

Quando l'apprendimento della fisica rispecchia la pratica della fisica

L'approccio Investigative Science Learning Environment (ISLE) sostituisce l'insegnamento tradizionale con metodi di apprendimento attivo che simulano i processi scientifici.

di Eugenia Etkina



Eugenia Etkina è una professoressa emerita in didattica della fisica (physics education) presso la Rutgers University di New Brunswick, nel New Jersey. È la co-sviluppatrice dell'approccio Investigative Science Learning Environment (ISLE) per i corsi di introduzione alla fisica dell'Università e della scuola secondaria

Traduzione a cura di Eugenio Tufino da: [Eugenia Etkina, When learning physics mirrors doing physics. *Physics Today* 1 October 2023; 76 (10): 26–32] with the permission of the American Institute of Physics.

Link all'articolo originale sul sito della rivista: <https://doi.org/10.1063/PT.3.5324>

Molti anni fa, Andrew, uno dei migliori studenti del mio corso introduttivo di fisica, mi disse: "So come prendere un buon voto in fisica, ma sento che quello che facciamo in classe non può essere quello che fanno i fisici quando fanno fisica. Mi chiedo cosa facciano davvero". Questo commento mi fece riflettere: È possibile per uno studente sperimentare la pratica della fisica reale mentre la sta imparando? È importante, quando si segue un corso introduttivo di fisica, sapere e sentire che si sta facendo quello che fanno i fisici?

Dopo quasi 40 anni di confronto con il commento di Andrew, credo che la risposta a entrambe le domande sia sì. Con una pedagogia adeguata, gli studenti possono sperimentare una fisica reale e possono trarre enormi benefici dal sentirsi veri scienziati. Per far ciò, ho contribuito a sviluppare l'approccio Investigative Science Learning Environment (ISLE) all'apprendimento e all'insegnamento della fisica. Lo presenterò qui di seguito e dimostrerò come affrontare le preoccupazioni di Andrew e quelle che ritengo siano le principali sfide che la didattica della fisica deve affrontare nel XXI secolo.

ISLE in azione

Immaginate un corso introduttivo di fisica per studenti di fisica o scienze¹. Gli studenti hanno già appreso le leggi di Newton, la quantità di moto, l'energia e le onde meccaniche e ora stanno studiando l'ottica geometrica. Hanno imparato a disegnare i diagrammi a raggi e a spiegare le ombre e conoscono la legge della riflessione speculare. Nella classe precedente hanno utilizzato il modello particellare di Newton per spiegare la relazione tra angoli di incidenza, angoli di riflessione e ombre.

Nel loro primo incontro con la rifrazione, gli studenti di una delle sessioni di laboratorio vengono divisi in gruppi di tre o quattro e incaricati di progettare un esperimento per studiare cosa succede quando un raggio laser colpisce la superficie piana di un pezzo semicircolare di plexiglass. L'obiettivo è trovare un modello o uno schema che spieghi i percorsi del raggio incidente e del raggio che attraversa il plexiglass.

I ragazzi allestiscono un esperimento (figura 1) e misurano gli angoli rispetto alla normale alla superficie incidente. La scheda di laboratorio fornisce loro suggerimenti su come trovare uno schema (pattern) nei dati utilizzando le funzioni trigonometriche.

¹ L'approccio Investigative Science Learning Environment (ISLE) viene applicato con successo non solo nei corsi introduttivi di fisica a livello universitario, ma anche nelle scuole secondarie di secondo grado, negli USA e altrove. Informazioni sulle sperimentazioni in Italia sono illustrate nella nota conclusiva (NdT).

I ragazzi lavorano su piccole lavagne² bianche e condividono i loro risultati con il resto della classe. Alcuni dei gruppi arrivano così ad elaborare autonomamente la legge di Snell.



FIGURA 1. GLI STUDENTI CERCANO UNO SCHEMA ricorrente (pattern) nei percorsi dei fasci di luce incidente e rifratta. La lavagna e l'esperimento sono entrambi visibili sui tavoli. L'inserito mostra una vista dall'alto verso il basso del fascio laser del raggio laser che colpisce il plexiglass.

Il compito successivo della classe è quello di utilizzare il modello particellare della luce per spiegare perché il percorso della luce è cambiato nel modo in cui è cambiato. Dopo una discussione in classe e opportuni stimoli dell'istruttore, gli studenti giungono alla seguente idea: la superficie della lastra di plexiglass esercita una forza attrattiva sulle particelle di luce, che fa aumentare la componente della velocità lungo la linea normale. Poiché la componente della velocità parallela alla superficie del plexiglass non cambia, il raggio si piega verso la linea normale (si veda figura 2).

Se questa spiegazione fosse corretta, la velocità della luce nella plastica dovrebbe essere maggiore di quella dell'aria. Per verificare questa ipotesi, gli studenti hanno bisogno di progettare un esperimento che misuri la velocità della luce nel plexiglass. L'istruttore mostra loro un nuovo dispositivo: un misuratore di distanza laser utilizzato in edilizia per misurare le distanze [2]. Facendo pratica con il dispositivo, gli studenti capiscono come si ricava la distanza di un oggetto: si utilizza il valore della velocità della luce nell'aria per misurare il tempo di ritardo tra gli impulsi emessi e ricevuto.

