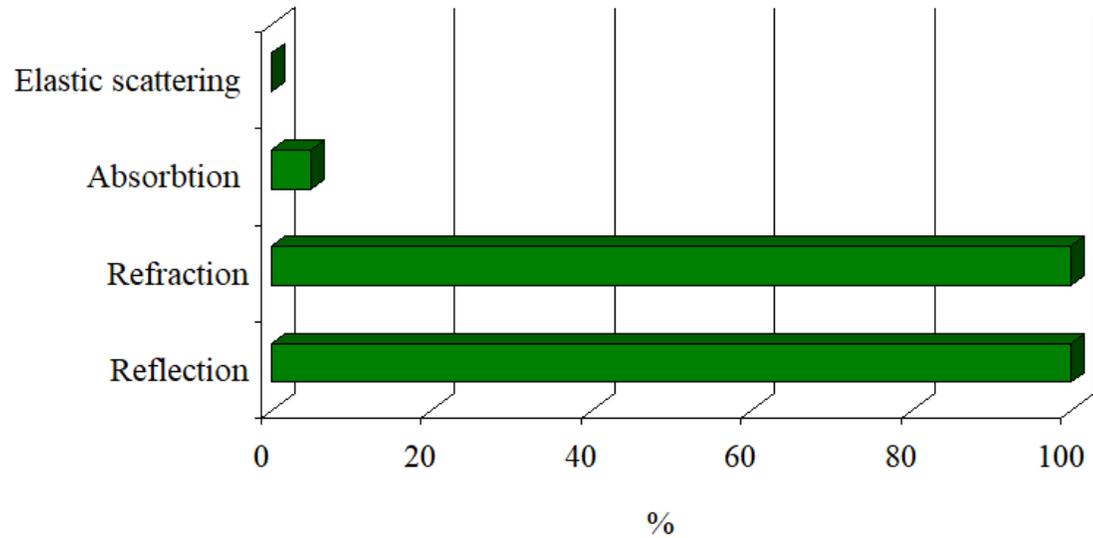
- ▶ Una o più **attività** per ciascuna delle sottoaree concettuali
- ▶ **BYOD**: uso dello smartphone sia come strumento di misura e osservazione (Physics Toolbox) che come interfaccia per rilevare le risposte ai test (Socrative e Google Moduli)
- ▶ Combinare **esperimenti reali** e **simulazioni** interattive che riproducono o rielaborano il fenomeno già osservato nella realtà
- ▶ Discutere, quando possibile, gli **aspetti microscopici** che sono alla base dei fenomeni macroscopici osservati avvalendoci di simulazioni
- ▶ Ogni esperimento è stato affrontato con la strategia **POE**



[Adattato da White & Gunstone «Probing understanding», 2014]

Attività aggiunte alla sequenza

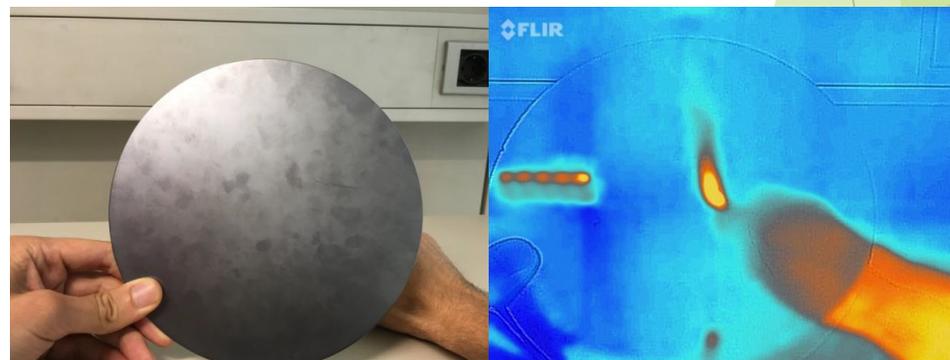
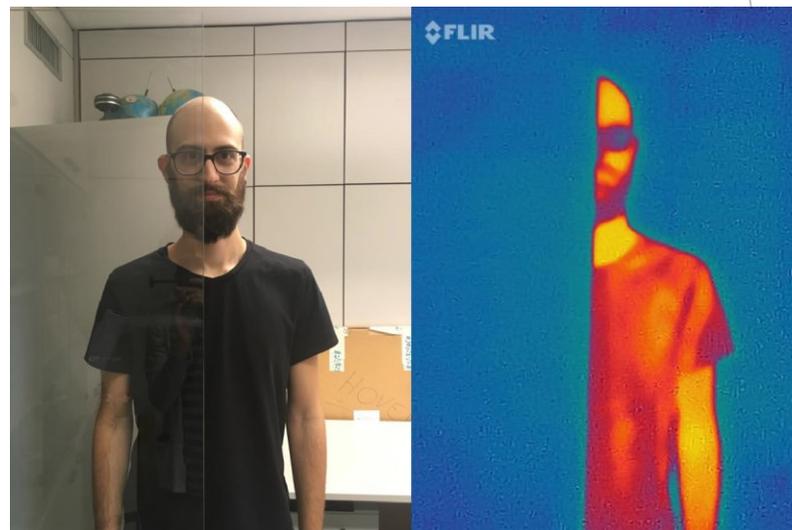
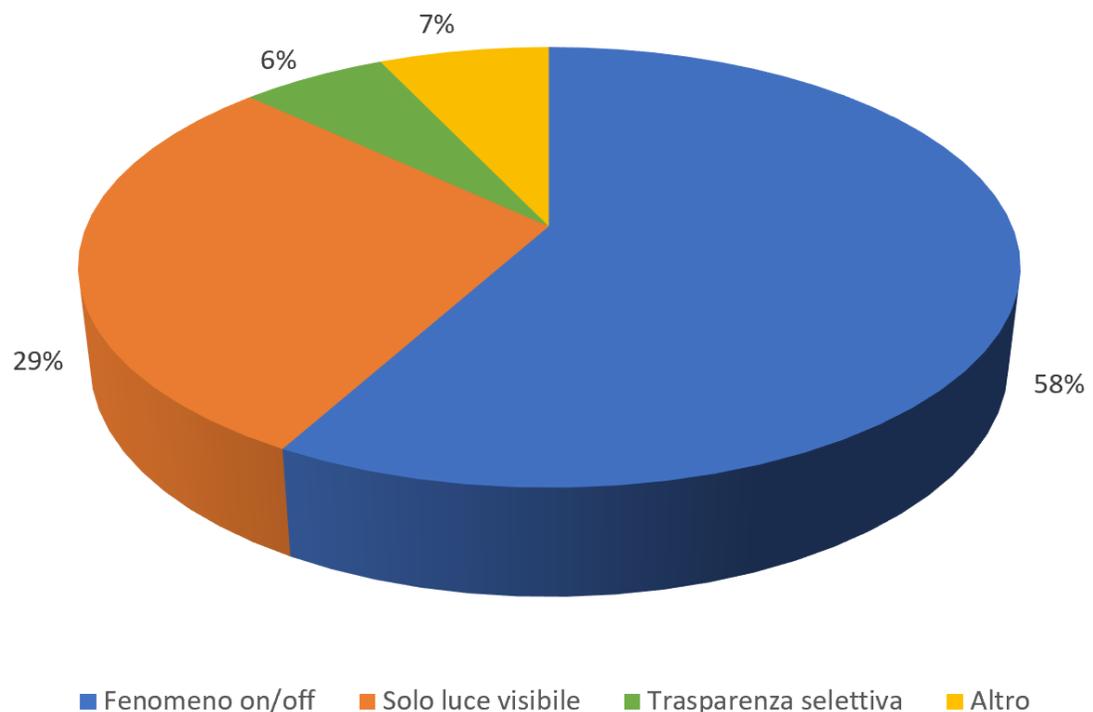
Cosa succede quando un pennello di luce entra in un recipiente contenente sapone liquido?



