



Università degli Studi di Salerno

Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” e Dipartimento di Matematica

in convenzione con

Università degli Studi della Campania “Luigi Vanvitelli”

Dipartimento di Matematica e Fisica

Dottorato di Ricerca “Matematica, Fisica e Applicazioni”

XXIX Ciclo

Curriculum Fisica

Tesi di dottorato

La mostra “DivertiEsperimenti” come ponte tra l’apprendimento informale e il formale nell’insegnamento della fisica nella scuola secondaria.

Candidata Immacolata D’Acunto

Coordinatore

Ch.mo Prof. Sandro Pace

Tutor

Ch.mo Prof. Sandro Pace

INDICE

Sommario	p. 1
Introduzione	p. 4
1. Modelli psico-pedagogici e metodologie didattiche per la fisica	p. 8
1.1. Insegnare scienza in una società che cambia	p. 9
1.2. Modelli filosofici e psico-pedagogici delle scienze dell'educazione	p. 11
1.3. La didattica della fisica come disciplina autonoma	p. 14
1.4. Metodologie e strategie di insegnamento-apprendimento in fisica	p. 21
1.5. Trasformare in competenze i contenuti disciplinari	p. 24
2. Il quadro normativo per l'insegnamento della fisica nella Scuola Secondaria italiana	p. 29
2.1 Il riordino del secondo ciclo di istruzione (Legge 169/2008)	p. 30
2.2 Le Indicazioni Nazionali per i Licei e le Linee Guida per gli Istituti Tecnici e Professionali.	p. 33
2.3 La Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione (Legge 107/2015)	p. 39
2.4 Il nuovo esame di Stato per il Liceo Scientifico	p. 43
2.5 Le "Iniziative per la diffusione della cultura scientifica" (Legge 6/2000)	p. 45
3. La dimensione sperimentale nell'insegnamento della fisica	p. 47
3.1 Il superamento della dicotomia fra teoria e pratica	p. 48
3.2 La didattica laboratoriale	p. 49
3.3 Apprendimento formale e informale: una scuola che si apre al mondo	p. 55
3.4 La metodologia Inquiry Based Science Education (IBSE)	p. 62
3.5 Risolvere problemi con strategie creative	p. 67
4. La mostra interattiva "DivertiEsperimenti" come ponte fra l'apprendimento informale e formale	p. 73
4.1 Proposte di integrazione della ricerca con la didattica	p. 74
4.2 Dai musei ai science center	p. 75
4.3 I "DivertiEsperimenti: un mini Science Center universitario	p. 80
4.4 Il progetto "DivertiEsperimenti: sperimentiamo la fisica moderna"	p. 83

4.4.1 Un ‘tunnel’ fra il Piano Lauree Scientifiche per i docenti e quello per gli studenti di fisica del liceo	p. 86
4.4.2 Un nuovo exhibit per l’analogia meccanica (un pendolo)	
4.4.3 di un dispositivo quantistico (la giunzione Josephson)	p. 95
5 Le sperimentazioni della metodologia Inquiry Based Science Education	p. 107
5.1 Le sperimentazioni sulla formazione degli insegnanti	p. 108
5.1.1 La formazione seminariale	p. 109
5.1.2 La disseminazione dell’IBSE con gli esperti del progetto europeo TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated)	p. 111
5.1.3 Il progetto nazionale “Laboratori per i Licei scientifici”	p. 123
5.2 Le sperimentazioni con i DivertiEsperimenti per gli studenti di liceo	p. 129
5.2.1 Il progetto “Nequēunt sine luce esse colores”	p. 133
5.2.2 I DivertiEsperimenti per il progetto “Liceo Matematico”	p. 137
5.2.3 I DivertiEsperimenti per la Scuola Estiva di Fisica	p. 141
6 Risultati e sviluppi futuri	p. 152
6.1 Risultati raggiunti	p. 153
6.2 Possibili sviluppi futuri	p. 156
Conclusioni	p. 157
Bibliografia	p. 161
Pubblicazioni su riviste (e/o atti di convegno) del triennio 2013-2016	p. 167

Appendice A

Le schede dei DivertiEsperimenti	p. A-0/A-56
----------------------------------	-------------

Materiale supplementare

S 1 Mini-intervista al Dirigente Tecnico Miur Massimo Esposito
S 2 Principali attività svolte nel triennio accademico 2013-2016 con i DivertiEsperimenti.
S 3 Scheda del progetto “Nequēunt sine luce esse colores” - Comunicazione “Light: what a mystery!” alla Conferenza "Inquiry based learning and Creativity in Science Education", Atene 2015
S 4 Le copertine delle Comunicazioni svolte a Congressi
S 5 Le locandine dei seminari organizzati per studenti e docenti
S 6 Scheda di laboratorio “La luce polarizzata”
S 7 Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e grafici dei risultati

Sommario

Secondo i più attuali rilevamenti, l'insegnamento delle discipline scientifiche nella scuola primaria e secondaria dà, in Italia in particolare, risultati carenti; molti sono i motivi ma, come emerge dalla ricerca pedagogica, di certo è necessario curare maggiormente gli aspetti didattici della fisica.

Dietro questa spinta educativa, la scuola si sta indirizzando verso un nuovo modo di insegnare: l'apprendimento tradizionale, basato solo su un approccio formale, non è più sufficiente: la costruzione dei saperi, per essere efficace, deve passare anche attraverso la motivazione e la creatività dei discenti, proprio come accade allo scienziato durante le sue ricerche.

In base alle indicazioni pedagogiche costruttiviste, la modalità informale e quella non formale stanno acquisendo sempre più un ruolo di primo piano nella didattica delle scienze, sebbene resti aperto il dibattito su come utilizzarla per la costruzione di saperi formali.

Questo lavoro di ricerca s'innesta proprio sulla esigenza di:

- migliorare conoscenze e competenze relative all'insegnamento-apprendimento delle discipline scientifiche a scuola;
- sperimentare metodologie e strategie per un insegnamento della fisica più efficace.

Il primo capitolo è un excursus sulle *principali problematiche relative all'insegnamento della fisica e su alcuni modelli psico-pedagogici* alla base delle pratiche didattiche, secondo le più attuali ricerche. È sembrato utile contestualizzare il lavoro anche rispetto alla normativa vigente nel nostro paese per la scuola secondaria di secondo grado, sottolineandone nel secondo capitolo le ricadute e le innovazioni più significative sulla didattica della fisica. Da alcuni anni è infatti in atto un *cambiamento normativo* nella scuola italiana, che introduce importanti innovazioni in linea con le indicazioni europee nella pratica educativa, quali la didattica per competenze, la didattica laboratoriale, le tecnologie digitali, nonché l'obbligo di formazione per i docenti.

La parte centrale del lavoro di tesi è costituita dalle *sperimentazioni didattiche* per e con la scuola secondaria di secondo grado, che sono state varie e diversificate, ma tutte indirizzate a costruire, spaziando dall'informale al formale, un apprendimento efficace suscitando nei discenti curiosità, disponibilità e motivazione. Il filo conduttore del lavoro è proporre una didattica delle scienze basata sull'inquadrare e risolvere problemi, anche attraverso l'uso della creatività e dell'approccio informale. Per i motivi descritti nel

capitolo 3, ho privilegiato *la dimensione sperimentale dell'insegnamento della fisica*, utilizzando la didattica laboratoriale, con un focus sulla metodologia detta *Inquiry Based Science Education (IBSE)* per quanto riguarda gli aspetti metodologici. L'IBSE, indagine scientifica che parte dall'esplorazione dei fenomeni, basata sulla didattica costruttivistica ed esperienziale, è tra le metodologie più raccomandate per l'insegnamento delle scienze dalle ricerche didattiche e dalle agenzie formative mondiali, per la sua relativa semplicità nell'essere applicata e per gli esiti educativi che può produrre.

Per quanto riguarda le strumentazioni laboratoriali, il fulcro del lavoro è stata prevalentemente la *mostra di esperimenti interattivi "DivertiEsperimenti"*, e suoi ampliamenti. "DivertiEsperimenti" è una raccolta di exhibit da noi ideata già da alcuni anni per il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Salerno (D'Acunto et al, 2005) secondo il modello dell'Exploratorium di San Francisco (Doherty, 1996). Tale raccolta di esperimenti è stata progettata e realizzata per consentire al pubblico, soprattutto scolastico, di "manipolare" e di familiarizzare con numerosi fenomeni fisici, attraverso un approccio informale e anche divertente.

Nei capitoli 4 e 5 è descritto come è nata la mostra DivErtiesperimenti, come è strutturata e a cosa ambisce, ma soprattutto quali sperimentazioni (e con quali risultati) per e con la scuola abbiamo condotto con la mostra e/o con la metodologia IBSE, ovvero:

- il progetto "DivertiEsperimenti: sperimentiamo la fisica moderna"
 - un 'tunnel' fra il Piano Lauree Scientifiche per i docenti e quello per gli studenti di fisica del liceo
 - un nuovo exhibit per l'analogia meccanica (un pendolo) di un dispositivo quantistico (la giunzione Josephson);
- le sperimentazioni della metodologia Inquiry Based Science Education
 - le sperimentazioni sulla formazione degli insegnanti
 - ✓ la disseminazione dell'IBSE con gli esperti del progetto europeo TEMI
 - ✓ il progetto nazionale "Laboratori per i Licei Scientifici"
 - le sperimentazioni con i DivertiEsperimenti per gli studenti di liceo
 - ✓ il progetto "Nequēunt sine luce esse colores"
 - ✓ attività per il progetto "Liceo Matematico"
 - ✓ attività per la Scuola Estiva di Fisica.

La mostra e le proposte didattiche ad essa collegate sono un'esperienza originale sul nostro territorio: gli exhibit realizzati sono unici nel design, e non vi sono mostre interattive analoghe in altre Università della Regione. Con le mostre di exhibit delle

province limitrofe (a partire da “Città della Scienza” di Napoli fino alla mostra “Le ruote quadrate” di Calitri, in provincia Avellino) abbiamo attivato numerosi contatti e proficue collaborazioni. La nostra collezione di exhibit non si può definire di certo né un museo, né uno “Science Center”, sia per le limitate dimensioni sia perché non ne ha le caratteristiche organizzative, ma ha dimostrato di poter ampliare l’approccio didattico a diversi livelli, formali oltre che informali, rendendo possibile il passaggio dall’”hands-on” al “minds-on”, dalla manipolazione alla concettualizzazione. Come ci insegnano analoghe esperienze di successo, quali quelle collegate alla mostra GEI dell’Università di Udine (Michellini 1998, Bosatta 1998) al di fuori dell’Università è molto difficile che ciò si possa realizzare. Al contrario, all’interno dell’Università, oltre agli exhibit, è possibile utilizzare anche la guida esperta dei ricercatori e le strumentazioni dei laboratori di ricerca universitari, cosicché studenti e docenti possono approfondire anche a livello formale tematiche della fisica classica e moderna, quali la superconduttività, la fisica quantistica, l’astrofisica ecc., con percorsi studiati ad hoc (D’Acunto et al, 2016).

Oltre che per svolgere attività divulgative e formative su tutto il territorio, la mostra è stata lo stimolo per organizzare presso il Dipartimento di Fisica “E. R. Caianello” seminari e workshop per lo sviluppo professionale dei docenti del territorio e per la disseminazione presso le loro scuole, con autorevoli studiosi della divulgazione e della ricerca in didattica (D’Acunto et al., 2016). In particolare, la sperimentazione sull’IBSE è stata arricchita da una serie di training per docenti realizzata grazie al gruppo di ricerca del Dipartimento di fisica dell’Università di Milano, che ha messo a disposizione il proprio know-how e i materiali realizzati per il progetto europeo TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated) di cui essi sono stati partner (Barbieri et al, 2014).

Il risultato, evidenziato da interviste e questionari, è stato rendere “DivertiEsperimenti” un laboratorio vivo di apprendimento e sperimentazione oltre che di divulgazione, che ha disseminato la cultura scientifica verso docenti e studenti di molte scuole della nostra regione, con esiti positivi in termini di ricaduta sulla loro pratica didattica. In definitiva, le proposte di apprendimento elaborate con la mostra “DivertiEsperimenti” e con la metodologia IBSE hanno consentito di realizzare un singolare ponte pedagogico tra Scuola e Università, e tra apprendimento informale e temi della ricerca scientifica, tipicamente formali.

Introduzione

“E' l'arte suprema dell'insegnante, risvegliare la gioia della creatività e della conoscenza.”

Albert Einstein

Commentando ad una classe i recenti risultati sperimentali del Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra riguardo la “cattura” del bosone di Higgs ed enfatizzando l'importanza storica del risultato, mi è capitato di sentirmi chiedere da un ragazzo, evidentemente coinvolto dall'evento, dove al momento si trovasse il bosone catturato!

Poco male, perché l'importante era che si parlasse e si ci interessasse a fenomeni fisici, tecnologie scientifiche, modelli teorici e apparati sperimentali all'avanguardia; la domanda dell'alunno, del tutto plausibile per quanto paradossale, fa però riflettere su quanto sia importante e doveroso divulgare la fisica in maniera corretta.

La nostra epoca è contrassegnata, per la maggioranza della popolazione mondiale, da una diffusione di strumenti tecnologici e scientifici nella vita di tutti i giorni senza dubbio mai avuta prima nella storia dell'umanità. Tutti noi, ed in particolare le giovani generazioni, utilizziamo quotidianamente strumentazioni elettroniche e dispositivi sempre più sofisticati la cui complessità, grazie alla continua ricerca scientifica e tecnologica, aumenta con inversa proporzionalità alla semplicità d'uso ed al costo. Ma, di contro, non di pari passo evolve il sapere della popolazione, e dei giovani in particolare, rispetto ai fenomeni su cui si basa il funzionamento dei vari dispositivi e, così come mostrano recenti ricerche, difetta anche la conoscenza riguardo fenomeni più semplici.

Secondo le ultime, recentissime, indagini internazionali sulle competenze degli studenti adolescenti OCSE (Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico) - PISA (Programme for International Student Assessment) ¹ e TIMSS

¹ PISA è una indagine internazionale triennale, iniziata nel 2000, tesa a valutare il Sistema educativo mondiale testando conoscenze e competenze dei quindicenni riguardo scienze, lettura e matematica; è stato pubblicato il rapporto OCSE-PISA relativo allo studio concluso nel 2015, al quale hanno partecipato 72 paesi di cui 35 OCSE. In tale ciclo, proprio alle scienze è stato riservato il dominio principale. Per competenza scientifica, cosiddetta “literacy” scientifica, in PISA si intende non soltanto il possesso di specifiche conoscenze in ambito scientifico e di specifiche abilità tipiche della conoscenza scientifica, ma anche la capacità di utilizzare in modo funzionale tali conoscenze e tali

(Trends in International Mathematics and Science Study)², l'Italia è uno dei Paesi in cui c'è maggior bisogno di intervento nelle cosiddette materie scientifiche. Purtroppo, infatti, entrambe le indagini mostrano che le performance sulle materie scientifiche degli studenti di scuola primaria e secondaria italiani restano significativamente inferiori rispetto alla media mondiale. Ma sono, ancor di più, le performance dei nostri alunni della secondaria di secondo grado ad essere negative per le scienze e per la fisica rispetto a quelle dei coetanei stranieri: l'Italia in entrambe le rilevazioni figura negli ultimi posti.