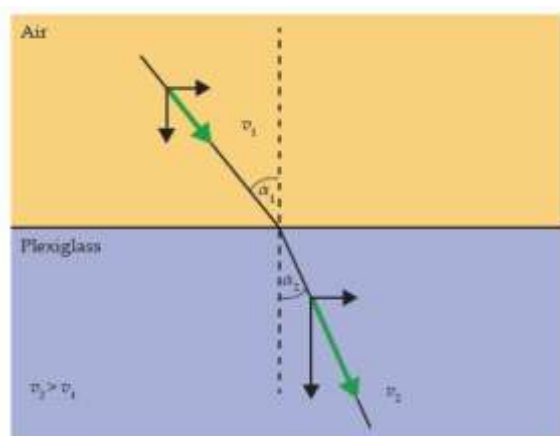


FIGURA 2. SPIEGAZIONE DELLA RIFRAZIONE con il modello particellare della luce. Viaggiando a velocità v_1 nell'aria, una particella di luce entra in una lastra di plexiglass con un angolo di incidenza α_1 . Quando la luce entra nel plexiglass, si rifrange con un angolo α_2 più piccolo di α_1 . Per giustificare questa flessione con il modello particellare della luce, è necessario spiegare questa curvatura utilizzando il modello particellare della luce, gli studenti ipotizzano che quando la particella di luce attraversa il confine aria-plexiglass, il vetro eserciti una forza attrattiva sulla particella che provoca un aumento della componente della velocità perpendicolare al confine. Di conseguenza, la velocità della luce v_2 nel plexiglass sarà maggiore della velocità della luce v_1 nell'aria.

² Si tratta di lavagne bianche da utilizzare con i pennarelli cancellabili, reperibili in negozi di bricolage. Le dimensioni possono essere 60x80 cm o maggiori (NdT).

Tabella 1. Esempi di problemi di fisica nell'approccio ISLE

Diverse categorie di problemi sono disponibili nelle risorse curriculari di ISLE. Ecco degli esempi di problemi per due categorie. Ulteriori esempi possono essere trovati nelle referenze 1 e 15.

Categoria: Valutare un ragionamento o una soluzione

Gli studenti devono valutare criticamente il ragionamento di persone immaginarie o una soluzione suggerita al problema, che viene fornita con parole, grafici, diagrammi o equazioni, o equazioni. Gli studenti devono riconoscere le idee proficue, anche quando sono inserite in risposte non corrette, e distinguerle da quelle non proficue.

Esempio 1. Ti è stata fornita una pista con un giro della morte per le macchinine Hot Wheels. Mentre giochi con le macchinine, tu e i tuoi amici notate che è necessario far partire una macchinina da un'altezza minima H di almeno 1,3 diametri del giro della morte rispetto al suolo per evitare che la macchinina cada dalla pista nella parte più alta del cerchio. Due dei tuoi amici hanno spiegazioni diverse per il modello osservato. Leila sostiene che l'altezza minima H deve essere maggiore del diametro del giro della morte d , anche se le forze di attrito sono trascurabili. altrimenti la macchinina cadrebbe dal giro della morte nella parte alta. D'altra parte, Jordan insiste sul fatto che, se non ci fossero forze di attrito esercitate sulla macchinina, l'altezza minima H sarebbe uguale al diametro del cerchio d perché l'energia meccanica del sistema macchinina-Terra è costante. Analizza ciascuna spiegazione e descrivi quali concetti di fisica Leila e Jordan hanno utilizzato per arrivare alla loro risposta, anche se ritieni che la loro risposta sia errata. Poi decidi quale dei due ha ragione. Spiega come hai fatto la tua scelta.

Esempio 2. Ad alcuni studenti è dato il seguente problema: "Un cilindro di 5000 cm^3 è riempito con gas azoto a $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ad una temperatura di 300 K e chiuso con un pistone mobile. Il gas viene compresso lentamente a temperatura costante fino a un volume finale di 5 cm^3 . Determinare la pressione finale del gas." (a) Spiega, con argomentazioni quantitative, perché la legge dei gas ideali non può essere applicata per risolvere questo problema. (b) Modifica il problema in modo che possa essere risolto utilizzando la legge dei gas ideali e fornisci la tua soluzione.

Categoria 2: Progettare un esperimento o porre un problema

Gli studenti devono progettare un esperimento, una procedura sperimentale o un dispositivo che consenta loro di misurare o determinare determinate grandezze fisiche o che soddisfi requisiti specifici.