Emissione termica, trasparenza selettiva

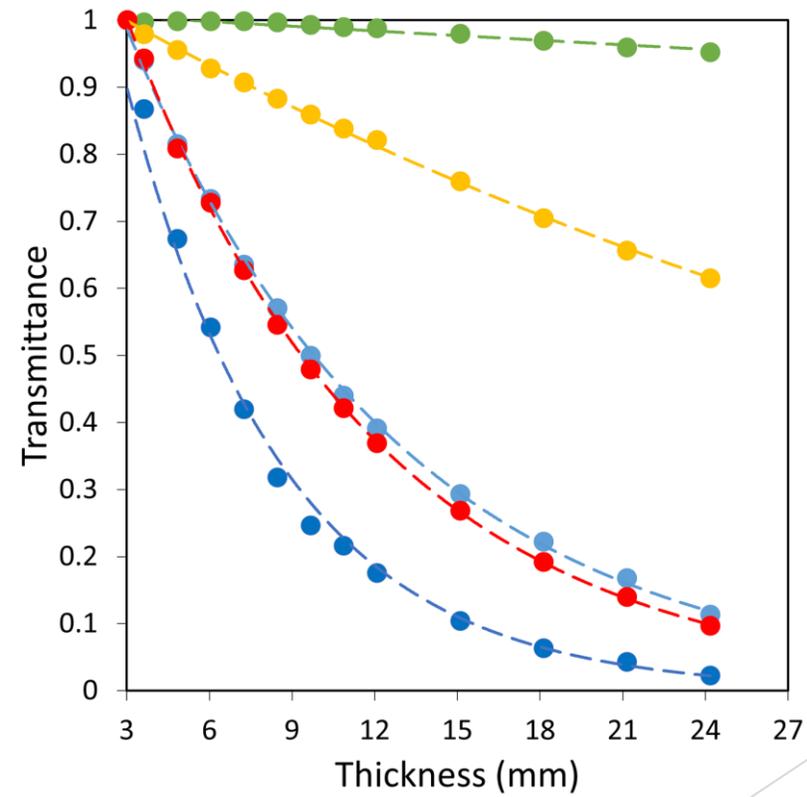
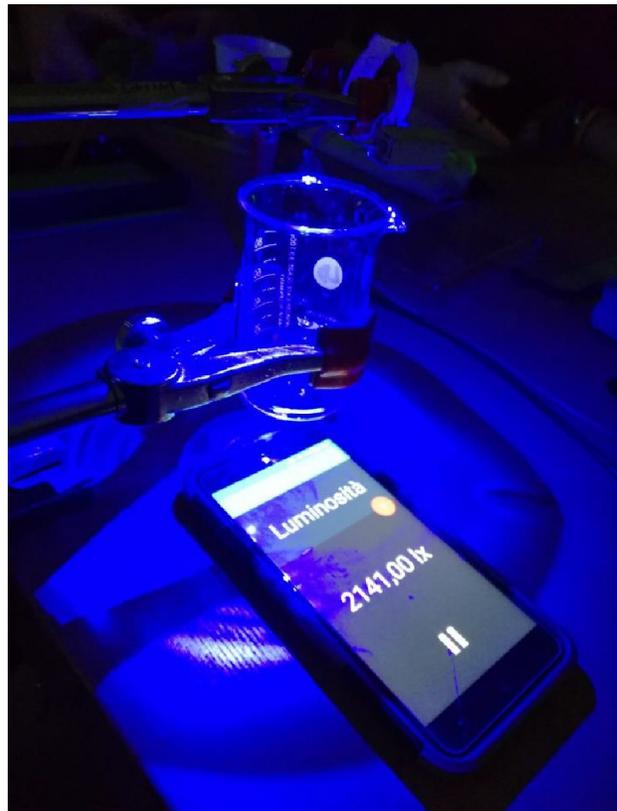
[Onorato, Malgieri, De Ambrosis, Rosi, Salmoiraghi e Oss 2021 - Giornale di Fisica]

Cosa significa che un corpo è trasparente?



Assorbimento selettivo: legge di Beer-Lambert

[Onorato, Gratton, Polesello, Salmoiraghi e Oss 2018 - Physics Education]



Simulazioni e modelli microscopici

Wavelength: 449 nm
 preset variable

cm 1 2

Solution: ■ NiCl₂: Nickel(II) chloride

Concentration: 186 mM

16.91%
 Transmittance
 Absorbance

Detailed description: This simulation shows a blue light beam passing through a green liquid in a cuvette. A green detector is positioned to measure the light. A control panel on the left allows for adjusting the wavelength (449 nm) and concentration (186 mM) of the solution. A ruler below the cuvette indicates a path length of approximately 1.5 cm. A data box on the right shows a transmittance of 16.91%.

Carbon Monoxide (CO)
Nitrogen (N₂)
Oxygen (O₂)
Carbon Dioxide (CO₂)
Water (H₂O)
Nitrogen Dioxide (NO₂)
Ozone (O₃)