Anche se in diversa misura, le difficoltà nell'insegnamento-apprendimento delle scienze si riscontrano comunque in tutte le nazioni, e non è un caso che il fisico statunitense Carl Wieman, premio Nobel 2001, abbia di recente lanciato un grido di allarme in tal senso, richiamando la comunità scientifica e politica ad una maggiore integrazione fra ricerca e società, ed in particolare chiedendo che si focalizzi maggiormente l'attenzione sulla didattica. Per migliorare l'educazione scientifica si deve necessariamente partire da un migliore insegnamento scolastico, che a sua volta prepari gli studenti ad essere futuri laureati e docenti meglio preparati. Si sta tentando già da diversi anni di migliorare la didattica delle cosiddette discipline STEM (Science, technology, engineering and mathematics) con azioni e progetti, proprio perché ne è riconosciuta l'importanza per il futuro delle nazioni: la ricaduta sugli studenti sembra però ancora poco significativa. A frenare il processo di miglioramento ci sono vari fattori, non ultimo il fatto che l'investimento dedicato dalle nazioni alle Università si riversa quasi totalmente sulla ricerca, cosicché nei dipartimenti STEM i docenti, a prescindere dalle proprie personali inclinazioni, possono dedicare solo un tempo parziale alla cura della didattica e alla formazione dei futuri docenti di scuola primaria e secondaria. Inoltre non esiste, negli USA come in Italia, uno standard professionale condiviso per la formazione degli insegnanti, e anzi vi sono incentivi finanziari per le

abilità per affrontare e risolvere problemi tipici della vita reale, quotidiana. A livello italiano si conferma ancora una volta il divario Nord-Sud: in media le regioni del Nord hanno mostrato un rendimento superiore sia alle aree del Centro che del Mezzogiorno. Come tipologia di istruzione, è confermato in Italia il migliore rendimento dei licei, seguiti dagli istituti tecnici e dagli istituti professionali.

[http://www.invalsi.it/invalsi/ri/pisa2015.php?page=pisa2015_it_01]

² Una recente ulteriore bocciatura per la scuola italiana arriva da oltreoceano attraverso il Timss 2015. L'indagine dell'Iea di Boston valuta le performance in Matematica e Scienze degli alunni al termine di ciascun ciclo di istruzione di cinquantasette (nove per le superiori) Paesi tra i più industrializzati al mondo. E gli ultimi risultati indicano per il nostro Paese dati negativi: per la fisica dell'ultimo anno: sebbene abbiano partecipato soprattutto Licei Scientifici, l'Italia è risultata penultima. [<http://www.iea.nl/timss>].

istituzioni ad accettare e far laureare/abilitare quanti più studenti nel campo dell'educazione. Ciò ha portato a risultati non soddisfacenti, soprattutto in matematica e scienze: in particolare gli studenti universitari hanno basse competenze fisica più che in ogni altra disciplina (Wieman 2012).

Le politiche governative stanno tenendo conto che il miglioramento delle competenze scientifiche, in particolare in fisica, è un elemento chiave per la costruzione di una cittadinanza attiva cosicché numerose sono le raccomandazioni emanate in tal senso nei vari stati. Il cambiamento normativo in atto nella scuola italiana recepisce, già da anni, le indicazioni della Comunità Europea in materia, introducendo importanti potenzialità nella pratica educativa attraverso metodologie innovative, quali la didattica per competenze, la didattica laboratoriale, le tecnologie digitali, nonché l'obbligo di formazione per i docenti e l'apertura verso enti formativi esterni, formali e non.

Per la fisica in particolare, già da qualche anno sono in atto cambiamenti sostanziali che richiedono attente riflessioni; i principali ambiti di innovazione sono:

- ✓ un forte impulso per quanto riguarda la didattica laboratoriale e delle nuove tecnologie,
- ✓ l'introduzione della fisica moderna nei licei,
- ✓ un'apertura programmatica della scuola verso l'esterno, in particolare l'Università,
- ✓ il nuovo esame di stato per i licei scientifici, che può essere di fisica in alternativa a quella di matematica,
- ✓ l'introduzione dell'apprendimento informale per la costruzione di competenze.

La scuola è indirizzata dunque verso una nuova didattica, che apre verso il mondo esterno, ed il Dipartimento di Fisica "E. R. Caianiello" ha mostrato una crescente volontà di supportare tale processo di innovazione e di miglioramento dell'insegnamento della fisica. Ciò ha determinato la possibilità di svolgere un'attività di ricerca sulla didattica della fisica tramite il dottorato. Ho potuto, in tal modo, mettere in gioco le mie competenze di docente di matematica e fisica con decennale esperienza nella scuola secondaria, ma anche di progettista di esperimenti didattici, per rafforzare il ponte fra Scuola ed Università.

Il lavoro è partito da un arricchimento con nuovi exhibit³ della mostra “DivertiEsperimenti”, avviato già in anni passati, per attivare con essa numerose sperimentazioni sulle metodologie didattiche e sui nuovi modelli di insegnamento esperienziale, in particolare l’IBSE, estendendole anche a fenomeni della fisica moderna.

La particolarità del lavoro svolto (oltre che nell’unicità degli exhibit realizzati) sta nell’aver dimostrato che il progetto didattico collegato alla mostra -essendosi sviluppato all’interno di un Dipartimento di Fisica universitario piuttosto che in uno “Science Center” tradizionale- ampli l’approccio didattico a diversi livelli, formali oltre che informali, rendendo possibile il passaggio dall’ ”hands-on” al “minds-on”.

³ Con tale termine si indicano dispositivi, di solito interattivi, che consentono di mostrare in maniera semplice ma efficace un dato fenomeno. A partire dall’esperienza dell’ Exploratorium di San Francisco, essi sono alla base dei più moderni musei scientifici.

1. Modelli psico-pedagogici e metodologie didattiche per la fisica.

If you hate physics, it is because you had a very bad teacher.

Walter Lewin

1.1 Insegnare scienza in una società che cambia

Il progresso tecnologico degli ultimi decenni ha come contro altare una diffusa ignoranza: possiamo affermare di vivere in una società dove prevale il “*sapere senza imparare*”; spesso ci accontentiamo di “sapere” piuttosto che volere davvero imparare. La scuola, in questo, dovrebbe fare la differenza rispetto all’apprendimento spontaneo: dovrebbe “obbligare” ad imparare. La difficoltà è capire come questo obbligo vada adempiuto (Meirieu, 1990).

La scuola si trova dunque a dover operare in un mondo in continuo cambiamento, dal punto di vista sociale, economico e tecnologico; da qui nasce la necessità di proporre differenti modalità di insegnamento-apprendimento, rispetto alla didattica trasmissiva tradizionale.

Come premesso, la normativa scolastica italiana recepisce tali indicazioni e postula, con le nuove riforme, una scuola all’altezza dei tempi.

Appare dunque lontana la visione di Benedetto Croce⁴, sulla quale si basa la seconda riforma della scuola pubblica italiana (firmata dal Ministro Giovanni Gentile nel 1923), che sancisce il primato dell’umanesimo classico, asservendo ad esso la cultura scientifica. È indubbio che tale concezione abbia comunque avuto grande influenza sulla nostra scuola, e che la dicotomia tra cultura scientifica e cultura umanistica in Italia non sia ancora del tutto superata. L’arretratezza attuale in campo scientifico si deve, però, soprattutto a cattive scelte dei politici da una parte, e di resistenze culturali e dell’incapacità degli scienziati stessi a comunicare dall’altra (Giorello, 2012⁵).

Tale scarsità di circolazione di idee tra la ricerca e la pratica didattica fa sì che, quanto più la scienza e la fisica diventano importanti nella società e nella vita di tutti i giorni, tanto più la comunità, ed i giovani in particolare, si sentano lontani da essa. La fisica, allora, viene comunemente considerata una materia tecnica e complicata, destinata agli specialisti, il cui apprendimento a scuola spesso si riduce ad imparare meccanicamente delle formule (Michellini, Girep⁶ 2002).

La fisica, invece, è una disciplina fondamentale nel processo di apprendimento, per il contributo metodologico che può apportare: essa insegna ad inquadrare e a
--

⁴ «Gli uomini di scienza sono l’incarnazione della barbarie mentale, proveniente dalla sostituzione degli schemi ai concetti, dei mucchietti di notizie all’organismo filosofico-storico.» (Benedetto Croce da Il risveglio filosofico e la cultura italiana, n. 6, 1908, pp. 161-168)

⁵ «È vero che Croce odiava la scienza?» Dialogo tra Giulio Giorello e Corrado Ocone RESET 137 2012

⁶ Il GIREP (Groupe International de Recherche sur l’Enseignement de la Physique) è un’organizzazione internazionale fondata nel 1966 con l’obiettivo di migliorare l’insegnamento della fisica da e per i docenti e loro sostenitori (ricercatori, tecnici, sviluppatori di curriculum).

schematizzare le problematiche, a porsi domande e pervenire a soluzioni. Al contrario della visione comune, la fisica richiede grosse doti di creatività e flessibilità, e il suo insegnamento-apprendimento porta ad acquisire una serie di strumenti metacognitivi utilizzabili in molteplici contesti.

L'approccio metodologico della disciplina porta anche confrontarsi e condividere strumenti e strategie per ottenere risultati migliori.

L'ultimo rapporto OCSE-PISA sottolinea quanto le performances degli studenti (e le aspettative di questi ultimi di lavorare nell'ambito scientifico) dipendano dalle modalità in cui i loro insegnanti svolgono la loro azione didattica. I migliori risultati vengono ottenuti dagli studenti che dichiarano di avere insegnanti che spiegano i concetti scientifici, ed anche che adattano la loro lezione ai bisogni ed alle preconoscenze degli studenti stessi (PISA 2015). Ma sono ancora pochi gli insegnanti che mostrano questo atteggiamento costruttivo. Proviamo ad analizzare le cause di tale deficit: in Italia una buona parte dei laureati in discipline scientifiche, dopo la laurea, si dedica all'insegnamento; fino a non molti anni fa, il futuro insegnante di scienze fisiche, durante il corso di laurea riceveva una solida preparazione scientifica, ma non un'altrettanta solida preparazione di natura pedagogico-didattica sul modo con cui avrebbe dovuto insegnarle. Inoltre, la maggior parte dei docenti di matematica e fisica erano e sono laureati solo in matematica, non in fisica. Al contempo, le iniziative di perfezionamento o aggiornamento accademico post-laurea o di formazione in servizio erano insufficienti: il docente poteva trovarsi così proiettato in una situazione che gli imponeva un'autoformazione in servizio, di solito priva di una preparazione di base sulla didattica della sua disciplina.

Le ragioni per cui in Italia raramente si introducono nei piani di studio accademici (ad eccezione delle facoltà di Filosofia e Pedagogia) elementi pedagogici e didattici, sono svariate. La principale è ritenere che insegnare sia un'arte, non una scienza, ovvero una competenza del tutto personale che si raggiunge con il sapere e con l'esperienza. Quest'"arte di insegnare" giunge alla perfezione con insegnanti colti che fanno lezioni geniali, "lectio Magistralis", seguite da esercitazioni e interrogazioni. Tale modalità di insegnamento è entrata in crisi già in epoca positivista, quando si è incominciato a studiare la psicologia dell'alunno e a ricercare metodologie più rispondenti alle sue caratteristiche di apprendimento, e nell'attuale società è totalmente inadeguata. Negli ultimi anni sono stati sviluppati studi teorici e ricerche sperimentali

sullo sviluppo evolutivo, dai quali sono scaturiti nuovi orientamenti metodologici e didattici, più intuitivi e più attenti alla realtà delle cose che ai libri.

Tali metodi, dettati dalla ricerca psico-pedagogica, per lo più hanno riguardato l'insegnamento degli alunni della scuola primaria, ma si stanno diffondendo anche alle scuole superiori dove prevaleva (e spesso permane) la concezione tradizionale che per fare apprendere determinati argomenti basti una buona lezione, fatta da insegnanti di valore, seguita da approfondimenti personali e interrogazioni.

1.2 Modelli filosofici e psico-pedagogici delle scienze dell'educazione

Quando parliamo di 'didattica', bisogna riferirsi a teorie di psicologia dell'educazione: i modelli educativi sono molteplici; descriviamo di seguito quelli filosofici e psico-pedagogici che hanno avuto ed hanno maggior influenza sul modo di insegnare.

L'empirismo: è una filosofia molto diffusa nel mondo anglosassone agli inizi del secolo XX, ispirata ai "trionfi della scienza" associati alla rivoluzione industriale del '700-'800. Alla base c'è l'empirismo di Hume, che, tradotto in una pedagogia, porta al classico modello del "travaso": la scienza è il liquore benefico, l'allievo è il bicchiere da riempire, compito dell'insegnante è travasare la scienza dalla bottiglia al bicchiere. Anche se sotto forma mascherata, questo è sostanzialmente il modello pedagogico che tuttora forma lo "zoccolo duro" di molti modi di insegnare la fisica⁷. Questo indirizzo di pensiero dominante sino alla fine dell'ottocento è stato aspramente combattuto dal neoidealismo in Italia, soprattutto, come già detto, dal filosofo Giovanni Gentile che in nome della libertà dello spirito, e quindi della libertà di insegnamento, contro ogni metodo pedissequo empiristico, sosteneva che il miglior metodo di insegnamento è quello di non averne alcuno.

Il Comportamentismo, vicino ai nostri giorni, è una corrente di pensiero che si rifà all'empirismo e in particolare al nostro modo di comportarci. Uno dei più importanti esponenti di questo movimento è il russo Pavlov, con la sua teoria dei riflessi condizionati: Pavlov dà importanza allo stimolo-risposta e al valore del rinforzo positivo. Chi apprende si adatta alla contingenza degli eventi e degli obiettivi. I sistemi di apprendimento che si basano su tale modello si fondano sul condizionamento che si

⁷ <http://www.iapht.unito.it/fsis/didfis/did3-06-modelli-svil-int.pdf>

produce sul discente. L'insegnante ha il compito di individuarne le forme e gli strumenti migliori. L'apprendimento, in definitiva, è abitudine, associazione fra stimolo e risposta. Da qui nasce l'idea di Skinner delle "macchine" per insegnare. È un metodo meccanicistico sul quale si basa il "modello di trasmissione" delle conoscenze, efficace nelle discipline matematiche e computazionali, ma non laddove il sapere è meno schematizzabile.