Esempio 1. Per sviluppare un rilevatore tattile, si collegano due sensori di forza a un computer e a un metro di massa nota. I sensori servono a mantenere l'asta orizzontale. (a) Come si può utilizzare questo allestimento per progettare un esperimento che utilizzi le letture dei due sensori di forza per determinare l'intensità di una forza di spinta F e la posizione della sua applicazione sull'asta x ? (b) Come si può usare questo setup per ricavare un'espressione che può essere utilizzata come algoritmo informatico per calcolare x e F usando le letture dei sensori di forza e i parametri?

Esempio 2. Progettare due esperimenti, utilizzando metodi diversi, per determinare la massa di un righello. I materiali a disposizione sono il righello, una molla e un set di tre oggetti, di masse pari a 50 g , 100 g e 200 g . Uno dei metodi deve coinvolgere la conoscenza dell'equilibrio statico. Dopo aver progettato ed eseguito gli esperimenti, decidi se i due metodi forniscono risultati uguali o diversi.

Alcuni gruppi di studenti progettano il seguente esperimento: posizionano il misuratore di distanze in modo che il raggio laser attraversi la lastra di plexiglass e si rifletta su una superficie all'estremità della lastra di plexiglass. Registrano così la distanza misurata dal dispositivo. Poi lasciano che il raggio segua la stessa distanza attraverso l'aria. Se la loro ipotesi fosse corretta, la distanza stimata percorsa dal raggio attraverso il plexiglass dovrebbe essere più breve di quella attraverso l'aria. Successivamente, eseguono

l'esperimento e scoprono che il dispositivo misura una distanza maggiore nel plexiglass (figura 3). Sembra quindi che la luce viaggi più lentamente nel plexiglass che nell'aria, il che significa che la spiegazione della rifrazione basata sul modello particellare non è corretta.

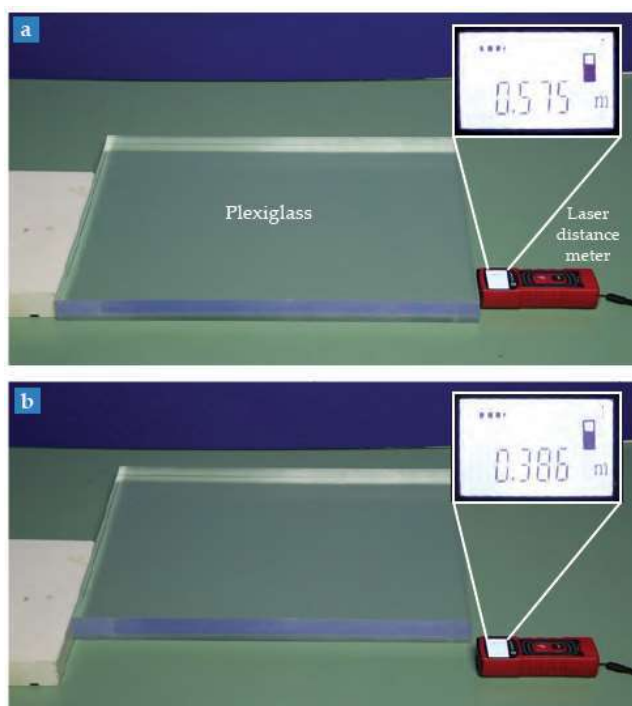


FIGURA 3. IN UN ESPERIMENTO, studenti che studiano secondo l'approccio ISLE, utilizzano un misuratore di distanze laser (visibile in basso a destra di ogni figura, con ingrandimenti delle misure effettuate) per misurare la distanza percorsa dalla luce nel plexiglass (a) e nell'aria (b). Quindi confrontano le misure della velocità della luce per determinare in quale dei due casi la luce viaggia più velocemente.

C'è un altro modo per spiegare come il raggio di luce cambia direzione nel plexiglass? Uno studente suggerisce che la luce potrebbe comportarsi come un'onda. Tornati nei loro gruppi, gli studenti utilizzano le loro conoscenze sulle onde meccaniche e sul principio di Huygens per spiegare come un modello ondulatorio della luce possa spiegare il risultato dell'esperimento di rifrazione iniziale (vedi figura 4). Nella lezione successiva, gli studenti riprenderanno il loro modello ondulatorio e continueranno ad approfondire le proprietà della luce.