Microwave Infrared Visible Ultraviolet

Higher Energy

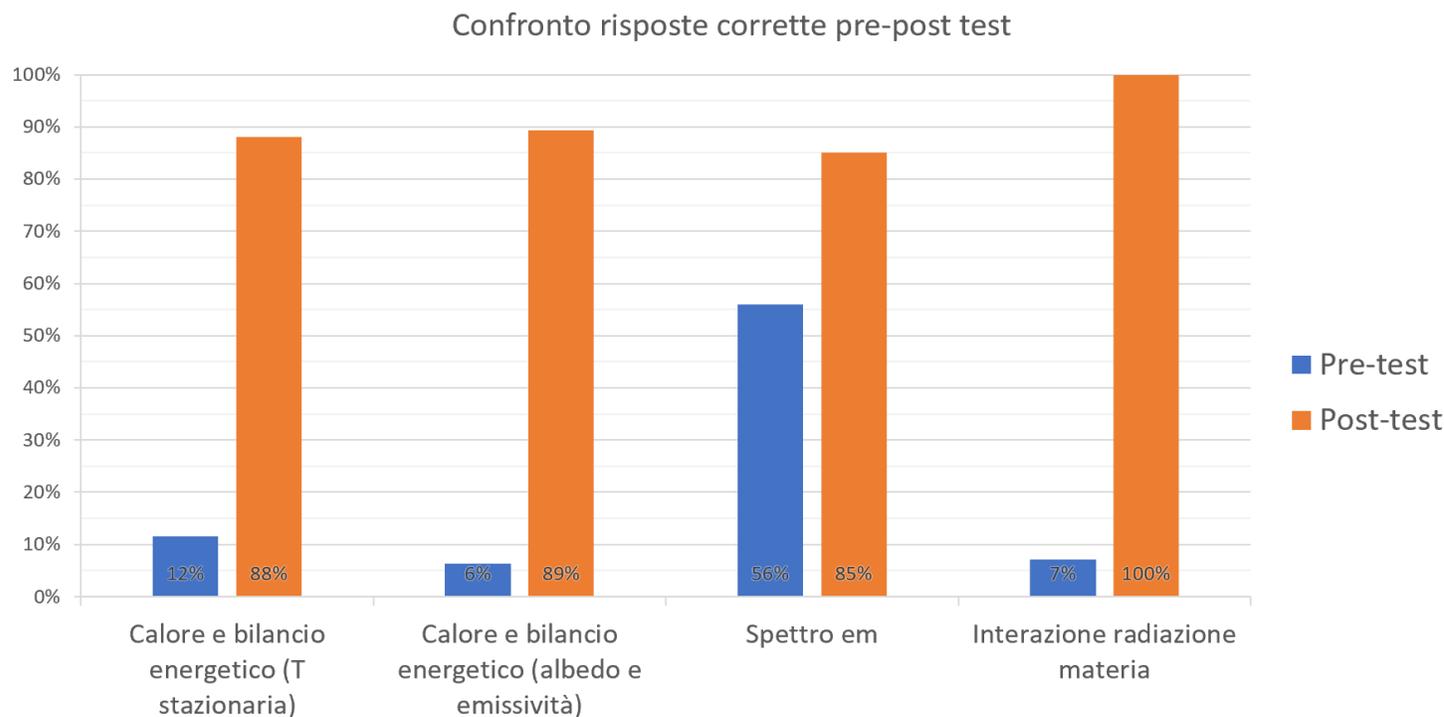
Show Light Spectrum

Molecules and Light

PIET

Detailed description: This simulation displays a spectrum of light energy levels from Microwave to Ultraviolet. A flashlight icon is shown for each energy level, with a central 'Visible' flashlight emitting a beam. To the right, molecular models for various gases are shown, including Carbon Monoxide (CO), Nitrogen (N₂), Oxygen (O₂), Carbon Dioxide (CO₂), Water (H₂O), Nitrogen Dioxide (NO₂), and Ozone (O₃). A 'Show Light Spectrum' button and a 'PIET' logo are also present.

Valutazione della sequenza



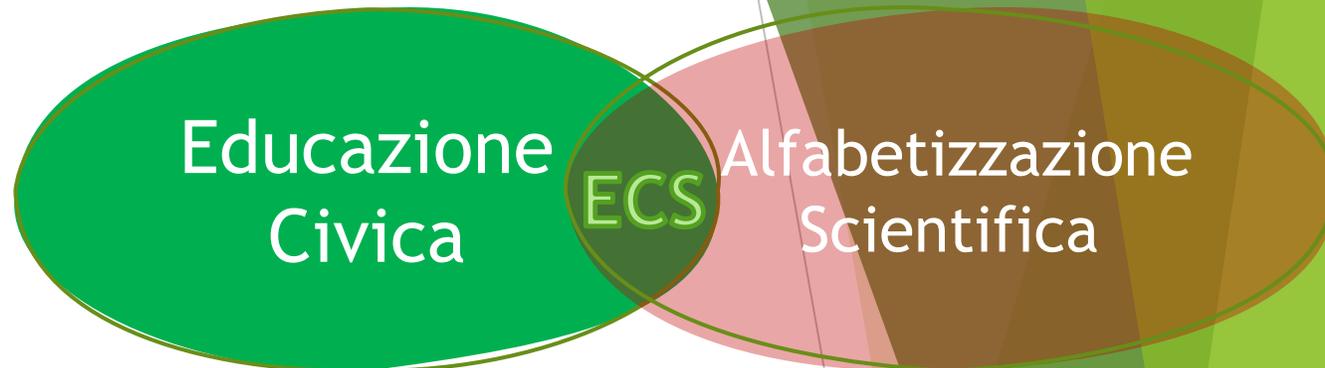
Criticità registrate:

- ▶ Solo il 63% degli studenti spiega correttamente la trasparenza selettiva dell'atmosfera.
- ▶ Il 28% degli studenti non ha un'adeguata comprensione del concetto di emissione termica.

Motivazioni della RIPROGETTAZIONE

- ▶ Accanto alle analisi dei dati delle sperimentazioni precedenti
 - ▶ punti chiave su cui lavorare
 - ▶ aggiornamenti sull'ordine della sequenza
- ▶ ... ci sono **NUOVE motivazioni:**
 - ▶ Esterne:
 - ▶ re-introduzione dell'educazione civica nelle scuole
 - ▶ Interne:
 - ▶ analisi del contesto scientifico e delle concezioni degli studenti
 - ▶ nuovo focus: non più solo l'aspetto fisico del fenomeno, ma più in generale l'alfabetizzazione scientifica

Alfabetizzazione Scientifica



- ▶ Tridimensionalità dell'Alfabetizzazione Scientifica (AS) [Shen, 1975]:
 - ▶ “pratica”
 - ▶ “culturale” e metodologica (modalità e procedure tipiche dell'approccio alla conoscenza scientifica)
 - ▶ “civica” (aiutare i cittadini ad assumere comportamenti e decisioni socialmente sostenibili)
- ▶ Educazione Civica Scientifica (ECS):
 - ▶ si discosta dalla «tradizionale» Educazione Civica, che afferiva esclusivamente all'area storico-giuridico-economica
 - ▶ necessità di coinvolgere gli ambiti disciplinari scientifico-tecnici per educare alla cittadinanza partecipata, consapevole e responsabile
 - ▶ ECS come parte integrante dell'Educazione Civica e dell'Alfabetizzazione Scientifica [Sapia, 2020]
- ▶ Ruolo dell'ECS: guidare i cittadini su scelte politiche riguardo tematiche connesse a scienza e tecnologia [Miller, 1998 e 2016]

Background - Perché insegnare CC?

[Toffaletti et al. 2022 - *Civic scientific literacy: a teaching learning sequence on the climate change* - Nuovo Cimento C]

- ▶ I cambiamenti climatici sono un tema importante per gli studenti in quanto futuri decisori e cittadini [Pachauri et al. 2014]
- ▶ Per essere efficacemente attivi nel futuro, gli studenti devono riconoscere le basi scientifiche di questo fenomeno [Bord et al. 2000]
- ▶ Nel 2020 l'educazione Civica è stata reintrodotta nella scuola secondaria italiana
 - ▶ Tre nuclei concettuali, uno dei quali è lo «sviluppo sostenibile»
 - ▶ Esso riprende gli obiettivi dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite
 - ▶ Il tredicesimo obiettivo di questa agenda è l'AZIONE CLIMATICA



Analisi del contesto scientifico

[Toffaletti et al. 2022 - *Guiding students towards an understanding of climate change through a teaching-learning sequence* - Educ. Sci.]

- ▶ La piena comprensione dei fenomeni fisici alla base dell'effetto serra (GHE) è resa difficile da errate concezioni riguardanti [Shepardson et al. 2011; Jarret et al. 2013]:
 - ▶ Emissione termica: spettro di emissione di un corpo, in dipendenza dalla sua temperatura
 - ▶ Interazione della radiazione EM con la materia (sia macro che micro) e la sua dipendenza da:
 - ▶ Frequenza della radiazione incidente
 - ▶ Tipo della materia che interagisce
 - ▶ Trasparenza selettiva mostrata dalla nostra atmosfera [Besson et al. 2010]
- ▶ ...e «dipende in modo cruciale dal fatto che gli autori dei libri di testo siano consapevoli di queste misconcezioni riguardo i Cambiamenti Climatici» [Choi et al. 2010]

Analisi dei libri di testo e misconcezioni

[Toffaletti et al. 2022 - *Guiding students towards an understanding of climate change through a teaching-learning sequence* - Educ. Sci.]