Il Cognitivismo (Piaget, Vygotskij) è un altro indirizzo di pensiero importante soprattutto in campo psico-pedagogico. Si basa sulle operazioni mentali in atto nell'interazione io-ambiente, studiando i cambiamenti delle strutture cognitive. L'apprendimento spontaneo o indotto avviene attraverso processi cerebrali, quali la trasformazione (graduale) delle azioni concrete in simboli astratti (lettere, numeri, operazioni ecc.), la memoria e le aspettative. La capacità di imparare si sviluppa non per condizionamenti o per abitudine ma per la capacità di imitare e di interiorizzare le informazioni. Si pone dunque l'accento sull'importanza del contesto sociale e dei rapporti con gli altri: famiglia, scuola, società (Dewey, anni '50 e inizio '60).

La didattica attiva: più che un vero e proprio modello di apprendimento, si tratta di una metodologia basata sul "fare", inteso in senso conoscitivo e formativo (imparo facendo, perché non solo vedo, tocco, manipolo, ma anche percepisco, prendo decisioni, valuto, ecc.). Il cognitivismo ha condotto alcuni importanti progetti che hanno fatto scuola e che sono centrati soprattutto sul laboratorio: ricordiamo il progetto "Nuffield" in Inghilterra, e il famoso "P.S.S.C (Physical Science Study Committee)" negli USA, degli anni '60). L'insegnante di stile cognitivista provvede all'impalcatura su cui deve reggere l'apprendimento autonomo del discente basandosi su:

- trasmissione di modelli mentali
- strategie di apprendimento
- strategie per la gestione del sapere a livello cognitivo (capacità di determinazione degli obiettivi)
- esplorazione di campi nuovi.

Il Costruttivismo: questo movimento di pensiero intende l'apprendimento come il prodotto di una costruzione attiva da parte del soggetto strettamente collegata al contesto di apprendimento e alla collaborazione sociale. È un'operazione di interpretazione che il soggetto deve compiere per comprendere la realtà che lo circonda. L'idea centrale è quella che ogni allievo deve fare per conto proprio e che

quindi le conoscenze non si trasmettono, ma sono il risultato di un apprendimento personale in uno specifico contesto. Il costruttivismo, ispirato ai modelli di psicologi importanti come Piaget e Vigotskij, è stato modellizzato, in campo pedagogico-scientifico dall'inglese Rosalind Driver. Il ruolo dell'insegnante deve limitarsi a "creare uno scenario" che metta l'allievo in condizioni di capire da solo. Ci sono differenze importanti fra i modelli ispirati a Piaget e quelli ispirati a Vigotskij. Per il primo la conoscenza procede per stadi di equilibrio successivi e il passaggio da uno stadio all'altro avviene quando l'allievo "è pronto". Per il secondo vi è uno stadio di sviluppo cognitivo potenziale e uno attuale e il passaggio a quello attuale avviene quando ci si scontra con un problema da affrontare: di qui l'importanza degli stimoli opportuni e il ruolo dell'insegnante, che è molto meglio definito e più rilevante.

Secondo il costruttivismo inoltre per apprendere è necessaria la motivazione: il soggetto è spinto dai propri interessi e dal proprio back-ground culturale.

Modello	Aspetti positivi	Aspetti negativi
Empirismo	Importanza della disciplina. Aspetti disciplinari assolutamente chiari e ben impostati.	Eccessivo nozionismo, che non lascia vedere la gerarchia dei concetti; rischio di un distacco dalla realtà quotidiana e dagli interessi dell'allievo.
Comportamentismo	Importanza dell'inserimento della disciplina nel contesto sociale e del contributo dell'apprendimento cooperativo.	Non è sufficiente che un problema o un concetto sia di interesse sociale perché diventi automaticamente utile ed economico per la costruzione dei concetti.
Cognitivismo	Interdisciplinarietà. Importanza dei processi cognitivi (la percezione, l'attenzione, la memoria, il linguaggio, il pensiero, la creatività).	L'oggetto di indagine non è una realtà fisica ma è definito da una attività o da un processo.
Costruttivismo	Importanza della costruzione autonoma e personale dei concetti.	Rischio di applicare in modo radicale il principio che "la conoscenza non si trasmette" e di abbandonare gli allievi alle loro uniche risorse: non è sufficiente che un problema o un concetto venga affrontato autonomamente perché diventi utile per la costruzione dei concetti.

Le attuali indicazioni didattiche sia della fisica che delle altre discipline si basano principalmente sul costruttivismo. In generale, un buon modello deve essere eclettico, sapersi adattare alle situazioni didattiche. Ad esempio, a seconda del livello scolastico: il costruttivismo ha certe caratteristiche a livello di scuola di base, ma deve avere caratteristiche diverse a livello di scuola secondaria (mirare alla costruzione autonoma e personale dei concetti anche attraverso la formalizzazione matematica)⁸.

1.3 La didattica della fisica come disciplina autonoma

La didattica della fisica nasce come disciplina autonoma verso la fine degli anni 50. Il modello dominante nella tradizionale pratica educativa in Italia, di concezione neoidealista gentiliana, ha eliminato, in nome della libertà dell'insegnamento, ogni intervento metodologico ed ogni indagine di ordine psicopedagogico. Certamente, l'idea gentiliana dello sviluppo umano inteso come sviluppo spirituale in continuo divenire ha aperto la strada al concetto tutto moderno dell'educazione permanente (*long life learning*), ma ha limitato nello stesso tempo la strada allo sviluppo di una didattica basata su fondamenti scientifici e come disciplina.

Con la fine della seconda guerra mondiale sono cadute le idee idealistiche e sono sorti nuovi indirizzi di pensiero più attenti all'esperienza concreta dell'uomo in un mondo che cambia.

Inoltre si è assistito a un progresso tecnologico senza precedenti e nello stesso tempo al progressivo declino delle istituzioni tradizionali.

Si è profilata così la prospettiva di una didattica disciplinare come scienza autonoma che, pur avendo continue intersezioni con le altre scienze, possiede una serie di principi e di assiomi che le conferiscono lo statuto di una vera disciplina di studio, e non una semplice applicazione pratica di schemi desunti da indirizzi filosofici e pedagogici.

Dunque, attualmente *la didattica disciplinare della Fisica è un campo di ricerca autonomo*, il cui sistema concettuale si presenta come un quadro originale, incommensurabile con i quadri concettuali di discipline anche molto prossime, come la pedagogia generale o la psicologia dell'educazione.

La ricerca didattica si occupa del *contesto epistemologico*, ovvero della strutturazione dei contenuti della conoscenza, rispetto al quale vi è sempre un ampio

⁸ Giuseppina Rinaudo - Didattica della Fisica Corso SIS – Indirizzo fisico-matematico - a.a. 2006/07
<http://www.iapht.unito.it/fsis>

dibattito, sia in merito a come strutturare i contenuti scientifici, sia in merito a come articularli.

Particolare importanza ha poi il *contesto di studio disciplinare* della didattica, ossia della conoscenza degli argomenti non solo negli aspetti contenutistici ma anche procedurali. Per la fisica è necessario in particolare aiutare gli studenti a superare il cosiddetto “paradigm shift” che permea la storia della fisica, fatta appunto da alternarsi della cosiddetta “fisica normale” a rivoluzioni scientifiche, con annesso cambio di paradigma (fisica classica e fisica moderna, dualismo onde e particelle ecc). Poiché l’insegnamento ha bisogno di unitarietà, la ricerca didattica in fisica ha anche il compito di tradurre e predisporre per l’insegnamento i risultati della ricerca, “interfaciando” i differenti paradigmi.

Da qualche tempo la ricerca, dopo aver studiato il Sapere e poi gli allievi, ha cominciato ad occuparsi degli insegnanti, i veri artefici dell’attività in aula con gli studenti. L’insegnamento si basa, oltre che sulla pratica didattica, sulla ricerca in didattica. Il dibattito su quale sia il nesso fra la ricerca e la didattica è sempre molto acceso, ma la ricerca è, in qualche maniera, “fonte e base della didattica”⁹. È ormai chiaro che la costruzione delle competenze didattiche deve diventare parte della formazione degli insegnanti, ma c’è ancora molto lavoro da fare per scardinare una mentalità che ha radici ben salde nella nostra cultura.

Proprio ponendo attenzione al ruolo del docente, la didattica della fisica, attingendo anche dalla didattica della matematica, ha fatto propri apparati concettuali nuovi per l’apprendimento, a partire dalla definizione di quest’ultimo come passaggio da un livello di conoscenza ad uno superiore, fino al concetto di *ostacolo* che si incontra in tale processo, ed a quello di *trasposizione didattica* dal sapere a sapere da insegnare (Chevallard, 1986). In sintesi:

l’ostacolo è «qualcosa che si frappone all’apprendimento trasmissivo insegnante-allievo atteso, qualunque ne sia la natura» e può essere di natura ontogenetica, di natura didattica, di natura epistemologica (D’Amore, 2008);

per “*trasposizione didattica*” si intende il processo creativo e complesso che vede protagonista l’insegnante che agisce sul Sapere per trasformarlo in un sapere da insegnare adatto all’allievo.

⁹ Marisa Michelini Convegno SIRD (Società Italiana della Ricerca in Didattica) “Didattica e saperi disciplinari”, Università di Milano Bicocca 2016 -Tavola Rotonda: “Rapporto fra ricerca didattico-disciplinare e formazione insegnante”

L'apprendimento è di certo un processo dinamico, che segue percorsi non lineari e non sequenziali che si realizza grazie a momenti di rottura con una conoscenza pregressa (Bachelard, 1938), È un processo mediante il quale si acquisiscono nuove conoscenze su cui influiscono diversi aspetti tra cui:

- strategie cognitive personali, stili di apprendimento, esperienze individuali e collettive,
- fenomeni dell'ambiente circostante, informazioni e stimoli provenienti dalla realtà esterna.

Il processo di costruzione del sistema di conoscenza è determinato da innumerevoli fattori, da componenti intuitive, qualitative e quantitative ma anche dall'influenza dei condizionamenti sociali, culturali, emotivi.

Per costruire nuove conoscenze occorre decostruire la vecchia, la quale è stata efficace per affrontare problemi precedenti, ma si rivela fallimentare di fronte a nuove esigenze.

In tale processo il passaggio da un livello di conoscenza ad un altro avviene attraverso il superamento di ostacoli: le tipologie di ostacolo individuabili nell'apprendimento della matematica, ma riscontrabili nell'apprendimento della maggior parte delle discipline sono: *ostacoli di natura ontogenetica, ostacoli di natura didattica, ostacoli di natura epistemologica.*

- a) I primi sono legati alla maturazione psichica dell'individuo, la quale dipende per lo più dalla sua età cronologica e dunque dalle fasi di sviluppo.
- b) Gli ostacoli di natura didattica riguardano le scelte di contenuto e di metodologia del docente per l'insegnamento di un dato concetto. Ad esempio la scelta di esemplificare con fili di perle l'idea del segmento come insieme di punti si rivela non di rado un ostacolo alla successiva comprensione del concetto di densità nell'insieme dei numeri razionali e di continuità in quello dei reali. Inoltre non tutti apprendiamo allo stesso modo, dunque le scelte didattiche di un docente possono essere di ostacolo per alcuni soggetti ma non per altri.
- c) Ci sono poi dei concetti la cui forza innovativa ha determinato una difficoltà di accettazione da parte della stessa comunità scientifica: ecco gli ostacoli epistemologici, che per essere superati richiedono una frattura, un cambio radicale di concezione da parte di tutta la comunità scientifica, come nel caso della fisica quantistica ad esempio. L'insegnante deve conoscere gli ostacoli epistemologici relativi a un ambito disciplinare, poiché le difficoltà che scienziati e studiosi hanno

incontrato nell'approccio a nuovi concetti sono spesso le stesse che incontrano gli studenti nella comprensione di quegli stessi concetti.

Occorre infine precisare che in contesto di insegnamento-apprendimento si verificano intersezioni tra le tre tipologie di ostacoli. D'Amore parla inoltre di ostacoli "epigenetici", ovvero legati alla comunicazione: in questo caso sono gli ostacoli epistemologici e quelli didattici ad intersecarsi.

Il passaggio da un apprendimento intuitivo, quotidiano (informale), ad uno scientifico (formale), e da una conoscenza scientifica di grado meno elevato ad un'altra di grado più elevato, sul piano didattico, incontra ostacoli di diversa natura. La "trasposizione didattica" è un passaggio necessario nel processo di insegnamento-apprendimento dal sapere come oggetto scientifico, al sapere come oggetto di insegnamento/apprendimento. Ogni argomento scientifico, come sapere a sé, deve diventare un sapere da insegnare, e in quanto tale deve subire modificazioni in vista soprattutto del soggetto a cui è rivolto, cioè dello studente che lo deve apprendere. Tale "trasposizione" richiede di razionalizzare il sistema e di chiarire i ruoli e le funzioni dei vari elementi che vi interagiscono. In particolare - dovendo consentire di "trasporre" in modo articolato e strutturato gli aspetti fondamentali dell'oggetto degli argomenti di studio in modo da farli diventare oggetti di apprendimento - richiede l'esame del contesto epistemologico e, nello stesso momento, psico-pedagogico, ovvero dei termini, concetti e principi che costituiscono le strutture di fondo di ogni disciplina che vuol dirsi scientifica e della struttura della mente che apprende. In Figura 1 vi è una schematizzazione del processo di apprendimento secondo le suddette ricerche di didattica disciplinare.



Figura 1

Schema del processo di apprendimento: il passaggio da un apprendimento informale ad una conoscenza di grado più elevato incontra ostacoli di diversa natura. La “trasposizione didattica” è la trasformazione che l’insegnante attua dal sapere come oggetto scientifico, al sapere come oggetto di insegnamento/apprendimento.

Da quanto detto, risulta evidente l'importanza del ruolo del docente nella didattica e dunque quanto sia una priorità, per la scuola quanto per la ricerca, formare insegnanti professionalmente preparati. La ricerca in didattica della fisica sta sempre più interagendo ed intervenendo su quello della formazione dei docenti. Di seguito riassumo i principali modelli elaborati in tale processo di integrazione tra ricerca in didattica disciplinare e formazione dei docenti.

Secondo recenti modelli (Shulman, 1986) il processo di professionalizzazione degli insegnanti deve basarsi sulla fusione della conoscenza dei contenuti pedagogici generali (pedagogical knowledge - PK) con la conoscenza dei contenuti disciplinari (subjectmatter content knowledge - CK); tale integrazione determina la conoscenza pedagogica col contenuto (pedagogical content knowledge - PCK). Questo fondamentale passaggio richiede uno sforzo comune tra il mondo della ricerca in fisica, della ricerca in didattica e della scuola per essere realizzato (vedi figure 2 e 3).