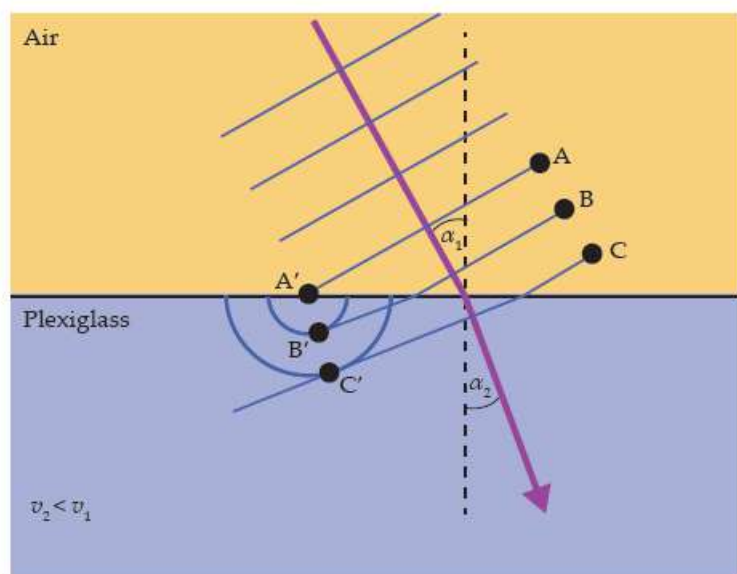


FIGURA 4. SPIEGARE LA RIFRAZIONE con il modello ondulatorio della luce. Viaggiando a velocità v_1 nell'aria, un'onda luminosa incide su una lastra di plexiglass con un angolo di incidenza α_1 . Entrando nel plexiglass, la luce si rifrange con un angolo α_2 più piccolo di α_1 . Per spiegare questa deviazione utilizzando il modello ondulatorio della luce, gli studenti ipotizzano che una volta che i punti di un fronte d'onda raggiungono il confine aria-plexiglass, i raggi delle onde circolari che emergono da questi punti nel plexiglass — in base al principio di Huygens — saranno più piccoli rispetto a quelli nell'aria. La progressione dei fronti d'onda da A- A' a C- C' mostra come si piegano. Questo può accadere solo se la velocità della luce v_2 nel plexiglass è minore della velocità della luce v_1 nell'aria.

Come si vede, l'ISLE è molto diverso dalla pedagogia tradizionale. Invece di assistere a una lezione — oppure leggere un libro di testo — sul modello ondulatorio della luce e su come questo possa spiegare la rifrazione, gli studenti non solo elaborano l'idea da soli, ma imparano anche perché il modello particellare della luce non spiega il fenomeno. Man mano che procedono nel processo apprendono a progettare

esperimenti per individuare gli schemi qualitativi e quantitativi nei nuovi fenomeni. Imparano a formulare ipotesi che spieghino tali fenomeni e esperimenti per metterle alla prova, a utilizzare rappresentazioni grafiche per analizzarli, fare previsioni sui risultati di ulteriori esperimenti, e a scartare le ipotesi alla luce dei risultati sperimentali. Infine, imparano a lavorare in gruppo e a presentare i loro risultati e le loro scelte e procedimenti all'intera classe [1].

Nell'approccio ISLE, il lavoro sperimentale è parte integrante dello sviluppo delle conoscenze di fisica degli studenti, piuttosto che un'aggiunta in cui essi si limitano a testare i modelli presentati durante le lezioni. L'interconnessione tra lo sviluppo sperimentale e quello teorico dei modelli rispecchia il processo utilizzato dai fisici per costruire la conoscenza e coinvolge gli studenti dei corsi di base in una pratica autentica della fisica mentre apprendono nuove idee. Gli studenti sperimentano quello che fanno i fisici quando fanno fisica. Questo è quello che Andrew stava cercando.

Tabella 2. Una selezione di criteri di valutazione utilizzati dagli studenti per autovalutarsi quando progettano ed eseguono esperimenti osservativi. Gli stessi criteri sono utilizzati anche dagli insegnanti per fornire feedback.

Progettazione e conduzione di un esperimento osservativo				
Competenze scientifiche ³	Mancante	Non adeguato	Da migliorare	Adeguato
Progettare un esperimento affidabile che indaga il fenomeno.	L'esperimento non indaga sul fenomeno.	L'esperimento non rivela nessuno schema interessante.	Alcuni aspetti importanti del fenomeno non saranno osservabili.	L'esperimento produce schemi interessanti rilevanti per l'indagine del fenomeno.
Identificare uno schema nei dati.	Non viene fatto alcun tentativo di ricerca di uno schema.	Lo schema descritto è irrilevante o incoerente con i dati.	Lo schema presenta piccoli errori o omissioni, oppure i termini non sono definiti correttamente.	Lo schema rappresenta l'andamento rilevante dei dati. Se possibile, l'andamento è descritto a parole.
Se applicabile, rappresentare lo schema (pattern) matematicamente.	Nessun tentativo viene compiuto per modellare matematicamente lo schema osservato.	L'espressione matematica non rappresenta l'andamento dei dati.	Non viene fornita un'analisi dettagliata dell'adeguatezza dell'espressione matematica rispetto ai dati, o alcune caratteristiche osservate nello schema non trovano rappresentazione nell'espressione stessa.	L'espressione matematica cattura fedelmente l'andamento dei dati, fornendo un'analisi approfondita del loro grado di accordo.

Come e cosa dovrebbero imparare gli studenti?

È importante questa esperienza? Il tempo di lezione è limitato e molti docenti sentono la pressione di dover trattare molti argomenti nei loro corsi. Pensano che, dedicando troppo tempo a lasciare che gli studenti scoprano da soli le idee della fisica, potrebbero non essere in grado di svolgere tutto i contenuti nel programma. Il campo della fisica si è imposto da solo questa pressione di affrontare tutto questi contenuti.