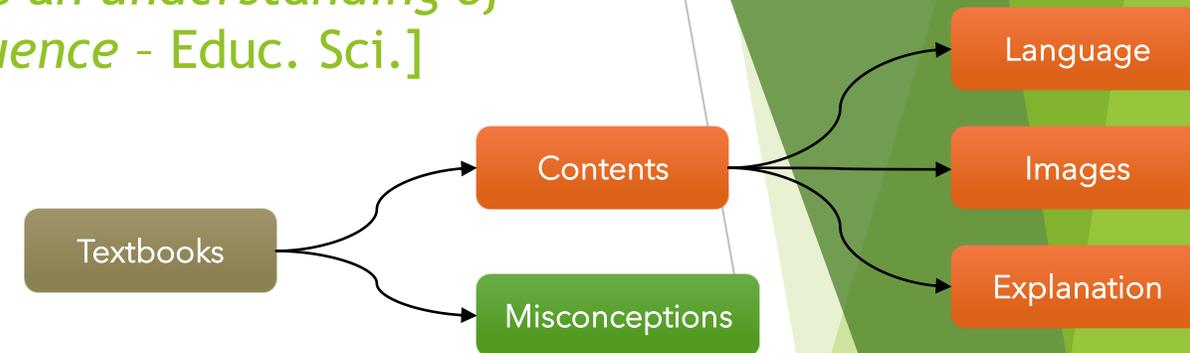
► Due tipi di analisi dei testi:

- l'analisi dei contenuti
- l'analisi delle misconcezioni.

► Contenuti: abbiamo effettuato un'analisi concettuale, usando il metodo della lista di controllo proposta da [Ibañez and Ramos 2004], con riferimento ai concetti chiave sul GHE ben noti in letteratura [Onorato et al. 2021]

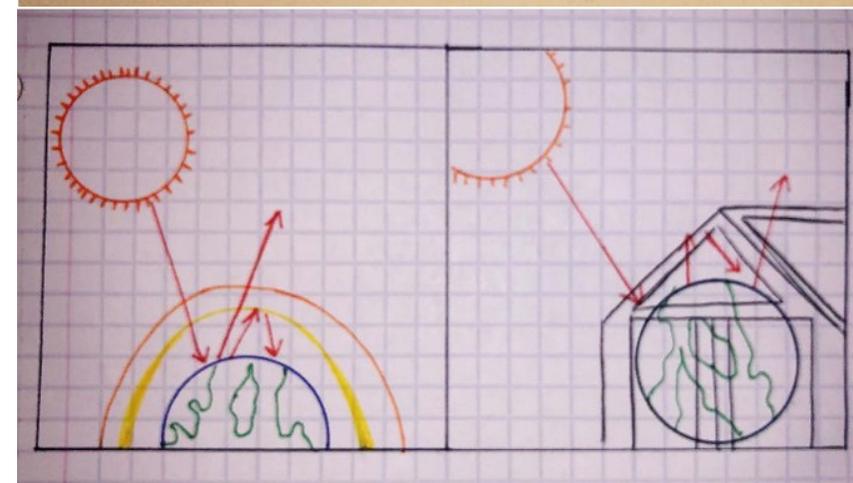
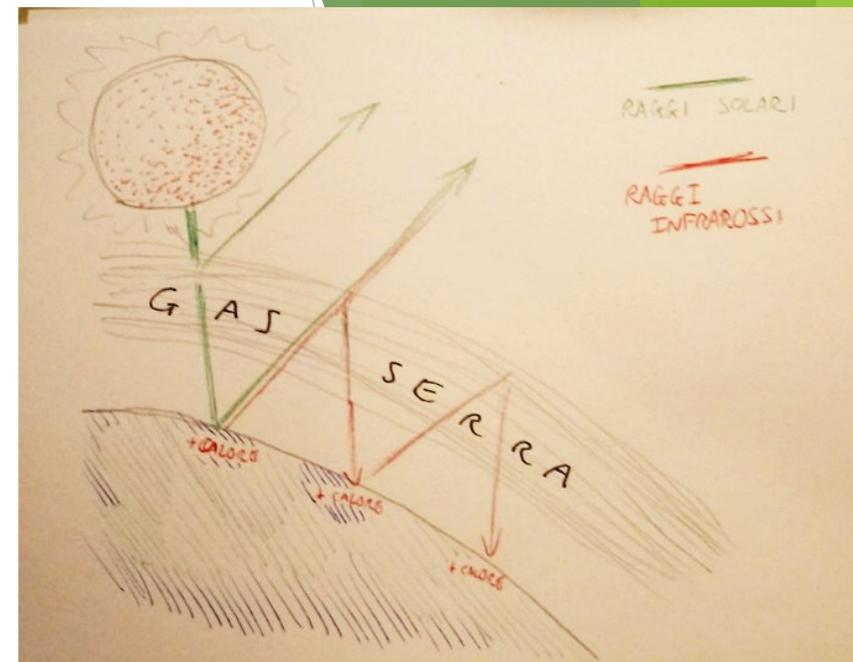
- Linguaggio: analisi delle definizioni e loro introduzione [Taibu et al. 2015]
- Immagini: framework teorico basato sulla semiotica [Viennot et al. 2020; Testa et al. 2014]
- Spiegazioni: controllo di completezza logica [Viennot et al. 2020]

► Misconcezioni: abbiamo considerato la metodologia proposta da [Shepardson et al. 2009] e [Choi et al. 2010], rintracciando, per ogni misconcezioni che abbiamo trovato in letteratura, il corrispondente concetto scientifico



Comprensione delle concezioni degli studenti

- ▶ Le rappresentazioni sono sempre più utilizzate per sostenere l'apprendimento di argomenti scientifici [Namdar et al. 2016; Oliveira et al. 2015]
- ▶ Le misconcezioni degli studenti conducono alla costruzione di modelli mentali su come funziona il GHE
- ▶ Abbiamo analizzato i disegni di 174 studenti da differenti livelli scolastici:
 - ▶ 59 di studenti della seconda superiore (K-10)
 - ▶ 25 studenti della quinta superiore (K-13)
 - ▶ 90 studenti universitari
- ▶ Il compito (da svolgere prima di seguire la sequenza): «Disegna un'immagine dell'effetto serra e aggiungi alcune spiegazioni per interpretare la tua rappresentazione»



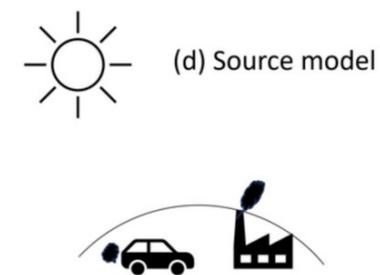
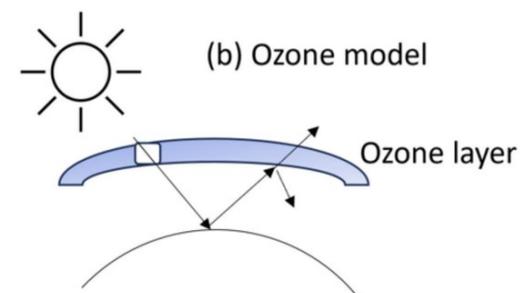
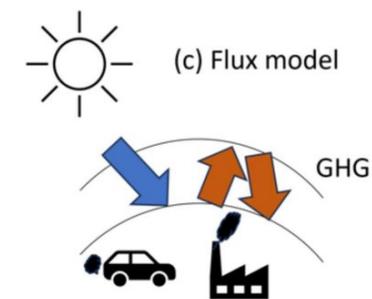
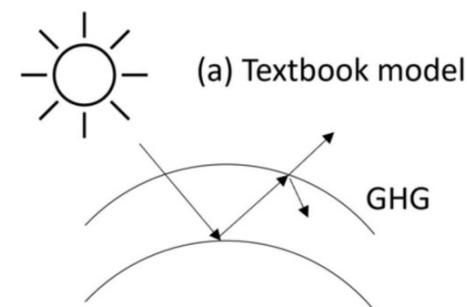
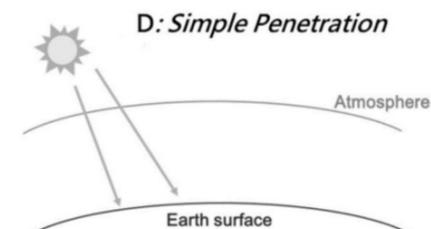
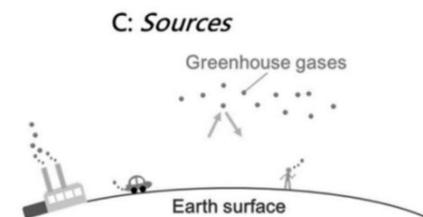
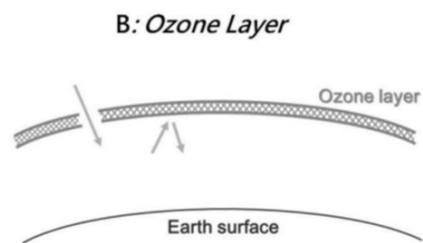
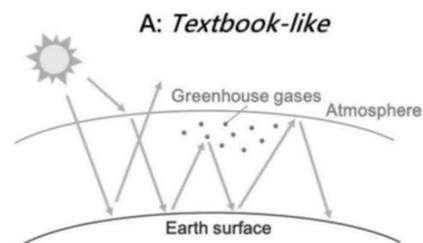
Immagini da [Toffaletti et al. 2022 - *Guiding students towards an understanding of climate change through a teaching-learning sequence* - Educ. Sci.]