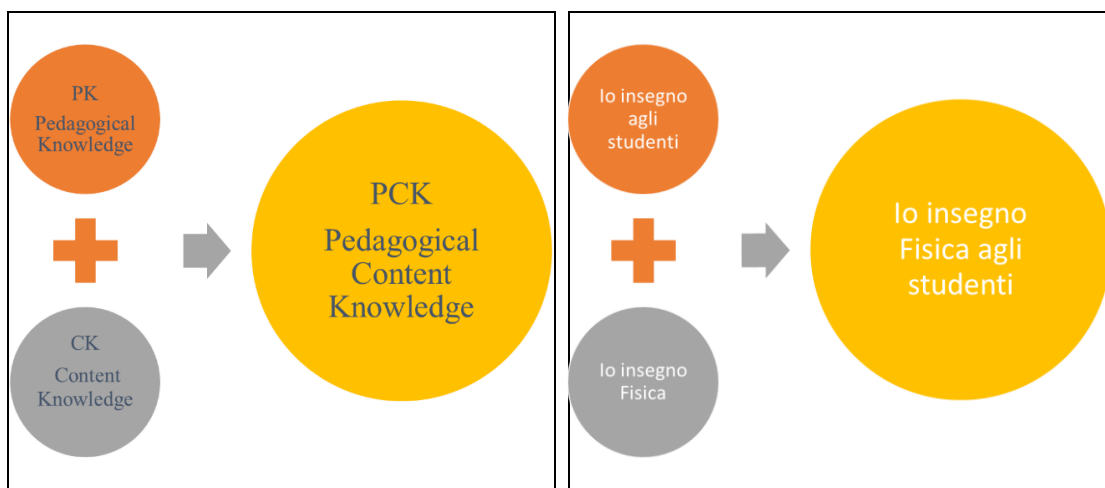


Figure 2 e 3

Schema del modello PCK di Shulman per la Conoscenza Pedagogica dei Contenuti: essa deriva dalla sinergia fra le Conoscenze Pedagogiche (PK) con quelle dei Contenuti (CK)

Tale modello ha dato vita ad una vasta teorizzazione. Più recentemente vi sono proposte di ampliamento del bagaglio di competenze PCK (Michelini, 2015), attraverso l'integrazione dell'apprendimento informale acquisito nell'esperienza con i tre modelli Metaculturale, Esperienziale e Situato (Benciolini, et al., 2000; Michelini et al. 2013) descritti di seguito.

Il modello Metaculturale implica una discussione critica di elementi culturali e pedagogici di una proposta innovativa, esplicitando i contenuti, i processi che caratterizzano l'apprendimento disciplinare specifico (CK) e gli aspetti didattici (PK); in particolare si basa su "case study" di proposte didattiche, oltre che sull'analisi delle difficoltà di apprendimento correlate, che la proposta didattica oggetto della formazione mira a superare. Secondo tale modello l'insegnante effettua autonomamente la trasposizione dalla programmazione alla preparazione di materiali didattici per lo studente, e anche le scelte di strategie e metodi, avvalendosi di materiali di supporto, anche organizzati in ambienti professionali in rete Web per gli insegnanti.

Nel modello Esperienziale, il docente viene coinvolto in un approfondimento sui nodi concettuali delle proposte formative, soffermandosi sulla valenza didattica del singolo passaggio, della singola attività, del singolo esperimento. Il rischio è che perda di vista la coerenza complessiva del percorso didattico e gli obiettivi primari a cui esso mira, focalizzandosi invece su obiettivi secondari o puntuali.

L'integrazione di modalità *esperienziali* con attività *metaculturali* recupera la visione globale e porta a un valore aggiunto nella formazione.

Il modello Situato fornisce competenze nel saper attivare le PCK in situazioni didattiche reali sia nella pratica didattica con gli studenti, sia nelle fasi di progettazione di un percorso didattico e sua implementazione e in quelle di monitoraggio e valutazione, oltre che di documentazione. L'apprendimento dell'insegnante avviene attraverso la riflessione sull'esperienza di lavoro in classe e produce una crescita della professionalità che emerge dalle necessità didattiche. Come attività di ricerca-azione una formazione situata recupera gli apprendimenti informali dell'insegnante maturati nell'esperienza (Arons, 2003).

In tal modo l'insegnante, nello sperimentare le proposte didattiche oggetto della formazione, è guidato a riflettere su di esse con criteri e strumenti di ricerca-azione. Per attuare una formazione degli insegnanti efficace sulle PCK è auspicabile l'integrazione di tutti e tre i suddetti modelli integrandoli attraverso il "Research based Integrated Model for Professional Competences in Physics Education" – detto RIMPEC- che è un modello basato sulla ricerca per lo sviluppo delle competenze professionali in didattica della fisica degli insegnanti (Michelini 2015). In Figura 4 vi è una rappresentazione schematica di tale modello.

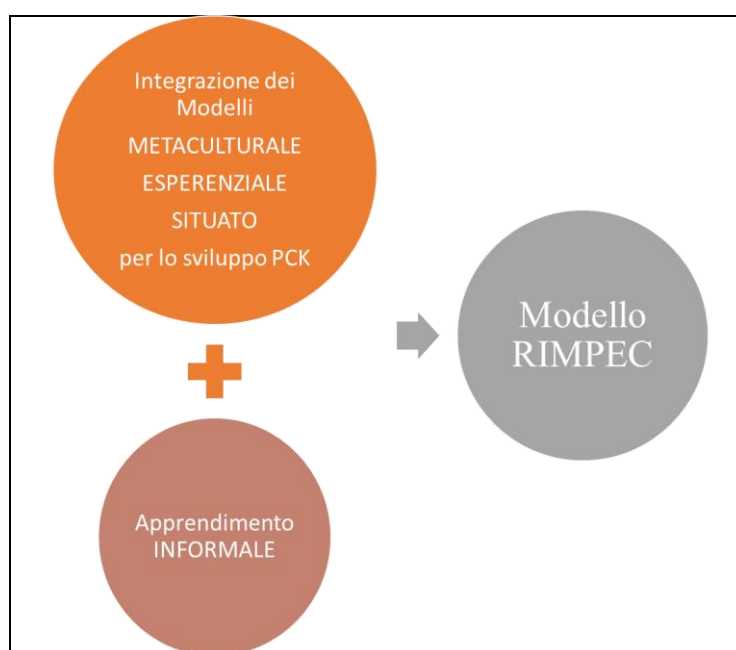


Figura 4
Oltre il modello di Shulman: il Modello RIMPEC (Research based Integrated Model for professional Competences in Physics Education)

1.4 Metodologie e strategie di insegnamento-apprendimento in fisica.

La comunità educativa è alla continua ricerca (oltre che di modelli) di metodologie, strategie e pratiche efficaci, che possano garantire agli studenti una valida formazione scientifica per la costruzione del loro futuro.

La principale competenza, tra quelle indicate dalla Commissione Europea, che un docente deve tenere presente è probabilmente “imparare ad imparare”¹⁰. Ma come l’insegnante può aiutare a trasformare le conoscenze in metacoscienze?

L’orientamento emergente nel campo della didattica delle scienze, e quindi della fisica in particolare, è quello di privilegiare situazioni di apprendimento partecipate, che stimolino la curiosità, rinforzino la motivazione e favoriscano la socialità. Per quanto riguarda poi i contenuti, i più recenti studi suggeriscono di selezionare grandi aree tematiche: per la fisica, ad esempio, si può parlare della struttura molecolare della materia, col fine di formare l’attitudine all’indagine scientifica, al riconoscimento di ciò che è invariante e di ciò che invece si modifica nelle trasformazioni, alla rappresentazione di informazioni, alla comunicazione dei risultati e alla proposta di ipotesi esplicative. Facendo leva sulle capacità possedute dai discenti, il docente guida questi ultimi a svilupparne di nuove. Un obiettivo metacognitivo del docente è condurre gli studenti a comprendere che in tutti i sistemi ed i processi fisici vi sono meccanismi di causa-effetto che possono essere descritti con lo stesso impianto teorico. Quello che è alla base di tale modo di insegnare possiamo dire che è il voler rispondere alla domanda “Perché le cose accadono?”. Tale domanda può essere formulata per spiegare e predire un’ampia varietà di fenomeni che avvengono nella vita di tutti i giorni¹¹. A ciò, si affiancano altre strategie didattiche più consolidate, quali (vedremo) l’Inquiry-Based Learning Education.

I modelli attuali per la classificazione delle fasi principali nell’insegnamento in campo scientifico in generale, e in particolare in fisica si basano, come abbiamo premesso, su studi e teorie; le più accreditate tassonomie a riguardo partono dagli studi degli anni ’50 e sono riassumibili nella seguente tabella:

¹⁰ Il libro bianco: “Insegnare e apprendere. Verso la società della conoscenza”, della Commissione Europea e curato da Edith Cresson (Bruxelles, 1995) rappresenta ormai un punto di riferimento per ogni studioso dei sistemi scolastici

¹¹ Science Teachers' Learning: Enhancing Opportunities, Creating Supportive Contexts (NAP 2015) 173

Tabella 1

Sintesi delle principali fasi nell'insegnamento in campo scientifico

Conoscenza, Comprensione, Applicazione, Analisi, Sintesi e Valutazione; (Bloom et al, 1956);
Cognizione e memoria, Pensiero "divergente", Pensiero "convergente" e Pensiero "critico" (Guilford, 1954);
Esplorazione, Invenzione e Applicazione (Karplus, 1980).

Gli atteggiamenti personali richiesti allo studente sono, secondo Bloom:

- disponibilità all'ascolto: essere disponibile ad accettare le indicazioni del docente, conoscere e capire le regole, ascoltare le idee dei compagni, leggere la documentazione fornita;
- coinvolgimento: impegnarsi in modo attivo e con contributo personale (appropriazione);
- accettazione dell'esistenza di regole e di valori propri della disciplina;
- comprensione non tanto delle leggi fisiche o dell'attività sperimentale quanto dei "valori" legati a tali attività e regole;
- partecipazione: condividere a fondo il sistema dei valori (Welt Anschau) e sviluppare un atteggiamento positivo verso la fisica, le sue regole, il suo modo di "vedere" e interpretare il mondo.

Analogo atteggiamento deve avere il docente, che quindi deve:

- essere disponibile all'ascolto delle idee e delle difficoltà degli studenti,
- dimostrare di essere coinvolto personalmente e convinto di ciò che insegna,
- dimostrare di accettare le regole, comprenderne e dividerne i valori.

Gli insegnanti e gli educatori hanno a disposizione una molteplicità di metodi didattici che possono essere utilizzati nella pratica didattica. I diversi modelli pedagogici di riferimento indicano strategie, metodi, tecniche che ciascun docente può attuare per facilitare l'apprendimento.

È necessario che ci siano delle indicazioni che guidino la professionalità e l'esperienza del docente nella scelta degli strumenti più adatti per creare un clima cognitivo favorevole, a seconda del momento didattico.

I metodi riguardano l'insieme di procedure che l'insegnante attiva nella realizzazione delle pratiche didattiche che ha progettato. L'orientamento che l'insegnante assume durante il processo di apprendimento di cui è facilitatore, essenzialmente può essere: di natura *espositiva*, se l'attenzione è posta sugli aspetti contenutistici dell'insegnamento; *euristica*, se l'attenzione è centrata sui modi di apprendere dell'alunno. Il primo approccio si presta maggiormente alla trasmissione di contenuti, che comunque può avvenire anche in forma coinvolgente, non necessariamente come trasmissione passiva. I metodi che si basano sulla modalità di tipo euristico sono invece più funzionali alla partecipazione degli alunni, al loro coinvolgimento. Il primo approccio garantisce maggiormente la sistematicità dell'insegnamento, il secondo prevede una maggior negoziazione con gli alunni, può essere meno sistematico (e quindi può portare a trascurare qualche contenuto), ma risulta significativo anche dal punto di vista cognitivo, perché impegna attivamente gli alunni.

I metodi di insegnamento sono molteplici, riportiamo in tabella i principali:

Tabella 2

Principali metodi di insegnamento-apprendimento

Principali metodi di insegnamento-apprendimento
metodo espositivo (narrazione)
metodo operativo (ludico, laboratoriale)
metodo euristico -partecipativo e dialogico (ricerca-azione-apprendimento attivo-metodologia della ricerca/costruzione attiva del sapere individuale)
metodo sperimentale -investigativo (problem solving).

Le tecniche riguardano gli aspetti specifici, finalizzati alla realizzazione di particolari momenti dell'azione didattica, richiesti dal progetto che si sta realizzando e collocati all'interno del metodo che si sta utilizzando. Le tecniche didattiche rappresentano l'aspetto più tattico dell'azione didattica, non sono esclusive di un metodo piuttosto che di un altro, e meno che mai di una strategia. In tabella elenchiamo le più note e diffuse tecniche che coadiuvano l'insegnamento.

Tabella 3

Principali Tecniche di insegnamento-apprendimento

Principali Tecniche di insegnamento-apprendimento
role-play o simulazione di ruoli
cooperative learning (apprendimento cooperativo)
peer-tutoring o tutoraggio tra pari
mentoring, guida che aiuta il giovane nel passaggio alla vita adulta
learning-by-doing o imparare facendo
experimental learning, apprendimento esperienziale (e.g. outdoor training)
comunità di apprendimento
corners, imparare usando gli "angoli"
webquest, attività di ricerca, analisi e risoluzione di problemi attraverso l'uso di internet
tecniche ludiche come i giochi tra pari
Drammatizzazione

1.5 Trasformare in competenze i contenuti disciplinari

La missione della scuola è quella di fornire alle nuove generazioni gli strumenti per garantire il loro futuro e, dunque, quello del mondo (Meirieu, 2015).

Viviamo un'epoca in cui le competenze necessarie per essere cittadini consapevoli sono sempre più numerose e diversificate, ed appare dalle rilevazioni in tutto il mondo ed in Italia in particolare, che quelle scientifiche soprattutto risultino insufficienti da tale punto di vista. Ma cosa si intende per didattica delle competenze? Il concetto di "competenza" rimanda, nel tempo, a diversi approcci: primo, a una visione che concepisce la competenza come una somma di parti (conoscenze, abilità, capacità) e quindi pone al centro della didattica non la persona ma le parti; secondo, una visione didattica che concepisce la competenza come "performance", e una terza visione che concepisce la competenza come l'atto di impegno di tutta la persona di fronte alle situazioni, onde non ci sono le competenze in sé, ma persone competenti. Quest'ultima visione è quella che trova maggior credito. Non esiste competenza senza conoscenze, abilità e capacità, ossia senza competenze di base per il vivere civile oggi.