³ Abbiamo scelto di tradurre il termine inglese 'scientific abilities' come 'competenze scientifiche' (NdT).

Migliaia di studenti frequentano i corsi introduttivi di fisica all'università e nella scuola secondaria negli Stati Uniti e in tutto il mondo. Alcuni diventeranno fisici, e per loro l'approccio esperienziale ISLE nell'apprendimento della materia si rivelerà una preziosa anticipazione della loro professione futura.

Molti diventeranno medici, scienziati dell'ambiente, chimici, politici, giornalisti, farmacisti, biologi e così via. Che cosa hanno bisogno di imparare questi studenti nei corsi di fisica per essere preparati al successo nel loro campo nel 21° secolo? Che cosa dovranno ricordare del loro corso di fisica 3, 5 o 10 anni dopo? Anche se una certa conoscenza dei contenuti della fisica potrebbe essere utile, ad esempio, per un pediatra che cerca di aiutare un bambino febbricitante, egli avrà certamente bisogno di raccogliere dati, identificare schemi, trovare una spiegazione per i sintomi e prevedere il tipo di trattamento appropriato.

La domanda riguardante ciò che gli studenti dovrebbero imparare nei nostri corsi è particolarmente attuale ora che l'Intelligenza Artificiale sta diventando sempre più abile nel risolvere i tradizionali problemi di fisica e a rispondere a domande concettuali. Agenzie internazionali che discutono le priorità dell'istruzione universitaria [3], organizzazioni nazionali come il Consiglio Nazionale delle Ricerche che stabilisce gli obiettivi per l'educazione scientifica K-12⁴ [4] e fisici di spicco interessati alla didattica hanno esaminato la questione, e hanno espresso lo stesso messaggio: gli studenti hanno bisogno di conoscenze ampie e specialistiche. Inoltre, come afferma un recente rapporto dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico: "le conoscenze sulle discipline, come ad esempio saper pensare come un matematico, storico o scienziato (concetto noto come metacognizione, NdT), saranno anch'esse significative, permettendo agli studenti di ampliare le loro conoscenze disciplinari" (pagina 5 della referenza 3).

In un articolo pubblicato su PHYSICS TODAY (settembre 2022, pagina 46), Carl Wieman fornisce esempi di decisioni che gli studenti di fisica devono imparare a prendere per poter pensare come fisici. Le risposte poco brillanti alla pandemia COVID-19 e alla crisi climatica in corso rendono evidente che gli insegnanti di fisica non hanno prestato sufficiente attenzione all'insegnamento di queste abilità di pensiero agli studenti. Comprendere la natura della conoscenza scientifica è una parte essenziale dell'educazione umanistica. I nostri studenti di fisica devono imparare a pensare come i fisici, anche se non hanno intenzione di entrare nel settore dopo la laurea.

Come possono gli studenti imparare i concetti e i modelli della fisica e allo stesso tempo imparare a pensare come un fisico? Negli ultimi 30 anni, la comunità di ricerca internazionale in didattica ha dimostrato, con prove rigorose, che i metodi di apprendimento interattivo promuovono miglioramenti (in inglese "gain", NdT) più significativi nell'apprendimento degli studenti, rispetto ai metodi didattici tradizionali [5]. Come hanno dimostrato gli studi sul cervello, l'apprendimento comporta dei cambiamenti fisici nel cervello e nel corpo di una persona [6].

In altre parole, non è possibile trasmettere la conoscenza con una lezione (frontale): il discente deve costruirsi (la conoscenza) da solo, partecipando attivamente al processo di apprendimento e modificando così le proprie connessioni cerebrali. Ma perché questo avvenga, il discente deve essere motivato e che si senta in grado di apprendere. Anche se i nostri studenti hanno, in un certo senso, fatto fisica per tutta la vita, vivendo e muovendosi nel mondo fisico, molti di loro sentono la fisica come una materia estranea, distaccata dalla loro vita. Negli ultimi 20 anni, i ricercatori hanno accumulato prove che, dopo aver frequentato un corso di fisica, gli atteggiamenti degli studenti nei confronti della fisica e la percezione delle loro capacità di fare fisica diminuiscono [7].

Sfide pedagogiche

Credo che gli insegnanti di fisica si trovino di fronte a tre sfide. La prima è cambiare il focus dell'apprendimento dai semplici risultati della fisica come impresa intellettuale al processo attraverso il quale tali risultati sono ottenuti. In altre parole, gli insegnanti devono aiutare gli studenti ad imparare facendo allo stesso tempo sperimentare loro come i fisici costruiscono la conoscenza. La seconda sfida è cambiare il focus della pedagogia della fisica dal semplice trasferimento della conoscenza fisica agli studenti alla creazione di un ambiente in cui essi possano auto-costruire questa conoscenza. La terza è aiutare gli studenti ad avere fiducia di poter fare fisica e di appartenere al mondo della fisica, vale a dire,

⁴ Con 'K-12' si intendono gli ordini scolastici che coprono l'educazione dalle scuole elementari (Kindergarten) fino alla fine della scuola superiore (12° grado), abbracciando quindi l'intero arco dell'istruzione obbligatoria (NdT).

aiutarli a vedersi come fisici anche se possono intraprendere percorsi professionali diversi.