Modelli mentali degli studenti

[Fiorello et al. 2023 - *Il cambiamento climatico: rappresentazioni grafiche e mentali dell'effetto serra* - Presentazione ESERA2023]

► Analisi delle componenti principali:

- Modelli mentali di Liu (sinistra) [Liu et al. 2021] vs quelli ottenuti dalle nostre analisi

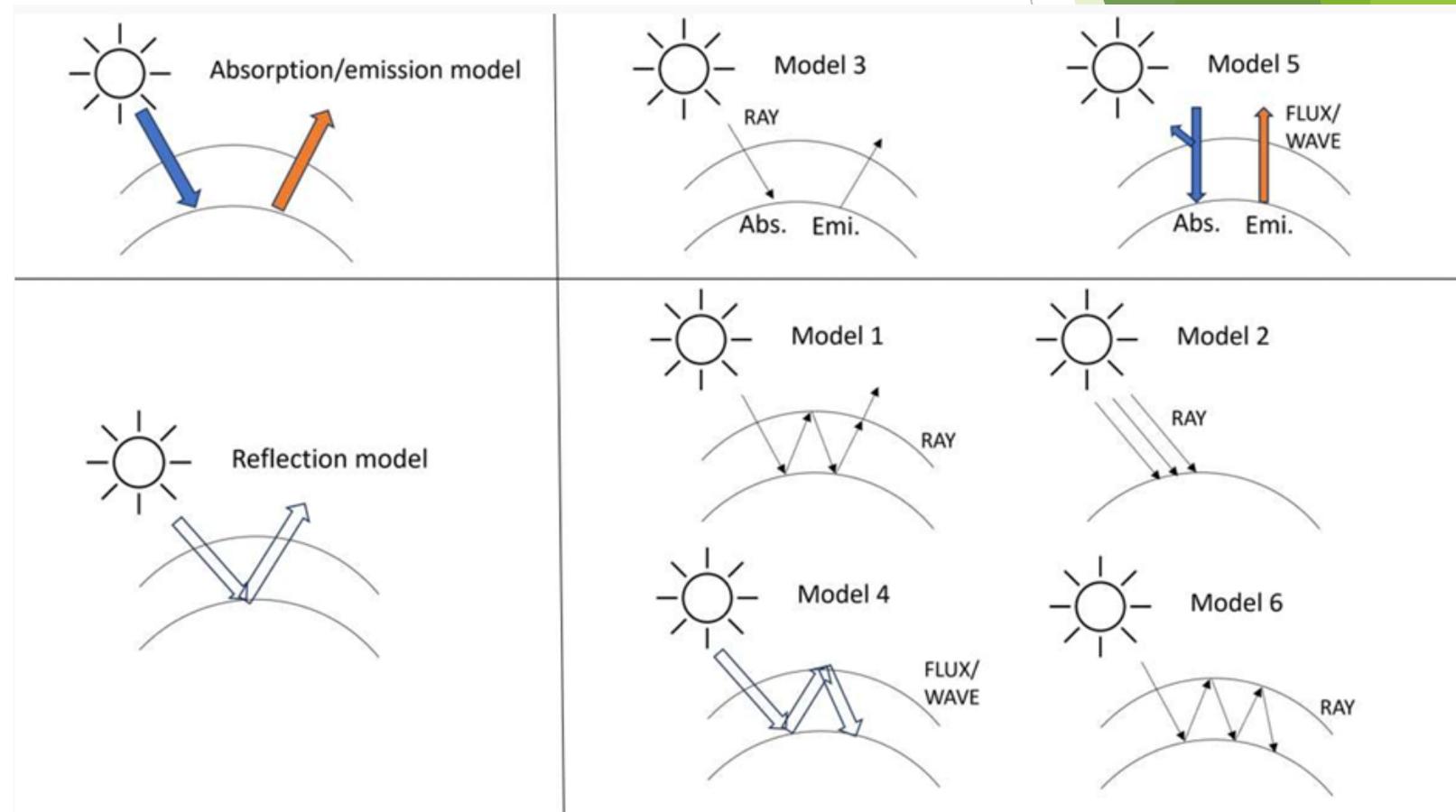


Modelli mentali degli studenti

[Fiorello et al. 2023 - *Il cambiamento climatico: rappresentazioni grafiche e mentali dell'effetto serra* - Presentazione ESERA2023]

► Successiva cluster analysis:

- I due modelli iniziali (sinistra) sono diventati 6 (destra)
- Forniscono una migliore rappresentazione statistica degli esempi esaminati

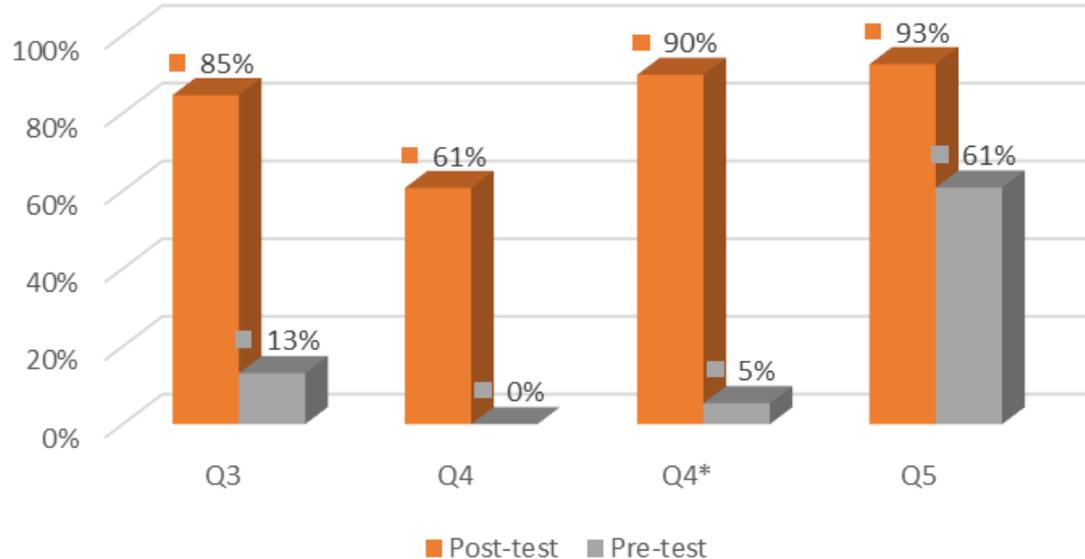


Risultati delle precedenti sperimentazioni

[Toffaletti et al. 2022 - *Guiding students towards an understanding of climate change through a teaching-learning sequence* - Educ. Sci.]