Il Parlamento Europeo, sempre più interessato a questa didattica, il 18 dicembre del 2006 enuncia in maniera chiara le otto competenze chiavi per la cittadinanza europea.

Tra queste otto, immediatamente dopo le competenze chiave 1 e 2, attinenti rispettivamente alla comunicazione nella lingua madre e quella della comunicazione in lingua straniera, al punto 3 troviamo la competenza matematica e la competenza di base nella scienza e tecnologia, seguita al punto 4 dalla competenza digitale. Queste competenze chiave, sviluppate, costituiranno la guida per il percorso formativo, dalla partenza all'arrivo, della didattica delle discipline scientifiche. Lungo questo percorso la scuola si avvarrà di adeguati strumenti, quali il progetto formativo, l'elaborazione di curricoli, delle unità didattiche e della descrizione dei risultati dell'apprendimento.

Atteso che le competenze costituiscono il significato dell'istruzione, il compito principale dei docenti è in definitiva quello di rispondere alle domande degli studenti, che hanno un bisogno profondo di attribuire senso all'apprendimento e alla loro formazione. Questo significa legare l'apprendimento delle conoscenze scolastiche ai problemi ancorati alla realtà dei discenti. Le Raccomandazioni del Parlamento Europeo e del Consiglio Europeo insistono sulla questione del riconoscimento degli apprendimenti non formali (attraverso strumenti di laboratorio e tecnologici capaci di catturarne l'interesse) che influiscono, come quelli formali e sulle competenze necessarie per avere la cittadinanza europea.

La trasformazione degli stili di apprendimento da parte dei ragazzi di oggi, e come la società richiede che essi siano preparati, stanno portando, come stiamo vedendo, ad una rivisitazione degli standard educativi. E' in atto in tutto il mondo la sfida di definire un sistema educativo capace di preparare gli studenti del XXI secolo per mestieri che non sono ancora stati creati, per prodotti che non sono ancora stati inventati e per abilità da sviluppare, volte alla creatività ed all'innovazione¹².

Nonostante ci siano competenze e conoscenze di base che sono irrinunciabili, è anche naturale che ciò che era necessario per essere una "persona competente" nella società dei secoli passati differisca drasticamente dal corpus di competenze necessarie per essere un cittadino istruito e preparato del XXI secolo.

In un sistema educativo moderno, possiamo dire che sono indispensabili tre tipologie di competenze generali:

¹² Un' ipotesi scientifica di tale sistema viene illustrato nel libro degli esperti di educazione Bernie Trilling e Charles Fadel "21st Century Skills". La "Partnership for 21st Century Skills" è un'organizzazione internazionale, frutto di una serie di iniziative in tutto il mondo volte a definire le conoscenze, le competenze, e le abilità necessarie nella società dell'informazione e propone un sistema esteso di obiettivi educativi.

Tabella 4
Competenze generali dello studente del XXI secolo

<p>1. Learning and Innovation Skills</p> <p>comprendono abilità utili nel lavoro e nella vita in generale, come la creatività, il pensiero critico, il problem solving, l'abilità decisionale, ma anche abilità comunicative e collaborative</p>
<p>2. Information, Media and Technology Skills</p> <p>comprendono competenze legate agli strumenti di lavoro, come la capacità nell'utilizzo delle tecnologie e nel gestire il sistema informazionale</p>
<p>3. Life and Career Skills</p> <p>competenze per "affrontare il mondo", come la flessibilità e l'adattabilità, lo spirito d'iniziativa, l'interazione sociale e culturale, produttività e senso di responsabilità, capacità di comando</p>

Sulla base di tali competenze generali si può costruire il processo di apprendimento, che può essere schematizzato con la piramide educativa come in Figura 5.



Figura 5
Piramide del sistema educativo basato sulle competenze

Le discipline di base andrebbero proposte dunque tenendo conto di queste competenze; accanto ad esse, i sistemi scolastici dovrebbero poi inserire, tra le attività educative quotidiane, anche argomenti di tipo interdisciplinare che riguardano

tematiche globali, come la cultura economica, l'educazione alla cittadinanza, alla salute e all'ambiente. Alla base del processo di insegnamento-apprendimento deve naturalmente esserci la struttura vera e propria del sistema educativo, ovvero i servizi e le attività di supporto all'apprendimento: gli standard educativi e di valutazione, i curriculum e le normative, l'indirizzamento professionale, l'ambiente educativo.

Una possibile metafora del modello di sistema educativo del XXI secolo è rappresentata dal "Learning Bicycle" (Trilling & Fadel, 2009) (vedi Figura 6).

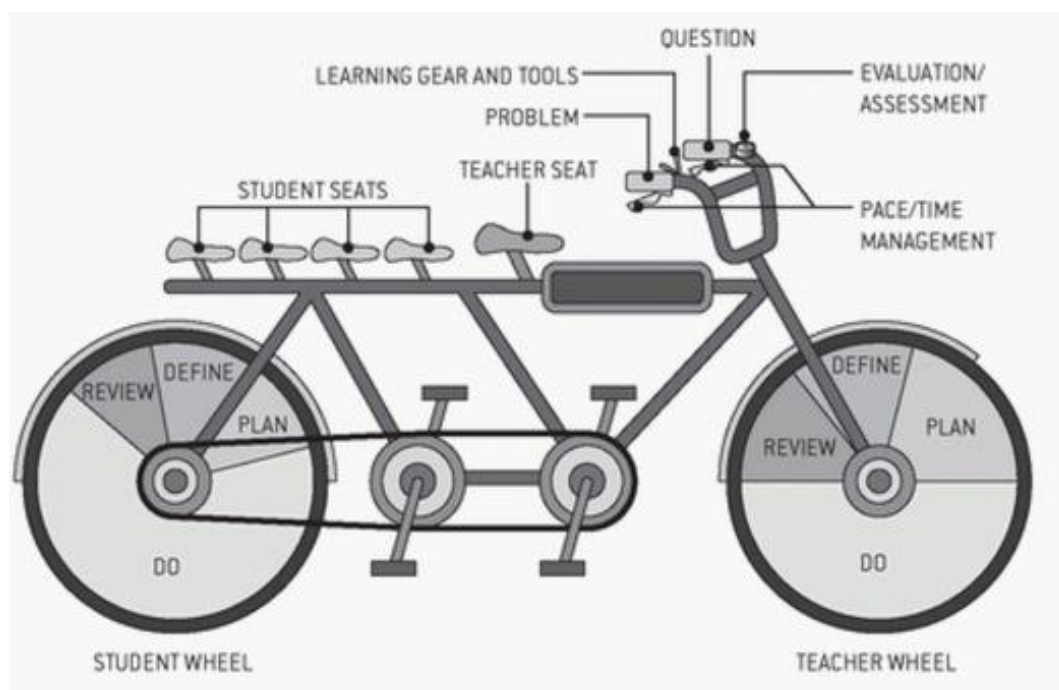


Figura 6

La metafora del "Learning Bicycle" come sistema educativo del XXI secolo¹³

Il manubrio rappresenta la conduzione del progetto, a partire sempre da un problema concreto, e dalle domande che ci si pongono riguardo ad esso. Il telaio indica la cooperazione tra studenti e insegnante durante lo sviluppo di un progetto. Le marce rappresentano gli strumenti utilizzati per il progetto, mentre le ruote rappresentano il processo continuo di progettazione, revisione e produzione, sempre connessi al "fare" (che per gli studenti è prevalente sul "pensare"). Complessivamente l'obiettivo è quello di vivere una esperienza educativa (in cui il docente "pedala" alla guida della stessa bici dei propri studenti) che affianchi la comprensione e l'acquisizione dei contenuti alla "messa in gioco" delle "21st century skills". Lo studente ha la possibilità

¹³ fonte: Trilling & Fadel, 2009, p. 102

di esprimersi e contribuire personalmente e in modo creativo al progetto (il cosiddetto “*thinking outside the box*”). In tal modo è coadiuvato anche a comprendere meglio i propri interessi, e per cosa si sente predisposto, mostrandolo anche agli altri.

In conclusione, continuare a insegnare senza tener conto dei cambiamenti nell'educazione fa rischiare di produrre quelle che, già all'inizio del secolo scorso, venivano indicate come “strutture di conoscenze inerti” (Whitehead 1916), magari funzionali a far ottenere un buon voto allo studente ma, di nessuna utilità (potremmo dire sterili) al di fuori delle mura della classe.

2 Il quadro normativo per l'insegnamento della fisica nella Scuola Secondaria italiana.

La più singolare caratteristica umana è l'attitudine ad apprendere.

L'apprendere è così profondamente insito nell'uomo, da essere quasi involontario, ed alcuni studiosi del comportamento umano hanno perfino sostenuto che la peculiarità della nostra specie è una particolare attitudine ad apprendere

(Jerome Bruner)

2.1 Il riordino del secondo ciclo di istruzione (Legge 169/2008)

Oltre che dalle teorie pedagogiche alla base del processo educativo, la pratica didattica dipende senz'altro dalla situazione normativa che regola il funzionamento della scuola. La scuola italiana ha vissuto numerose riforme, soprattutto negli ultimi anni; qui di seguito verranno sottolineati alcuni aspetti salienti delle norme vigenti in Italia che, più o meno direttamente, riguardano l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria di secondo grado.

L'attuale ordinamento del secondo ciclo di istruzione è quello stabilito dalla Legge Gelmini (Legge 30 ottobre 2008, n. 169, conversione del decreto-legge 1° settembre 2008, n. 137) che, con il D.p.R 15 marzo 2010, ne definisce il Regolamento dell'assetto ordinamentale, organizzativo e didattico dei licei, degli istituti professionali, degli istituti tecnici. In esso sono indicati l'identità, l'articolazione, i percorsi, gli indirizzi, l'orario annuale, il piano degli studi, la valutazione periodica e finale per ciascun liceo, istituto tecnico o professionale. In figura 7 è schematizzato tale nuovo impianto organizzativo.



Figura 7

*Nuovo impianto di licei, istituti tecnici e professionali*¹⁴

¹⁴ **Fonte:** http://archivio.pubblica.istruzione.it/riforma_superiori/nuovesuperiori/index.html#regolamenti

Il secondo ciclo di istruzione viene suddiviso in primo biennio, secondo biennio e quinto anno. Allo stato attuale, le ore di insegnamento di fisica sono sessantasei per ciascun anno del secondo biennio e del quinto anno per tutti i licei tranne che lo scientifico, dove sono sessantasei al primo biennio e salgono a novantanove negli anni successivi. Nei tecnici e professionali la fisica è inserita solo nel biennio, in taluni casi addirittura solo al primo anno, come riassunto nella tabella seguente.

Tabella 5

Ore annuali di fisica nella scuola italiana secondaria di secondo grado.

ORE DI FISICA annuali nel secondo ciclo di istruzione					
	primo biennio		secondo biennio		V anno
Liceo scientifico	66	66	99	99	99
Altri Licei	0	0	66	66	66
Istituti professionali	66	66	0	0	0
Istituti Tecnico-economici	66	0	0	0	0
Istituti Tecnico-tecnologici	99	99	0	0	0

Il Profilo educativo, culturale e professionale delineato per lo studente a conclusione del percorso di scuola secondaria di secondo grado, insieme alle Indicazioni Nazionali (per quanto riguarda i licei) e le Linee Guida (per gli Istituti tecnici e professionali), espresse per attuarlo, costituiscono “l’intelaiatura sulla quale le istituzioni scolastiche disegnano il proprio Piano dell’offerta formativa, i docenti costruiscono i propri percorsi didattici e gli studenti sono messi in condizione di raggiungere gli obiettivi di apprendimento e di maturare le competenze proprie dell’istruzione liceale e delle sue articolazioni”.¹⁵ Il secondo ciclo di istruzione e formazione ha come riferimento unitario il profilo educativo, culturale e professionale definito dal decreto legislativo n. 226 / 2005. Esso è finalizzato a:

¹⁵ Le più recenti Indicazioni Nazionali per i licei e le linee guida per gli istituti tecnici e professionali sono state definite nel 2010, rispettivamente nei decreti ministeriali dm 89/10, dm 87/10 (e dir 5/12), dm 88/10 (e dir 4/12).

- a) la crescita educativa, culturale e professionale dei giovani, per trasformare la molteplicità dei saperi in un sapere unitario, dotato di senso, ricco di motivazioni;
- b) lo sviluppo dell'autonoma capacità di giudizio;
- c) l'esercizio della responsabilità personale e sociale.

Il Profilo sottolinea, in continuità con il primo ciclo, la dimensione trasversale ai differenti percorsi di istruzione e di formazione frequentati dallo studente, evidenziando che le conoscenze disciplinari e interdisciplinari (il sapere) e le abilità operative apprese (il fare consapevole), nonché l'insieme delle azioni e delle relazioni interpersonali intessute (l'agire) siano la condizione per maturare le competenze che arricchiscono la personalità dello studente e lo rendono autonomo costruttore di se stesso in tutti i campi della esperienza umana, sociale e professionale. Nel secondo ciclo, gli studenti sono tenuti ad assolvere al diritto-dovere all'istruzione e alla formazione sino al conseguimento di un titolo di studio di durata quinquennale o almeno di una qualifica di durata triennale entro il diciottesimo anno di età. Allo scopo di garantire il più possibile che "nessuno resti escluso" e che "ognuno venga valorizzato", il secondo ciclo è articolato nei percorsi dell'istruzione secondaria superiore (licei, istituti tecnici, istituti professionali) e nei percorsi del sistema dell'istruzione e della formazione professionale di competenza regionale, presidiati dai livelli essenziali delle prestazioni definiti a livello nazionale. In questo ambito gli studenti completano anche l'obbligo di istruzione di cui al regolamento emanato con decreto del Ministro della pubblica istruzione 22 agosto 2007, n. 139.

Tali documenti contengono delle linee generali per ciascuna disciplina che comprendono una descrizione delle competenze attese alla fine del percorso, con gli obiettivi specifici di apprendimento articolati per nuclei disciplinari relativi a ciascun biennio e al quinto anno. All'interno delle linee generali di ogni disciplina vengono evidenziate le competenze attese e indicati gli obiettivi specifici di apprendimento che entrano in gioco nell'acquisizione di tali competenze. È stato nel contempo compiuto un decisivo passo verso il superamento della tradizionale configurazione "a canne d'organo" del secondo ciclo dell'istruzione, attraverso un puntuale raccordo con le Linee guida dell'Istruzione tecnica e professionale, che ha portato all'individuazione di alcune discipline cardine (la lingua e letteratura italiana, la lingua e cultura straniera, la matematica, la storia, le scienze). Le Indicazioni Nazionali e le Linee Guida sono state calibrate tenendo conto delle strategie suggerite nelle sedi europee ai fini della costruzione della "società della conoscenza", dei quadri di riferimento delle indagini

nazionali e internazionali e dei loro risultati, stabilendo di volta in volta le possibili connessioni interdisciplinari, elencando i nuclei fondamentali di ciascuna disciplina e cercando di intervenire sulle lacune denunciate dalle rilevazioni sugli apprendimenti nonché dalle rilevazioni sulle conoscenze in ingresso delle matricole compiute dalle Università.¹⁶ In tali documenti sono recepite pienamente le Raccomandazioni di Lisbona per l'apprendimento permanente e il Regolamento sull'obbligo di istruzione.