Tra le strategie pedagogiche che incorporano tecniche di coinvolgimento interattivo, sviluppate dalla comunità di ricerca in didattica della fisica negli ultimi 30 anni, l'approccio ISLE rappresenta solo uno delle molteplici opzioni. Strategie alternative comprendono il progetto SCALE-UP (Ambiente di Apprendimento Attivo Centrato sullo Studente per Programmi Universitari) [8], i tutorial di fisica iniziati all'Università di Washington [9], la peer-instruction [10], i paradigmi [11] e il modeling [12]. Gli studi mostrano che tutte queste metodologie sono più efficaci nel favorire l'apprendimento della fisica rispetto ai metodi tradizionali di insegnamento.

Anche se tutti questi approcci prevedono che gli studenti lavorino in gruppi per trovare risposte alle domande poste dagli ideatori dei materiali, solo due di essi — il modeling e ISLE — coinvolgono gli studenti nella costruzione della conoscenza attraverso un processo basato su come i fisici lavorano. Tra i due, solo il processo ISLE insegna agli studenti a generare e testare esplicitamente ipotesi alternative per spiegare un fenomeno. Esso offre anche rubriche (o griglie NdT) per aiutare gli studenti ad auto-valutarsi e migliorare il proprio lavoro. L'esempio che ho mostrato all'inizio di questo articolo riproduce il flusso logico attraverso il quale gli studenti costruiscono concetti e relazioni in una classe ISLE [1] (si veda la figura 5).

In una tipica classe ISLE, gli studenti lavorano a gruppi per osservare fenomeni fisici, identificare schemi e formulare diverse spiegazioni o ipotesi — qualitative o quantitative — senza sapere, inizialmente, quale sia corretta. Utilizzano ragionamenti analogici, rappresentazioni grafiche e strumenti matematici; condividono le loro scoperte con il resto della classe e raggiungono un accordo su quali ipotesi debbano essere testate sperimentalmente. Quindi, progettano esperimenti per testare tali ipotesi. Prima di condurre un esperimento, fanno previsioni sul suo esito. Successivamente, confrontano i risultati dell'esperimento con le loro previsioni e decidono quali ipotesi si possono scartare. Questo processo si ripete più volte fino a quando non rimane solo un'ipotesi, che gli studenti applicano poi per risolvere problemi di esempio. Alla fine, l'istruttore riassume le scoperte degli studenti e condivide il materiale di fisica consolidato, quale quello che si trova nei libri di testo, in relazione ai loro risultati.

L'interazione continua tra il mondo fisico e i modelli è centrale nel modo in cui i fisici creano nuova conoscenza. La ricerca suggerisce che l'approccio ISLE all'insegnamento e all'apprendimento della fisica rappresenta fedelmente il lavoro dei fisici. Uno studio recente del gruppo di ricerca in didattica della fisica presso l'Università di Washington ha osservato che gli esperti—sia membri del corpo docente che studenti laureati — sviluppano e testano ipotesi in modo ciclico quando creano un modello per risolvere un nuovo problema con carta e penna. Abbiamo osservato cicli simili quando ai professori universitari vengono presentati nuovi problemi sperimentali [13].

Sebbene il processo ISLE possa sembrare lungo e complicato, non richiede molto tempo e può essere facilmente implementato durante una lezione tipica, soprattutto se gli studenti hanno già acquisito una certa dimestichezza con esso. Più di 20 anni fa, il nostro gruppo di sviluppo alla Rutgers University, nel tentativo di aiutare gli studenti a impegnarsi efficacemente con l'approccio ISLE, ha elaborato un elenco di competenze scientifiche (vedi nota 3) che rappresentano i processi e le attività utilizzati dai praticanti della fisica. Ogni competenza è stata suddivisa in diverse sotto-competenze che corrispondono a molti dei passaggi decisionali intrapresi dai fisici, menzionati da Wieman nel suo articolo su PHYSICS TODAY del 2022. Abbiamo quindi ideato un insieme di attività che aiutano gli studenti a sviluppare tali competenze [14].

Abbiamo sviluppato anche rubriche descrittive per ogni sotto-competenza per aiutare gli studenti a autovalutarsi e migliorare il loro lavoro e per guidare gli istruttori nel fornire feedback agli studenti. La tabella 2 fornisce vari esempi di rubriche che gli studenti utilizzano quando progettano un esperimento per osservare un fenomeno e individuare schemi. Nel corso degli anni, abbiamo sviluppato una raccolta di risorse curriculari per i corsi di fisica sia a livello universitario che a livello di scuola secondaria e un libro di testo progettato per accompagnare una classe in cui si applica la pedagogia ISLE [15]. Infine, abbiamo creato una raccolta di problemi reali non tradizionali che non hanno una sola soluzione corretta e che coinvolgono gli studenti nei processi decisionali identificati da Wieman. La tabella 1 illustra alcuni esempi di tali problemi, che aiutano gli studenti a sviluppare competenze tradizionali nella risoluzione di problemi insegnando loro anche a pensare come fisici.