- ▶ L'analisi dei risultati delle precedenti (2017-2020) sperimentazioni ha condotto il nostro gruppo di ricerca a rivelare i medesimi aspetti critici [Toffaletti et al. 2022]:
 - ▶ selettività della trasparenza (e dell'assorbimento)
 - ▶ emissione termica

Pre-post comparison (4y) - (N=80)



#	Domanda	Valutazione dell'apprendimento
Q3	Cosa significa che un corpo è trasparente?	Viene considerata la selettività della trasparenza
Q4	Che fenomeni possono essere osservati nel passaggio di un raggio di luce attraverso un contenitore riempito con dell'acqua?	Deve fare cenno ai quattro fenomeni: riflessione, rifrazione, assorbimento e diffusione
Q4*		La risposta riporta almeno l'assorbimento
Q5	Un oggetto, dotato di una certa temperatura T , è posizionato nel vuoto (per esempio nello spazio). Come evolve la sua temperatura al passare del tempo?	Trasferimento di calore per irraggiamento nel vuoto

Elementarizzazione

[Toffaletti et al. 2023 - *A TLS about climate change: From theory to practice* - Am. Jour. Phys.]

- ▶ Tutto ha condotto all'identificazione dei concetti chiave **concetti chiave da insegnare** (vedi esempio nella tabella sotto)
- ▶ **Questo completa la fase di elementarizzazione**, permettendoci di RI-PROGETTARE la struttura della nuova sequenza

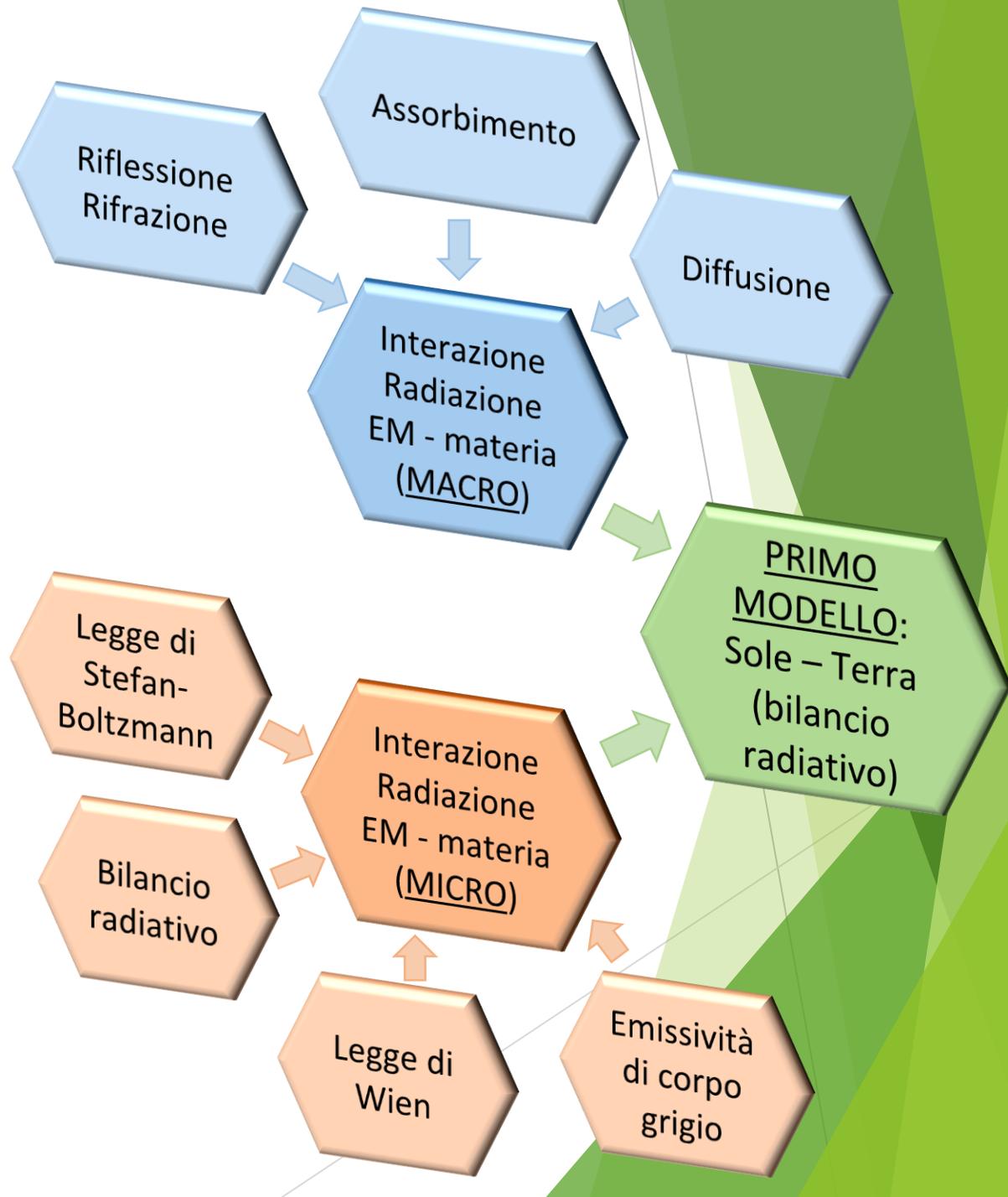
Table I. First model concepts.

Stage	Conceptual area	Sub-area	Experiments/activity [type] (section)	Learning goals
1	Electro-magnetic (EM) spectrum	Spectral bands and their energies	Comparison between continuous and line spectra using a Home-Made Spectroscope (HMS) [qualitative] (Sec. VIA)	Developing technical and practical laboratory skills
2	Radiation-matter interaction	Reflection, refraction, absorption, scattering Snell's law	Tray experiment (with collimated beam and red-green-blue (RGB) filters) [qualitative] (Sec. VIC) Tray experiment with collimated beam and no filter [quantitative]	Designing experiments, Technical and practical laboratory skills, Data analysis
3	Radiation-matter interaction	Selective absorption	Tray experiment with RGB filters [qualitative] (Sec. VIC)	Designing experiments

[Da Toffaletti et al., 2023 - *A teaching-learning sequence about climate change: From theory to practice*]

Mappa concettuale

- ▶ Di conseguenza abbiamo:
 - ▶ Modificato la struttura della TLS assegnando un ruolo centrale ai due concetti:
 - ▶ Selettività
 - ▶ Interazione radiazione EM-materia
 - ▶ Introdotta una serie di nuovi esperimenti per migliorare la comprensione di questi concetti da parte degli studenti