Il Profilo indica inoltre i risultati di apprendimento comuni all'istruzione liceale: possedere i contenuti fondamentali delle scienze fisiche e delle scienze naturali (chimica, biologia, scienze della terra, astronomia), padroneggiandone le procedure e i metodi di indagine propri, anche per potersi orientare nel campo delle scienze applicate. Essere in grado di utilizzare criticamente strumenti informatici e telematici nelle attività di studio e di approfondimento.

2.2 Le Indicazioni Nazionali per i Licei e le Linee Guida per gli Istituti Tecnici e Professionali

L'articolazione delle Indicazioni per materie di studio mira ad evidenziare come ciascuna disciplina - con i propri contenuti, le proprie procedure euristiche, il proprio linguaggio - concorra ad integrare un percorso di acquisizione di conoscenze e di competenze molteplici, nel rispetto degli statuti epistemici dei singoli domini disciplinari. Le competenze di natura metacognitiva (imparare ad apprendere), relazionale (sapere lavorare in gruppo) e attitudinale (autonomia e creatività) costituiscono un esito indiretto del processo, il cui conseguimento dipende dalla qualità del processo stesso attuato nelle istituzioni scolastiche. Tale scelta è avvalorato dalla scheda per la certificazione dell'assolvimento dell'obbligo (Decreto Ministeriale n.9, 27 gennaio 2010), in cui si chiede di esprimere una valutazione rispetto al livello raggiunto in 16 competenze di base articolate secondo i 4 assi culturali, ma non sulle competenze di cittadinanza (1. imparare ad imparare; 2. progettare; 3. comunicare; 4. collaborare e partecipare; 5. agire in modo autonomo e responsabile; 6. risolvere i problemi; 7. individuare collegamenti e relazioni; 8. acquisire ed interpretare l'informazione). Le Indicazioni non dettano alcun modello didattico-pedagogico. Ciò significa favorire la sperimentazione e lo scambio di esperienze metodologiche,

¹⁶ Si tratta delle rilevazioni competenze PISA (competenze in lettura, matematica e scienze per i quindicenni); IEA TIMSS ADVANCED (matematica e scienze all'ultimo anno delle superiori), INVALSI (prova nazionale di italiano e di matematica nell'esame di stato al termine del primo ciclo, rilevazioni degli apprendimenti in italiano e matematica in II e V primaria).

valorizzare il ruolo dei docenti e delle autonomie scolastiche nella loro libera progettazione e negare diritto di cittadinanza, in questo delicatissimo ambito, a qualunque tentativo di prescrittivismismo. La libertà del docente dunque si esplica non solo nell'arricchimento di quanto previsto nelle Indicazioni, in ragione dei percorsi che riterrà più proficuo mettere in particolare rilievo e della specificità dei singoli indirizzi liceali, ma nella scelta delle strategie e delle metodologie più appropriate, la cui validità è testimoniata non dall'applicazione di qualsivoglia procedura, ma dal successo educativo¹⁷.

Per quanto riguarda la fisica, si auspica che “al termine del percorso liceale lo studente abbia appreso i concetti fondamentali della fisica, acquisendo consapevolezza del valore culturale della disciplina e della sua evoluzione storica ed epistemologica. In particolare, lo studente avrà acquisito le seguenti competenze: osservare e identificare fenomeni; affrontare e risolvere semplici problemi di fisica usando gli strumenti matematici adeguati al suo percorso didattico; avere consapevolezza dei vari aspetti del metodo sperimentale, dove l'esperimento è inteso come interrogazione ragionata dei fenomeni naturali, analisi critica dei dati e dell'affidabilità di un processo di misura, costruzione e/o validazione di modelli; comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui vive. La libertà, la competenza e la sensibilità dell'insegnante – che valuterà di volta in volta il percorso didattico più adeguato alla singola classe e alla tipologia di Liceo all'interno della quale si trova ad operare svolgeranno un ruolo fondamentale nel trovare un raccordo con altri insegnamenti (in particolare con quelli di matematica, scienze naturali, storia e filosofia) e nel promuovere collaborazioni tra la sua Istituzione scolastica e Università, enti di ricerca, musei della scienza e mondo del lavoro, soprattutto a vantaggio degli studenti degli ultimi due anni.

Riporto di seguito il testo relativo all'insegnamento della fisica secondo le Indicazioni Nazionali:

“Secondo biennio: Si inizierà a costruire il linguaggio della fisica classica (grandezze fisiche scalari e vettoriali e unità di misura), abituando lo studente a semplificare e modellizzare situazioni reali, a risolvere problemi e ad avere consapevolezza critica del proprio operato. Al tempo stesso, anche con un approccio sperimentale, lo studente avrà chiaro il campo di indagine della disciplina ed imparerà ad esplorare fenomeni e

¹⁷ teorie%20did%20pedag/_decreto_indicazioni_nazionali.pdf

a descriverli con un linguaggio adeguato. Lo studio della meccanica riguarderà problemi relativi all'equilibrio dei corpi e dei fluidi e al moto, che sarà affrontato sia dal punto di vista cinematico che dinamico, introducendo le leggi di Newton con una discussione dei sistemi di riferimento inerziali e non inerziali e del principio di relatività di Galilei. Dall'analisi dei fenomeni meccanici, lo studente incomincerà a familiarizzare con i concetti di lavoro, energia e quantità di moto per arrivare a discutere i primi esempi di conservazione di grandezze fisiche. Lo studio della gravitazione, dalle leggi di Keplero alla sintesi newtoniana, consentirà allo studente, anche in rapporto con la storia e la filosofia, di approfondire il dibattito del XVI e XVII secolo sui sistemi cosmologici. Nello studio dei fenomeni termici, lo studente affronterà concetti di base come temperatura, quantità di calore scambiato ed equilibrio termico. Il modello del gas perfetto gli permetterà di comprendere le leggi dei gas e le loro trasformazioni. Lo studio dei principi della termodinamica lo porterà a generalizzare la legge di conservazione dell'energia e a comprendere i limiti intrinseci alle trasformazioni tra forme di energia. L'ottica geometrica permetterà di interpretare i fenomeni della riflessione e della rifrazione della luce e di analizzare le proprietà di lenti e specchi. Lo studio delle onde riguarderà le onde meccaniche, i loro parametri, i fenomeni caratteristici e si concluderà con elementi essenziali di ottica fisica. I temi indicati dovranno essere sviluppati dall'insegnante secondo modalità e con un ordine coerenti con gli strumenti concettuali e con le conoscenze matematiche in possesso degli studenti, anche in modo ricorsivo, al fine di rendere lo studente familiare con il metodo di indagine specifico della fisica.

Per il quinto anno, viene "auspicato" lo studio della fisica moderna: "Lo studio dei fenomeni elettrici e magnetici permetterà allo studente di esaminare criticamente il concetto di interazione a distanza, già incontrato con la legge di gravitazione universale, la necessità del suo superamento e dell'introduzione di interazioni mediate dal campo elettrico, del quale si darà anche una descrizione in termini di energia e potenziale, e dal campo magnetico. Lo studente completerà lo studio dell'elettromagnetismo con l'induzione elettromagnetica; un'analisi intuitiva dei rapporti fra campi elettrici e magnetici variabili lo porterà a comprendere la natura delle onde elettromagnetiche, i loro effetti e le loro applicazioni nelle varie bande di frequenza. È auspicabile che lo studente possa affrontare percorsi di fisica del XX secolo, relativi al microcosmo e/o al macrocosmo, accostando le problematiche che storicamente hanno portato ai nuovi concetti di spazio e tempo, massa e energia. Alla

professionalità del docente si deve intendere affidata la responsabilità di declinare in modo coerente alla tipologia del Liceo in cui opera, i percorsi di cui si sono indicate le tappe concettuali essenziali.”

Per quanto riguarda la dimensione sperimentale dell'insegnamento della fisica, le Indicazioni Nazionali richiamano all'uso costante del laboratorio per l'insegnamento delle discipline scientifiche e indicano che essa “potrà essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo anche a progetti di orientamento. In quest'ambito, lo studente potrà approfondire tematiche di suo interesse, accostandosi alle scoperte più recenti della fisica (per esempio nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, o nel campo della fisica delle particelle) o approfondendo i rapporti tra scienza e tecnologia (per esempio la tematica dell'energia nucleare, per acquisire i termini scientifici utili ad accostare criticamente il dibattito attuale, o dei semiconduttori, per comprendere le tecnologie più attuali anche in relazione a ricadute sul problema delle risorse energetiche, o delle micro- e nanotecnologie per lo sviluppo di nuovi materiali).”

Le Linee Guida definiscono il passaggio al nuovo ordinamento degli istituti tecnici a norma dell'articolo 8, comma 3, del regolamento emanato con decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n.88, di seguito denominato “Regolamento”. Esse recepiscono gli indirizzi dell'Ue nel richiamare la Raccomandazione del Parlamento e del Consiglio d'Europa del 18 dicembre 2006 sulle “Competenze chiave per l'apprendimento permanente” e la Raccomandazione del 23 aprile 2008 sulla costituzione del “Quadro europeo delle qualifiche per l'apprendimento permanente” (EQF); più in generale, sono in coerenza con gli impegni assunti dal nostro Paese a seguito del Consiglio di Lisbona del 2000. Nel quadro sopra delineato, il rilancio dell'istruzione tecnica si fonda sulla consapevolezza del ruolo decisivo della scuola e della cultura nella nostra società non solo per lo sviluppo della persona, ma anche per il progresso economico e sociale; richiede perciò il superamento di concezioni culturali fondate su un rapporto sequenziale tra teoria/pratica e sul primato dei saperi teorici.

I percorsi dei nuovi istituti tecnici danno, inoltre, ampio spazio alle metodologie finalizzate a sviluppare le competenze degli allievi attraverso la didattica di laboratorio e le esperienze in contesti applicativi, l'analisi e la soluzione di problemi ispirati a situazioni reali, al lavoro per progetti.

Il laboratorio è concepito, nei nuovi ordinamenti dell'istruzione tecnica, non solo come il luogo nel quale gli studenti mettono in pratica quanto hanno appreso a livello teorico attraverso la sperimentazione di protocolli standardizzati, tipici delle discipline scientifiche, ma soprattutto come una metodologia didattica innovativa, che coinvolge tutte le discipline, in quanto facilita la personalizzazione del processo di insegnamento/apprendimento che consente agli studenti di acquisire il “sapere” attraverso il “fare”, dando forza all'idea che la scuola è il posto in cui si “impara ad imparare” per tutta la vita. Tutte le discipline possono, quindi, giovare di momenti laboratoriali, in quanto tutte le aule possono diventare laboratori. Il lavoro in laboratorio e le attività ad esso connesse sono particolarmente importanti perché consentono di attivare processi didattici in cui gli allievi diventano protagonisti e superano l'atteggiamento di passività e di estraneità che caratterizza spesso il loro atteggiamento di fronte alle lezioni frontali. L'impianto generale dei nuovi ordinamenti richiede che l'attività laboratoriale venga integrata nelle discipline sulla base di progetti didattici multidisciplinari fondati “sulla comprovata capacità di usare conoscenze, abilità e capacità personali, sociali e/o metodologiche, in situazioni di lavoro o di studio e nello sviluppo professionale e/o personale”. I nuovi ordinamenti degli istituti tecnici possono offrire, quindi, occasioni per valorizzare i diversi stili cognitivi in una rinnovata relazione tra discipline teoriche ed attività di laboratorio che aiutino lo studente, attraverso un processo induttivo, a connettere il sapere acquisito in contesti applicativi al sapere astratto, basato su concetti generali e riproducibile nella più ampia generalità dei contesti. L'attività di laboratorio, condotta con un approccio operativo ai processi tecnologici, può coniugare l'attitudine degli studenti alla concretezza e all'azione con la necessità di far acquisire loro i quadri concettuali che sono indispensabile per l'interpretazione della realtà e la sua trasformazione. La didattica di laboratorio facilita l'apprendimento dello studente in quanto lo coinvolge anche dal punto di vista fisico ed emotivo nella relazione diretta e gratificante con i compagni e con il docente. I docenti, utilizzando il laboratorio, hanno la possibilità di guidare l'azione didattica per “situazioni-problema”.

Le scienze integrate (scienza della terra e biologia, chimica, fisica) e le scienze applicate (tecnologie informatiche, tecnologie e tecniche di rappresentazione grafica), così come presentate nei nuovi quadri orari degli istituti tecnici, richiedono espressamente un cambiamento del metodo di approccio nella progettazione e programmazione didattica e curricolare. Le scienze integrate non vanno intese come

una nuova disciplina, nella quale si fondono discipline diverse, ma come l'ambito di sviluppo e di applicazione di una comune metodologia di insegnamento delle scienze.

L'integrazione fra le scienze è auspicata ad ogni livello scolastico, e la sua realizzazione dipenderà dalla capacità della scuola di trasferire saperi e competenze in un progetto didattico che ne consenta una trattazione organica, forte di legami tra concetti, modelli, procedure e teorie. Ad esempio il National Science Education Standard degli U.S.A. propone come nessi interdisciplinari i concetti e i processi unificanti, atti a stabilire più solide connessioni tra le discipline scientifiche in quanto riconosciuti fondamentali e ampi, comprensibili e utilizzabili durante l'intero percorso di studi. Esempi di concetti e processi unificanti sono: sistemi, ordine e organizzazione; evidenza, modelli e spiegazione; costanza, cambiamento e misurazione; evoluzione ed equilibrio; forma e funzione. con un riferimento continuo agli interrogativi e ai problemi della vita di tutti i giorni. Gli studenti più giovani tendono a interpretare i fenomeni separatamente piuttosto che in termini di sistema; la forza, per esempio, è percepita come una proprietà di un oggetto piuttosto che il risultato di un'interazione tra corpi. Ai docenti di materie scientifiche è affidato, perciò, il compito di aiutare gli studenti a riconoscere le proprietà dei corpi, fino ad arrivare a comprendere i sistemi. Ancora, gli studenti percepiscono spesso i modelli come copie fisiche della realtà e non come rappresentazioni concettuali. Bisogna, perciò, aiutarli a comprendere che i modelli sono sviluppati e testati confrontandoli con gli eventi empirici. La valutazione potrà essere realizzata in diversi modi: recependola all'interno delle singole discipline, oppure prevedendo una valutazione interdisciplinare di "integrazione delle scienze" cui potrebbero fare riferimento anche le valutazioni di altre competenze o attività, come quelle di progetto o di stage.