ISLE e appartenenza

In che modo l'approccio ISLE affronta la terza sfida che ho menzionato, ovvero aiutare gli studenti a sviluppare la convinzione di poter sia praticare che far parte del mondo della fisica? Lo fa attraverso quattro metodi distinti. Primo, quando gli studenti iniziano ad apprendere un'idea nuova e osservano gli esperimenti iniziali, non viene chiesto loro di prevederne l'esito, ma di dire con parole semplici ciò che hanno osservato. Questo passaggio rimuove la sensazione di fallimento che spesso sorge quando agli studenti viene richiesto di fare una previsione su qualcosa di cui sanno poco o nulla e si accorgono subito che è sbagliata. Se agli studenti viene chiesto di osservare gli esperimenti, tutti partono dalla stessa situazione, ci riescono alla fine e sentono che possono farlo. Man mano che gli studenti collaborano nelle attività acquisiscono competenza come comunità, il che fa sì che ogni studente percepisca i propri contributi come preziosi e avverta un senso di appartenenza.

Secondo, quando gli studenti sviluppano le loro proprie ipotesi, che chiamiamo idee audaci (traduciamo così il termine inglese “wild ideas”, NdT), per spiegare i risultati di esperimenti di osservazione, queste ipotesi non devono necessariamente essere corrette, ma devono essere testabili. Mentre lavorano in gruppi, condividono i loro progetti e formulano previsioni basate sulle loro idee audaci. Se i risultati dei loro esperimenti non corrispondono alle previsioni, non è che la loro intuizione personale abbia fallito—è l'idea audace che ha fallito. Quindi, non vi è alcun danno alla loro autostima: al contrario, spesso si sentono come se avessero realizzato qualcosa di molto prezioso nella scienza—hanno escluso una possibile ipotesi! Questa non è un'esperienza che la maggior parte degli studenti di fisica riesce ad avere. Ciò insegna loro che conoscere la risposta giusta non è importante quanto la creatività e la persistenza.

Terzo, l'approccio ISLE incoraggia costantemente gli studenti a utilizzare rappresentazioni grafiche come ponte tra le parole (o fenomeni fisici) e l'algebra (o il calcolo), il che aiuta gli individui che necessitano di immagini concrete per descrivere un processo con simboli matematici. Ma non sono solo gli studenti che hanno difficoltà con la matematica a beneficiare dell'approccio delle rappresentazioni multiple. Ricerche recenti in scienze cognitive dimostrano che questo approccio aiuta tutti i discenti. Comprendere l'interazione tra le rappresentazioni è un segno distintivo del pensiero fisico avanzato, il che significa che ISLE aiuta tutti gli studenti a ragionare in modo più simili agli esperti e aumenta il loro potenziale di appartenenza alla fisica.

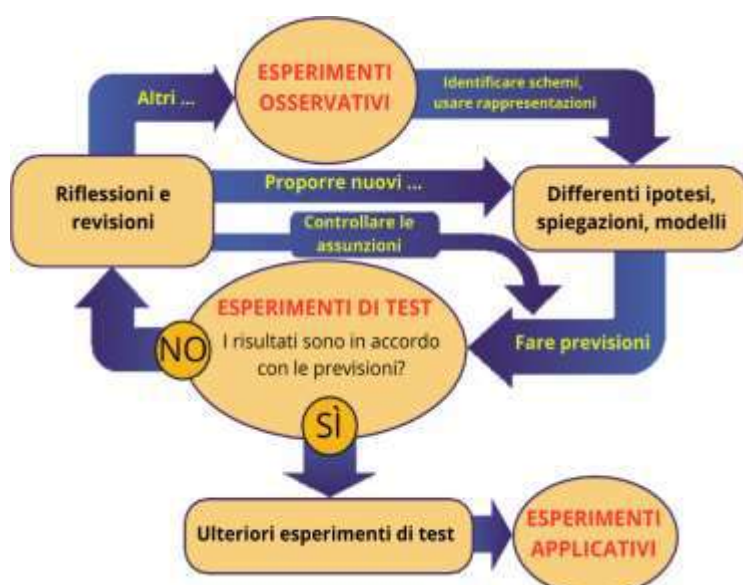


FIGURA 5. MODELLO SCHEMATICO delle attività di apprendimento utilizzate nell'approccio ISLE.

descritto, gli studenti di questi corsi mostrano un elevato apprendimento nella comprensione concettuale, approcciano la soluzione dei problemi in maniera in modo simile a quello di un esperto, e sviluppano capacità di ragionamento fisico e abilità sperimentali che li aiutano nell'apprendimento del nuovo materiale. Un altro studio recente mostra che gli studenti ISLE sentono che possono avere successo in fisica e che ciò

Infine, la struttura del corso ISLE incoraggia gli studenti a proporre nuovamente, avendo avuto l'occasione di migliorarli, le relazioni di laboratorio, i compiti, i quiz e persino gli esami per ottenere un voto migliore, il che li aiuta a sentirsi valorizzati nel loro apprendimento. Gli studenti si abituano così a comprendere che potrebbero non avere successo al primo tentativo, ma se perseverano, possono farcela in fisica.