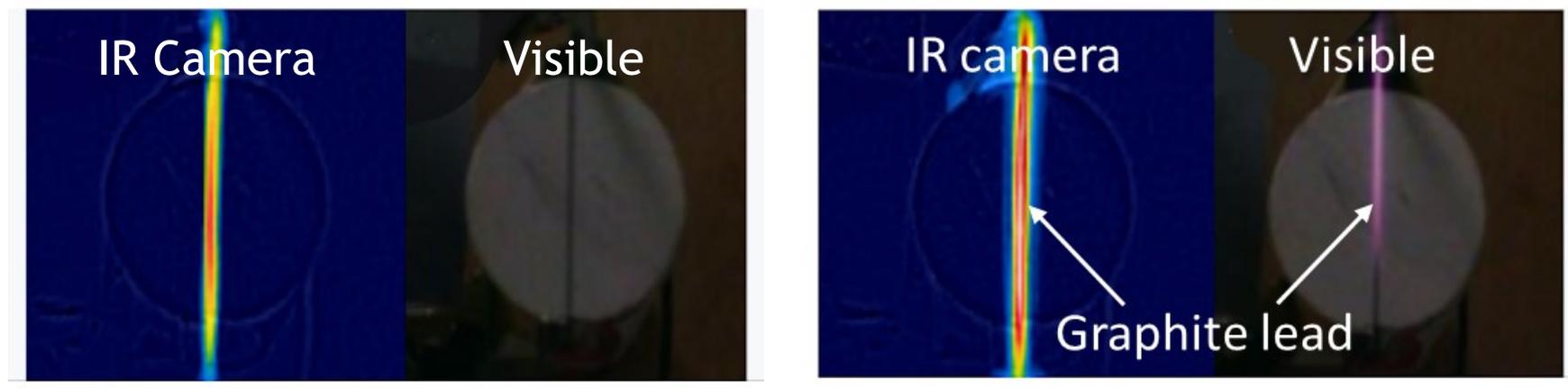
Mappa concettuale

- ▶ Di conseguenza abbiamo:
 - ▶ Modificato la struttura della TLS assegnando un ruolo centrale ai due concetti:
 - ▶ Selettività
 - ▶ Interazione radiazione EM-materia
 - ▶ Introdotto una serie di nuovi esperimenti per migliorare la comprensione di questi concetti da parte degli studenti
 - ▶ Introdotto una parte di climatologia



Emissione termica

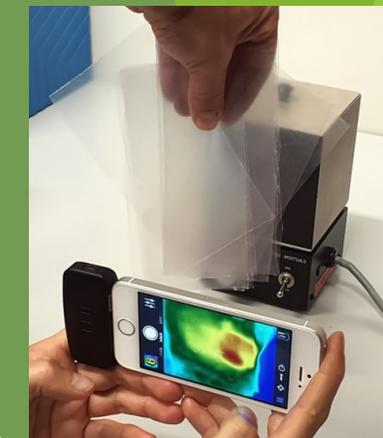
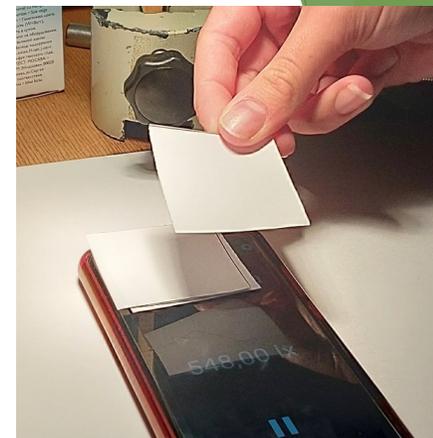
- ▶ Immagini ottenute dagli studenti utilizzando una termocamera FLIR-ONE
- ▶ Mina di grafite percorsa da corrente elettrica
 - ▶ piccola corrente (temperatura bassa): non c'è radiazione termica rilevabile
 - ▶ aumentata la corrente (aumenta la temperatura): la mina di grafite si surriscalda ed emette radiazione infrarossa
 - ▶ a correnti (e temperature) ancora più alte la mina diventa incandescente ed emette una luce rossa (spettro del visibile).
- ▶ L'esperimento migliora la comprensione dell'emissione termica e la sua dipendenza dalla temperatura del corpo



Esperimento che coinvolge oggetti incandescenti:
è essenziale esercitare estrema attenzione quando viene svolto,
specialmente quando sono coinvolti studenti nel suo svolgimento



Assorbimento selettivo



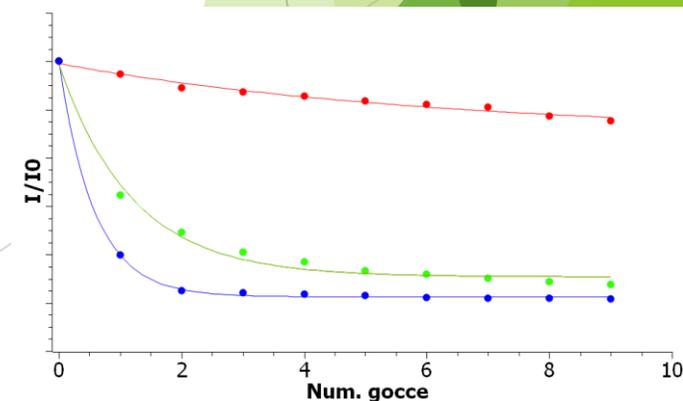
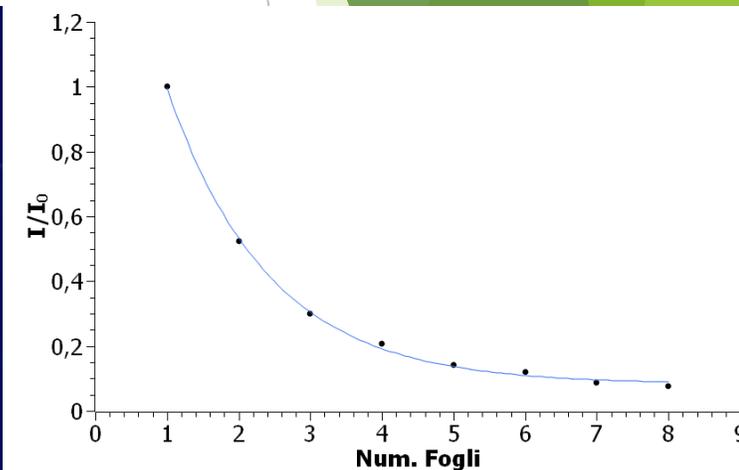
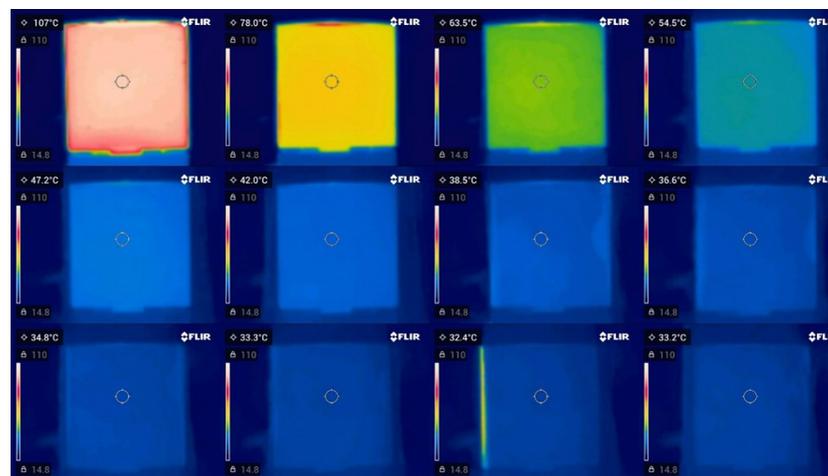
► Modifiche:

► Esperimento legge di Beer per spessore

- con fogli di carta
- con fotocamera IR

► Novità:

- Esperimento per dipendenza da concentrazione
- e per dipendenza da lunghezza d'onda della radiazione incidente