2.3 La Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione (Legge 107/2015)

L'anno conclusivo di questo lavoro vede entrare in vigore la Legge 107 del 13 luglio 2015, che è una “Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti”. La Legge 107¹⁸, nel comma 1, elenca una serie di finalità, di strumenti e di modelli organizzativi tutti improntati, non solo a dare *“piena attuazione all'autonomia delle istituzioni scolastiche di cui all'art.21 della legge 15 marzo 1997 n.59 e successive modificazioni”*, quanto a definire un nuovo modello di scuola: *“una scuola aperta, quale laboratorio permanente di ricerca, sperimentazione ed innovazione didattica, una scuola orientata verso l'educazione alla cittadinanza attiva, per garantire il diritto allo studio, le pari opportunità di successo formativo e di istruzione permanente dei cittadini”*

Molto interessante, dal mio punto di vista, è il Comma 7, che parla di ***potenziamento delle metodologie laboratoriali e delle attività di Laboratorio***. In tale comma la legge individua numerosi obiettivi, che le istituzioni scolastiche, in regime di autonomia, possono inserire, selezionandoli, nel piano dell'offerta formativa, avvalendosi per questo anche di un organico potenziato di insegnanti. Naturalmente l'implementazione negli Istituti Scolastici si scontra con tutte le, innumerevoli, difficoltà di gestione: si devono individuare le priorità su cui intervenire e chiedere docenti specifici in organico per potenziare l'Offerta Formativa; si deve gestire l'apertura pomeridiana delle scuole e collocarla assieme a tante altre non meno importanti, dalla prevenzione e contrasto della dispersione scolastica, all'inclusione e al diritto allo studio degli allievi con bisogni educativi speciali, all'alternanza scuola-lavoro. Il principio di indicare le priorità dell'offerta formativa da parte del Consiglio di Istituto, anche in conseguenza del Rapporto di Valutazione interno e delle azioni di miglioramento da intraprendere con azioni educative specifiche, potendo impegnare una parte potenziata dell'organico docente e tecnico a ciò destinata e potendo anche decidere circa l'apertura pomeridiana delle scuole in funzione dei bisogni degli alunni e delle famiglie, va considerata una sostanziale innovazione di grande valore pedagogico.

¹⁸ legge 107/2015 http://www.gazzettaufficiale.it/atto/stampa/serie_generale/originario

In relazione al secondo punto, il Piano nazionale per la Scuola Digitale, si pone obiettivi di assoluta rilevanza educativa e didattica, che richiedono la collaborazione sapiente dell'Università e in particolare dei nostri Dipartimenti scientifici. Essendo il problema delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione innanzitutto sociale prima che educativo, tale Piano Nazionale ha una grande valenza trasversale, che può avere ricadute immediate e a lungo termine sull'insegnamento delle discipline scientifiche e della fisica in particolare. Esso sottolinea l'esigenza della "formazione all'innovazione didattica a tutti i livelli (iniziale, in ingresso, in servizio)" degli insegnanti. Proprio per questo importante ruolo trasversale, tale processo di realizzazione e sperimentazione di nuovi modelli formativi (che sappiano integrare abilità tecnologiche, conoscenze disciplinari, competenze didattiche) deve essere affrontato con il supporto della ricerca e di specialisti non solo di pedagogia. Il terzo punto riguarda proprio la formazione in servizio degli insegnanti, fondamentale per sviluppare le competenze attraverso un apprendimento riflessivo sulle pratiche; per assicurare e innovare la qualità del servizio scolastico attraverso un apprendimento trasformativo dell'organizzazione; per accrescere autonomia e creatività personale attraverso un apprendimento autodiretto e libero. "Nell'ambito degli adempimenti connessi alla funzione docente, *la formazione in servizio dei docenti è obbligatoria, permanente e strutturale*. Le attività formative sono definite dalle singole istituzioni scolastiche in coerenza con il piano triennale dell'offerta formativa e con i risultati emersi dai piani di miglioramento – secondo il nuovo regolamento di autovalutazione e valutazione esterna applicato per la prima volta nell'anno scolastico 2014-15 – sulla base delle priorità nazionali indicate dal Piano nazionale triennale di formazione". (Galliani, 2013)

Dobbiamo fare i conti con una arretratezza della cultura educativa nel nostro Paese nel riconoscere la centralità dell'apprendimento e dunque della didattica, rispetto ad una scuola secondaria trasmissiva di conoscenze disciplinari ormai di scarso richiamo per i ragazzi. La legge 107/2015 contiene una forte potenzialità innovativa che si pone in essere promuovendo la realizzazione dell'autonomia scolastica, basata sulla progettualità dei singoli istituti in base alla modifica sostanziale del POF – Piano dell'Offerta Formativa, attualmente in vigore, deliberato da ogni istituzione scolastica, che contiene anche la programmazione delle attività formative rivolte al personale docente e amministrativo, tecnico e ausiliario (ATA) nonché la definizione delle risorse occorrenti.

Il Piano Nazionale per la Scuola Digitale è una emanazione della Legge 107, che potenzia gli strumenti tecnologici, gli spazi e gli ambienti di apprendimento, la costruzione di competenze digitali per gli studenti e la produzione di contenuti, la formazione del personale docente e amministrativo; in esso è detto: “La Buona Scuola sancisce la necessità di riportare al centro la **didattica laboratoriale**, come punto d’incontro essenziale tra sapere e saper fare, tra lo studente e il suo territorio di riferimento. I laboratori devono essere ripensati come luoghi di innovazione e di creatività, invece che meri contenitori di tecnologia, rendendo ordinamentali quelle pratiche laboratoriali innovative che ancora oggi, troppo spesso, sono relegate all’ambito extracurricolare. L’investimento nei laboratori non ambisce a riportare una didattica per problemi e progetti fuori dalla classe. Al contrario, in un quadro di nuovi paradigmi educativi, vuole rafforzarla, integrando ciò che avviene in classe abilitando spazi che abbiano un forte orientamento alla creatività per gli studenti più giovani, e verso progettualità innovative che sfruttino le tecnologie digitali per rendere gli indirizzi professionalizzanti e caratterizzanti delle scuole secondarie più interessanti e maggiormente aderenti alle richieste del mondo esterno, per gli studenti più grandi. Scopo è rendere ordinamentali quelle pratiche laboratoriali innovative che ancora oggi, troppo spesso, sono relegate all’ambito extracurricolare.

In particolare il Piano Digitale contribuisce a consolidare l’idea di scuola come interfaccia aperta al territorio, e di educazione come percorso continuo, lungo l’arco della vita dello studente, e in ampiezza, in tutti gli spazi del territorio adeguati ad una didattica innovativa. È nei laboratori dove infatti questo incontro può diventare più semplice, e può permettere di costruire obiettivi didattici ambiziosi. In linea con le premesse di questo Piano, gli investimenti sono organizzati in 4 interventi tra cui: La creazione di “atelier creativi e laboratori per le competenze chiave” per gli Istituti comprensivi e le scuole del primo ciclo, Laboratori “School-friendly”. La mappatura, l’accreditamento e la promozione di laboratori aperti alle scuole o disponibili all’apertura alle scuole presenti nel territorio, presso musei, enti di ricerca, parchi tecnologici, fondazioni, associazioni e altri spazi che implicano insiemi di pratiche emergenti ma ormai riconosciuti dalla collettività – come ad esempio i Fab Lab). Anche in sinergia con le proprie politiche, gli enti locali potranno agire come “certificatori” dei laboratori sul proprio territorio, formalizzare la loro disponibilità e sviluppare insieme al Ministero politiche per il monitoraggio delle attività condotte. Il MIUR promuoverà l’utilizzo di tali laboratori da parte delle scuole, anche in sinergia

con iniziative del Piano Nazionale Scuola Digitale.¹⁹ In riferimento all'utilizzo delle tecnologie e degli ambienti laboratoriali, tutte le azioni saranno accompagnate da misure dedicate alla formazione del personale scolastico, con risorse a valere sia su fondi nazionale che su fondi strutturali europei.

Il livello di ogni singola Istituzione scolastica, la realizzazione di politiche per l'attuazione di questo Piano, condivise con i docenti e indirizzate a tutta la comunità scolastica, sarà prima di tutto legata all'inserimento e alla programmazione di azioni all'interno del piano triennale per l'offerta formativa (legge 107/2015, art. 1, comma 57). Questo richiederà la formazione e l'accompagnamento di differenti profili in grado di collaborare efficacemente all'interno e relazionarsi all'esterno come team per l'innovazione.

In concreto, si tratta di individuare, all'interno dell'attuale quadro normativo, azioni che possano realizzare: la piena valorizzazione dell'autonomia scolastica, con una riflessione progettuale fatta all'interno delle scuole II grado, in funzione della caratterizzazione che la scuola si vuole dare e del suo rapporto con il territorio; un insegnamento delle materie scientifiche che sfrutti il principio di opzionalità per un approfondimento mirato delle aree disciplinari. In tale scenario di autonomia riconosciuta agli istituti scolastici e di ricerca di strategie efficaci per l'insegnamento della fisica, ha molta importanza l'individuazione di esperienze pilota. (Rocca 2010 20)

Quali mutamenti possono essere visti come possibili e auspicabili e quali invece presentano problematicità tali da richiedere un ripensamento nella formazione iniziale e in servizio ma anche nelle forme organizzative della scuola? Quali traiettorie potrebbero diventare oggetto di sinergia tra ministero, Università, enti formativi vari e scuole? Le intenzioni del legislatore sono senz'altro costruttive e condivisibili: ma è inevitabile sottolineare quello che definisce "gap tra il fare politica e fare scuola" (Bottani, 2006).

¹⁹ http://www.istruzione.it/scuola_digitale/progetti.shtml

²⁰ Comitato per lo sviluppo della cultura scientifica e tecnologica MIUR – 52° Congresso Aif "Riforma della scuola, cosa cambia e come cambia?"

2.4 Il nuovo esame di Stato per il Liceo Scientifico

Una grossa novità per l'insegnamento della fisica è stata introdotta dal D.M. n. 10 del 29/01/2015²¹ che prevede, oltre alla disciplina Matematica, la disciplina Fisica come possibile scelta per la seconda prova scritta dell'esame di Stato conclusivo del percorso di tutti gli indirizzi ed opzioni del liceo scientifico (e di Scienze per gli indirizzi tecnologici). "L'Esame di Stato, che si svolge al termine del primo e del secondo ciclo di istruzione, è un traguardo fondamentale del percorso scolastico dello studente ed è finalizzato a valutare le competenze acquisite dagli studenti al termine del ciclo"²². Tale novità dell'alternanza tra Fisica e Matematica nella seconda prova dell'Esame di Stato dà dunque una nuova e importante opportunità di potenziare l'insegnamento della fisica ed anche di modificarne la modalità, poiché la nuova prova è costruita sulla didattica per competenze. Questa innovazione sta creando non poche preoccupazioni e disorientamento e tra gli insegnanti di Matematica e Fisica tanto che è all'ordine del giorno sui media il dibattito su tale argomento, al punto che sono state attivate petizioni collettive, lettere inviate al MIUR da parte di associazioni, interventi in rete, che stanno sottolineando le criticità ad esso relative. Il passaggio alla nuova prova presuppone infatti una modalità di insegnamento alla quale non tutti sono pronti, e certamente ci vorrà del tempo affinché i nostri studenti possano arrivare preparati ad affrontare una prova così diversa dal passato. Sembrerebbe, a sentire i dibattiti e le proteste, che questa novità abbia portato allo scoperto una problematica evidentemente presente nell'insegnamento della fisica al liceo. Il 2017 potrebbe essere l'anno buono per l'effettiva messa in atto di tale duplice cambiamento: uno legato alla materia ed uno alla tipologia di prova, basata su una didattica per competenze piuttosto che sulle conoscenze. A parere di molti studenti, che hanno già avuto modo di cimentarsi sulle simulazioni proposte dal Ministero (e di molti loro docenti) sono state ritenute non congrue alla loro preparazione. "Da secondo anno di ingegneria" scrivono in questo inizio 2017, alla vigilia della decisione su quale sarà la materia d'esame di quest'anno, su un quotidiano (il Tirreno) gli studenti del Liceo di Pontedera, dando un parere che è rappresentativo di molti diplomandi nel nostro paese. Il motivo delle contestazioni di docenti e studenti – si legge nel documento diffuso dal quotidiano – "non risiede tanto nel fatto che la materia d'esame sia fisica, anziché matematica, quanto nella quasi

²¹ pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24/02/2015

²² <http://www.istruzione.it/>

certezza che il Ministero proponga una prova non commisurata al programma svolto nelle classi.” Dal loro canto gli insegnanti richiedono corsi di formazione ad hoc.