Nella mia conferenza di premiazione per la Medaglia Millikan (ora Medaglia McDermott) all'incontro estivo dell'American Association of Physics Teachers del 2014, ho presentato un'analisi dei contributi scientifici riguardanti le esperienze degli studenti nei corsi di fisica insegnati con l'approccio ISLE. Come ho

che stanno imparando nei corsi ISLE è utile per gli studi in altri corsi, per il loro futuro lavorativo e per la loro vita in generale.

Perché utilizzare l'approccio ISLE?

Poiché il processo ISLE modifica il contesto in cui gli studenti apprendono la fisica per aiutarli ad ottenere il meglio, è conforme a ciò che l'architetto Ronald Mace ha definito "universal design": l'adattamento di un ambiente per essere accessibile a tutti, a prescindere dall'età o dalle capacità di ciascuno. Non sorprende che l'esperta di disabilità Julie Maybee, abbia recentemente sostenuto che l'approccio ISLE è un esempio di "universal design" per la didattica della fisica [18].

Le prove dimostrano che l'approccio ISLE è inclusivo e aiuta gli studenti ad imparare. Se questo non vi convince, vi invito a porvi la stessa domanda che mi sono posto io. Dopo che la polvere si è depositata, come vuoi che i tuoi studenti siano trasformati dal tuo insegnamento? Se volete che pensino di più come un fisico professionista e che portino con sé queste competenze per tutta la vita, indipendentemente da ciò che faranno, allora vi incoraggio a prendere in considerazione l'ISLE.

All'inizio della pandemia di COVID-19, ho creato un gruppo Facebook chiamato "Exploring and Applying Physics" per coloro che vogliono implementare il nostro approccio. Nel gruppo pubblichiamo materiali didattici, promuoviamo e sosteniamo quotidianamente la crescita professionale degli insegnanti, organizziamo workshop mensili e discutiamo l'apprendimento degli studenti e della ricerca attuale. Oggi il gruppo conta più di 2200 membri provenienti da tutti i continenti tranne l'Antartide. Siete i benvenuti a far parte della nostra comunità!⁵

REFERENCES

1. E. Etkina, D. T. Brookes, G. Planinsic, *Investigative Science Learning Environment: When Learning Physics Mirrors Doing Physics*, Morgan & Claypool (2019).
2. G. Planinsic, E. Etkina, *Eur. J. Phys.* **40**, 065702 (2019).
3. Organisation for Economic Cooperation and Development, *The Future of Education and Skills, Education 2030: The Future We Want* (2018).
4. National Research Council, *A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, National Academies Press (2012).
5. S. Freeman et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **111**, 8410 (2014).
6. J. E. Zull, *The Art of Changing the Brain: Enriching the Practice of Teaching by Exploring the Biology of Learning*, Stylus (2002).
7. K. E. Gray et al., *Phys. Rev. Spec. Top. Phys. Educ. Res.* **4**, 020106 (2008).
8. R. J. Beichner et al., in *Research- Based Reform of University Physics*.
E. F. Redish, P. J. Cooney, eds., American Association of Physics Teachers (2007).
9. L. C. McDermott, P. S. Shaffer, *Tutorials in Introductory Physics*, Prentice Hall (2002).
10. C. H. Crouch, E. Mazur, *Am. J. Phys.* **69**, 970 (2001).
11. C. A. Manogue et al., *Am. J. Phys.* **69**, 978 (2001).
12. E. Brewe, *Am. J. Phys.* **76**, 1155 (2008).
13. C. Zimmerman et al., <https://arxiv.org/abs/2308.01465>; M. P. Čančula, G. Planinšič, E. Etkina, *Am. J. Phys.* **83**, 366 (2015).
14. E. Etkina et al., *Phys. Rev. Spec. Top. Phys. Educ. Res.* **2**, 020103 (2006).
15. E. Etkina, G. Planinsic, A. Van Heuvelen, *College Physics: Explore and Apply*, 2nd ed., Pearson (2019).
16. E. Etkina, *Am. J. Phys.* **83**, 669 (2015).
17. D. T. Brookes, E. Etkina, G. Planinsic, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **16**, 020148 (2020).
18. J. E. Maybee, *Making and Unmaking Disability: The Three- Body Approach*, Rowman & Littlefield (2019).

⁵ Per informazioni sulle iniziative di formazione sulla didattica ISLE in Italia potete contattare Eugenio Tufino (etufino@gmail.com) oppure Valentina Bologna (valentina.bologna@units.it).