Concludendo

- ▶ Risultati qualitativi:
 - ▶ Interesse degli studenti
 - ▶ Migliore comprensione dei concetti chiave (emissione termica, selettività)
 - ▶ Chiarito ruolo dell'uomo nei CC
- ▶ Futuri sviluppi:
 - ▶ Test della nuova TLS su un numero statisticamente significativo di studenti:
 - ▶ corso di laurea magistrale «Experimental Physics Laboratory at High School Level - 1»
 - ▶ corso di formazione insegnanti organizzato con IPRASE-TN «Educare alla complessità della sostenibilità: un approccio scientifico multidisciplinare e transdisciplinare»
 - ▶ corsi per studenti di scuola superiore (progetto «Orienta 2026» dell'università di Trento)

Bibliografia 1/2

- ▶ Besson, U., Borghi, L., de Ambrosio, A., & Mascheretti, P. (2010). *A three-dimensional approach and open source structure for the design and experimentation of teaching-learning sequences: The case of friction*. *International Journal of Science Education*, 32(10). <https://doi.org/10.1080/09500690903023350>
- ▶ Besson, U., De Ambrosio, A., & Mascheretti, P. (2010). *Studying the physical basis of global warming: Thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect*. *European Journal of Physics*, 31(2). <https://doi.org/10.1088/0143-0807/31/2/015>
- ▶ Bord, R., O'Connor, R., & Fisher, A. (2000). *In What Sense Does the Public Need to Understand Global Climate Change?* *Public Understanding of Science*, 9, 205–218. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/9/3/301>
- ▶ Choi, S., Niyogi, D., Shepardson, D. P., & Charusombat, U. (2010). *Do earth and environmental science textbooks promote middle and high school students' conceptual development about climate change? Textbooks' consideration of students' misconceptions*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(7). <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2625.1>
- ▶ De Ambrosio, A., & Onorato, P. (2014). *Energia, effetto serra e riscaldamento globale*. In G. Anzellotti, L. M. Catena, M. Catti, U. Cosentino, J. Immè, & N. Vittorio (Eds.), *L'insegnamento della matematica e delle scienze nella società della conoscenza. Il Piano Lauree Scientifiche (PLS) dopo 10 anni di attività* (pp. 275–281). Mondadori.
- ▶ Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science*. In *Science Education Research and Practice in Europe*. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- ▶ Guisasaola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2017). *Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level*. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 20139. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- ▶ Ibáñez, M., & Ramos, M. C. (2004). *Physics textbooks presentation of the energy-conservation principle in hydrodynamics*. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000031265.34525.92>
- ▶ Jarret, L. E. (2013). *Investigating secondary school students' understanding of climate change* [Theses, University of Wollongong]. <https://ro.uow.edu.au/theses/3869>
- ▶ Liu, S.-C. (2021). *Using drawings to examine undergraduate students' mental models of the greenhouse effect: a factor analysis approach*. *International Journal of Science Education*, 43(18), 2996–3017. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2004466>
- ▶ Miller, J. D. (1998). *The measurement of civic scientific literacy*. *Public Understanding of Science*, 7(3), 203–223. <https://doi.org/10.1088/0963-6625/7/3/001>
- ▶ Miller, J. D. (2016). *Civic Scientific Literacy in the United States in 2016*. A report prepared for the National Aeronautics and Space Administration by the University of Michigan. Published by the International Center for the Advancement of Scientific Literacy, 15.
- ▶ Moggio, L. (2016). *Design and experimentation of communication and of a teaching sequence on atmospheric physics* [PhD Thesis]. University of Trento.
- ▶ Namdar, B., & Shen, J. (2016). *Intersection of argumentation and the use of multiple representations in the context of socioscientific issues*. *International Journal of Science Education*, 38(7), 1100–1132. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1183265>
- ▶ Oliveira, D. K. B. S., Justi, R., & Mendonça, P. C. C. (2015). *The Use of Representations and Argumentative and Explanatory Situations*. *International Journal of Science Education*, 37(9), 1402–1435. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1039095>
- ▶ Onorato, P., Gratton, L. M., Polesello, M., Salmoiraghi, A., & Oss, S. (2018). *The Beer Lambert law measurement made easy*. *Physics Education*, 53(3), 035033. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aab441>

Bibliografia 2/2

- ▶ Onorato, P., Malgieri, M., Rosi, T., Salmoiraghi, A., Oss, S., & De Ambrosis, A. (2021). *Insegnare le basi fisiche dell'effetto serra e del riscaldamento globale - Teaching the physical basis of greenhouse and global warming*. *Giornale Di Fisica*, 62(1), 67–93.
- ▶ Pachauri, R. K., Meyer, L., Brinkman, S., Van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., & Van Boxmeer, F. (2014). *CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis Report Technical Support Unit for the Synthesis Report NOTE: subject to final copy-edit and layout prior to its final publication*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ▶ Sapia, P. (2020). *Educazione Civica Scientifica e Didattica della Fisica: un fertile connubio*. 106° Congresso Nazionale Della Società Italiana Di Fisica.
- ▶ Shen, B. S. P. (1975). *Science Literacy and the Public Understanding of Science*. In *Communication of Scientific Information* (pp. 44–52). S. Karger AG. <https://doi.org/10.1159/000398072>
- ▶ Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2009). *Seventh grade students' conceptions of global warming and climate change*. *Environmental Education Research*, 15(5), 549–570. <https://doi.org/10.1080/13504620903114592>
- ▶ Shepardson, D. P., Niyogi, D., Choi, S., & Charusombat, U. (2011). *Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change*. *Climatic Change*, 104(3–4). <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9786-9>
- ▶ Taibu, R., Rudge, D., & Schuster, D. (2015). *Textbook presentations of weight: Conceptual difficulties and language ambiguities*. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 11(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010117>
- ▶ Tarantola, M. (2012). *Studiare le basi fisiche dell'effetto serra e del riscaldamento globale nella scuola secondaria: risultati di una sperimentazione*. University of Pavia.
- ▶ Tasquier, G. (2013). *Cambiamenti climatici e insegnamento/apprendimento della Fisica: Una proposta didattica*. *Giornale Di Fisica*, 3, 173–193.
- ▶ Tasquier, G., Sperandeo Mineo, R. M., & Levrini, O. (2015). *Leading secondary school students to face the disciplinary, epistemological and societal challenges of climate change: design and analysis of multi-dimensional teaching/learning experiences* [PhD Thesis]. Università degli studi di Palermo.
- ▶ Testa, I., Leccia, S., & Puddu, E. (2014). *Astronomy textbook images: do they really help students?* *Physics Education*, 49(3), 332–343. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/49/3/332>
- ▶ Toffaletti, S., Di Mauro, M., Malgieri, M., Rosi, T., Tufino, E., Onorato, P., & Oss, S. (2023). *A teaching-learning sequence about climate change: From theory to practice*. *American Journal of Physics*, 91(9), 676–684. <https://doi.org/10.1119/5.0137089>
- ▶ Toffaletti, S., Di Mauro, M., Rosi, T., Malgieri, M., & Onorato, P. (2022). *Guiding Students towards an Understanding of Climate Change through a Teaching-Learning Sequence*. *Education Sciences*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/educsci12110759>
- ▶ Toffaletti, S., Rosi, T., & Onorato, P. (2022). *Civic scientific literacy: A teaching learning sequence on the climate change*. *Il Nuovo Cimento C*, 6.
- ▶ Viennot, L., & Décamp, N. (2020). *Developing Critical Thinking in Physics*. Springer, Cham.
- ▶ White, R., & Gunstone, R. (2014). *Probing Understanding*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203761342>