Tale discussione ed anche la fisiologica resistenza verso un cambiamento mi pare che evidenzi come ancora la pratica scolastica (per l’insegnamento della fisica in particolare) sia lontana dall’attuazione da quella didattica per competenze di cui abbiamo parlato e verso la quale è spinta la scuola. A mio avviso, la didattica per competenze è invece del tutto connaturata ad un corretto processo di insegnamento-apprendimento della fisica. Cosa è il tanto proclamato modo di insegnare matematica per realtà se non “fare” fisica? Di certo le ore di insegnamento di fisica sono poche ovunque, ed anche allo scientifico sono molto meno che per la matematica (3 ore settimanali al triennio e solo 2 al biennio, di contro alle 5 ore al biennio e 4 al triennio per matematica). Ritengo, a tale proposito, che attuare una didattica pluridisciplinare, anzi quella transdisciplinarietà “ambasciatrice di una nuova “democrazia della conoscenza” (Morin 1996), sia quanto mai necessario e decisivo per superare la limitatezza del monte ore di ogni singola disciplina. Il discorso resta comunque complesso ed aperto, e preparare gli studenti alle cosiddette “prove esperte” è cosa non banale e costituisce un punto di arrivo di un processo virtuoso di apprendimento che evidentemente non è ancora diffuso. Di ciò appare consapevole il Ministero, che sta effettuando, accanto a prove simulate nelle scuole, dei seminari regionali per i docenti su tale tema. Per esplicitare le misure di accompagnamento all’applicazione delle Indicazioni Nazionali per i Licei Scientifici (DPR 89/2010), anche sui dati emersi dalla consultazione nazionale sul curriculum del V anno di Fisica nei Licei Scientifici (nota prot. 7015 del 17/11/2014), la Direzione Generale del MIUR ha poi affidato ad esperti del settore²³ l’elaborazione di un Quadro di Riferimento relativo alla seconda prova scritta dell’esame di Stato di Fisica per i Licei Scientifici. Si è reso dunque necessario stendere questo documento esplicativo, di contenuto non prescrittivo, che possa fornire alle scuole un valido orientamento per la preparazione degli studenti all’esame di Stato. In corrispondenza di ciascun contenuto previsto dalle Indicazioni Nazionali per il V anno, il documento esplicita le abilità e le competenze disciplinari attese e che costituiranno base di riferimento nell’elaborazione della prova d’esame. Parallelamente si stanno svolgendo dei seminari regionali e dei tavoli nazionali per e con gli insegnanti per diffondere e seguire l’introduzione della nuova seconda prova scritta all’esame di

²³ In Materiale supplementare S 1 riporto una mini intervista al dirigente Tecnico della Direzione Generale del MIUR Massimo Esposito (tra i firmatari del Quadro di Riferimento) su tale argomento.

stato nei licei scientifici. E' opinione condivisa, anche dalla Commissione Italiana per l'Insegnamento della Matematica dell'Unione Matematica Italiana (CIIM), che una prova di Fisica ben concepita e strutturata possa essere un valido strumento per valutare la maturità dei candidati all'Esame di Stato, non solo per quanto riguarda le loro conoscenze e competenze in Fisica, ma anche nel padroneggiare i relativi e indispensabili strumenti matematici²⁴. E anche ormai condivisa la necessità, tesa a certificare non solo le conoscenze ma, soprattutto, le competenze acquisite dagli studenti, di formulare prove tese alla risoluzione di problemi, strutturate in quesiti che siano quanto più possibile indipendenti fra loro. La stessa CIIMS ha in questi giorni scritto un documento in cui sottolinea come a molti insegnanti queste prove appaiano non in linea con i livelli di apprendimento che oggi si registrano mediamente nei licei italiani. Le simulazioni appaiono calibrate per verificare solo i livelli di competenza alti, senza quella gradualità di complessità necessaria per certificare competenze (e conoscenze) ai diversi livelli– in contrasto con i diversi documenti del MIUR sulle modalità di valutazione delle competenze –, e possono quindi provocare seri problemi di valutazione ai docenti che faranno parte delle commissioni d'esame. Da taluni²⁵ tale documento è visto come una vera e propria cancellazione dei principi delle Indicazioni Nazionali (artt. 4 e 8 D.P.R. 275/99 e art.10 del D.P.R. n.89/2010)

Viene chiesto dunque di formare una commissione mista e di discutere ancora sulla prova d'esame.²⁶

2.5 Le "Iniziative per la diffusione della cultura scientifica" (Legge 6/2000)

Alla fine degli anni Ottanta il Ministro per l'Università e la Ricerca Scientifica e Tecnologica promuove una legge per la diffusione della cultura scientifica, la 113/1991, che a tutt'oggi è l'unica legge che, pur nella limitatezza del finanziamento, sostiene iniziative temporanee e permanenti di comunicazione della scienza. Essa appoggia la nascita di nuove strutture e, anche attraverso l'istituzione della Settimana della Cultura Scientifica, promuove e sostiene innumerevoli attività in ogni parte della nazione, partendo dalle manifestazioni scientifiche promossa dagli istituti scolastici, ai convegni nelle sedi storiche della cultura italiana, fino ai laboratori di educazione informale. (Rodari 2007). Tale legge, ritengo meriti di essere evidenziata perché, ad

²⁴ <http://maddmaths.simai.eu/news-2/la-ciim-dice-la-sua-sulla-seconda-prova-dellesame-di-stato/>

²⁵ <http://www.mathesisnazionale.it/archivioargomenti/La%20Direzione%20Generale%20ha%20deciso.pdf>
²⁶ prot. n.13577 del 15 dicembre 2015 http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/istruzione/ricerca-notizie/-/ricercaNews/2015/12?_visualizzazione_news_anno_mese_miur_d-49520-p=2

oggi, è uno dei pochi strumenti finanziari attraverso i quali si è reso possibile, per Università ed enti, creare e sostenere iniziative simili a quella della mostra universitaria “DivertiEsperimenti”. Di come tale legge abbia consentito una reale diffusione della cultura scientifica in Italia e di come anche noi abbiamo provato ad utilizzare tale possibilità normativa parlerò più dettagliatamente di seguito, nei paragrafi 4.3 e 4.4.

3 La dimensione sperimentale nell'insegnamento della fisica

“Coloro che trattarono le scienze furono o empirici o dogmatici. Gli empirici, come le formiche, accumulano e consumano. I razionalisti, come i ragni, ricavano da sé medesimi la loro tela. La via di mezzo è quella delle api, che ricavano la materia prima dai fiori dei giardini o dei campi, e la trasformano e la digeriscono in virtù di una loro propria capacità. Non dissimile è il lavoro della vera filosofia, che non si deve servire soltanto o principalmente delle forze della mente; la materia prima che essa ricava dalla storia naturale e dagli esperimenti meccanici, non deve esser conservata intatta nella memoria, ma trasformata e lavorata dall'intelletto. Così la nostra speranza è riposta nell'unione sempre più stretta e più santa delle due facoltà, quella sperimentale e quella razionale, unione che non si è finora realizzata.

(Francis Bacon, Nuovo Organo)

3.1 Il superamento della dicotomia fra teoria e pratica

Tra le difficoltà di insegnare scienze senz'altro pesa la dicotomia culturale tra le tradizioni "matematiche" classiche e quelle "sperimentali", che ha permeato la storia della scienza senza che mai, sembrerebbe, i due approcci convergessero del tutto (Cerreta 2015). Sembra infatti ancora non del tutto superato il retaggio aristotelico che afferma la superiorità delle scienze "matematiche" su quelle empiriche (fino all'800 illustri scienziati non vennero riconosciuti dal mondo accademico perché sperimentali). Tale dicotomia sembra risiedere nella fisica più che in ogni altra disciplina: "La fisica teorica e quella sperimentale appaiono attività così diverse che oggi nessuno può sperare di raggiungere l'eccellenza in entrambe. Nessuna dicotomia tra l'esperimento e la teoria ha caratterizzato campi come la chimica e la biologia nei quali la teoria è meno intrinsecamente matematizzata. Forse per questo la spaccatura tra scienze sperimentali e matematiche ancora resiste, radicata nella natura della mente umana." (Khun, 1985).

La sfida che la scuola vuole raccogliere è proprio quella di cercare di raccordare speculazione ed esperimento, costruendo saperi anche teorici passando attraverso quello che Bacon chiama "torcere la coda al leone": se si vuole scoprire il mondo bisogna anche manipolarlo, costringendolo a rivelarsi. L'intelligenza umana per comprendere la natura e progredire necessita di strumenti efficaci per intervenire sulla realtà, oggetto della conoscenza: questi strumenti sono proprio gli esperimenti. L'intellettuale Baconiano deve attingere al reale, ma deve elaborare le informazioni attraverso l'intervento del suo intelletto per creare qualcosa di nuovo facendo come le api che raccolgono il nettare dai fiori per creare una sostanza nuova (il miele), frutto del loro lavoro (a differenza delle formiche, che incessantemente raccolgono cibo per trascorrere l'inverno -come gli empirici che osservano la realtà circostante per raccogliere dati- e dei ragni che creano la ragnatela e con essa aspettano di raccoglierne i frutti -come i razionalisti, che partono non dall'osservazione, ma da ciò che produce l'intelletto per descrivere la realtà-) (Bacon, 1620).

3.2 La didattica laboratoriale

Per quanto riguarda la fisica, permane la tendenza ad insegnare in maniera “letteraria”, a “raccontare la fisica” più che a sperimentarla con i ragazzi. Certamente, per molti docenti risulta più agevole e semplice, sia per la loro formazione che per l’impegno che richiede l’organizzazione di materiali e percorsi sperimentali efficaci. Ma in tal modo i discenti apprendono meccanicamente, spesso dal solo testo, senza essere guidati a cogliere l’essenza del pensiero scientifico, né a saper trasformare in competenze le conoscenze apprese.

Troppo spesso la fisica “è vissuta allora come una disciplina che parla di cose che non esistono (il punto materiale, il gas perfetto ecc.), mediante leggi difficili, che non si sa quando usare. La bellezza, l’utilità e il vasto impiego della disciplina non emergono nei corsi di fisica” (Michellini, 2002).

Le direttive educative in Italia, recependo le indicazioni della Comunità Europea, auspicano una modalità interattiva di insegnare le scienze ed in particolare la fisica, che coinvolga in prima persona chi si accinge ad apprendere.

In particolare, le Indicazioni Nazionali per il profilo culturale, educativo e professionale dei Licei recitano: “i percorsi liceali forniscono allo studente gli strumenti culturali e metodologici per una comprensione approfondita della realtà, affinché egli si ponga, con atteggiamento razionale, creativo, progettuale e critico, di fronte alle situazioni, ai fenomeni e ai problemi, ed acquisisca conoscenze, abilità e competenze”²⁷.

Per raggiungere questi risultati occorre la piena valorizzazione di tutti gli aspetti del lavoro scolastico:

- lo studio delle discipline in una prospettiva sistematica, storica e critica;
- la pratica dei metodi di indagine propri dei diversi ambiti disciplinari;
- l’esercizio di lettura, analisi, traduzione di testi letterari, filosofici, storici, scientifici, saggistici e di interpretazione di opere d’arte;
- *l’uso costante del laboratorio per l’insegnamento delle discipline scientifiche;*
- la pratica dell’argomentazione e del confronto;
- la cura di una modalità espositiva scritta e orale corretta, pertinente, efficace e personale;

²⁷ Art. 2 comma 2 del regolamento recante “Revisione dell’assetto ordinamentale, organizzativo e didattico dei licei”

- l'uso degli strumenti multimediali a supporto dello studio e della ricerca.

Abbiamo già sottolineato che la nuova legge di riforma scolastica, la 107 del 2015, ha la didattica laboratoriale come elemento centrale: essa è indirizzata a “realizzare una scuola aperta, quale laboratorio permanente di ricerca, sperimentazione e innovazione didattica”. Nell’attuazione del regime dell’autonomia la metodologia dei laboratori può diventare uno strumento di base di una scuola; essa va organizzata (con scelte didattico-educative conseguenti l’analisi delle esigenze formative dell’utenza) sfruttando al meglio le risorse sia interne che esterne previste dalla normativa; il sistema può mettere a disposizione spazi, materiali, attrezzature, metodologie, esperti ecc. ma non può prescindere da una competenza specifica del docente.

Pur tuttavia, se analizziamo la pratica, la metodologia dei laboratori non risulta essere ancora una modalità di lavoro sufficientemente diffusa nella scuola italiana: notiamo che, con il procedere della scolarità e delle conoscenze, il gioco di scoperta e immaginazione che molti insegnanti delle scuole dell’obbligo propongono - soprattutto nelle scuole elementari, cede il passo ad una carenza di laboratori, che quando esistono sono quasi solamente laboratori di addestramento e di verifica, intesi letteralmente allo scopo di convincere gli studenti che la teoria corrisponde alla realtà sperimentale.

Ma vediamo cosa intendiamo per “laboratorio”: il laboratorio, possiamo dire, dovrebbe essere "un'officina di metodo", dove non è possibile offrire apprendimenti preconfezionati, dove si progettano e sperimentano i progetti didattici a base interdisciplinare, dove, si ricercano e ritrovano le motivazioni infantili e adolescenziali depauperate dai media. Nel laboratorio si privilegia l'aspetto euristico (Frabboni, 2004). In laboratorio l'esperienza individuale dovrebbe essere alla base di una ricostruzione culturale: le teorie assumono significato in quanto servono per rispondere ai perché, diventando significative e motivanti.

Una didattica siffatta è basata sulla relazione educativa, sulla motivazione, sulla curiosità, sulla partecipazione, sulla problematizzazione; sull'apprendimento personalizzato e sull'uso degli stili cognitivi e della metacognizione; sul metodo della ricerca; sulla socializzazione e sulla solidarietà. I riferimenti teorici di tale modalità di insegnamento sono ancora una volta l'interconnessione tra apprendere e fare (J. Dewey 1938); l'inseparabilità tra riflessione, linguaggio e azione (J. B. Bruner 1969); l'elaborazione delle conoscenze, l'imparare ad imparare nel laboratorio quale sede

privilegiata per la scoperta, l'osservazione, la ricerca-azione intorno ai fatti culturali (F. Frabboni 2004); l'integrazione delle opportunità offerte dalla scuola con quelle offerte dal mondo esterno, possiamo dire fra formale ed informale.

La storia della didattica della fisica sperimentale moderna ha come pietra miliare il progetto PSSC (Physical Science Study Committee), Comitato formato nel 1957 negli Stati Uniti da circa 60 tra i più eccellenti fisici teorici, ricercatori, esperti di problemi didattici, insegnanti di fisica dell'epoca, che ha lavorato per circa un anno per produrre un corso di fisica per le scuole secondarie superiori. Lo scopo era fornire materiali completi che facessero conoscere agli studenti le idee fondamentali della fisica classica e moderna e desse loro le conoscenze fisiche indispensabile nella cultura di un uomo "moderno". Tale opera, oltre che voler fornire una summa di argomenti e contenuti, ha affermato per sempre la necessità di un cambiamento profondo nell'insegnamento della fisica nelle scuole secondarie: la necessità di fare sperimentazioni. Assieme al libro di testo, furono resi disponibili una guida per gli insegnanti, molti filmati, test standardizzati per la verifica, e soprattutto istruzioni per la costruzione di apparati sperimentali con materiali poveri, progettati dal PSSC stesso²⁸.

Un uso diffuso del laboratorio serve per investigare il quotidiano, per porre problemi, per progettare nuovi esperimenti, per giocare con le regole della ricerca o per ripercorrere esperimenti storici, costituendo così uno dei perni intorno al quale ruotano le scienze moderne. Le scienze naturali non a caso vengono spesso chiamate "scienze sperimentali" per ricordare, anche nel nome, che l'osservazione, gli esperimenti, il laboratorio sono strumenti essenziali per la loro costruzione.

Sul peso rilevante nella ricerca scientifica dei modelli e delle teorie rispetto all'osservazione e all'esperimento c'è dunque tuttora un grande dibattito fra gli scienziati. Ma si può accettare la tesi che se i modelli e le teorie forniscono un'organizzazione dei fenomeni in un sistema logico coerente, gli esperimenti e il laboratorio forniscono strumenti essenziali per costruire la conoscenza scientifica.

L'intelligenza, sappiamo, non è solo cognitiva; la componente di manualità con quella di immaginazione costruttiva che accompagna gli esperimenti sono in grado di far emergere competenze che spesso nella scuola non vengono sviluppate. Gli esperimenti e il laboratorio contribuiscono, dunque, a costruire una immagine più

²⁸ Zanichelli scuola 1963

critica e al tempo stesso più corretta della scienza attuale, che non è dogmatica e noiosa ma è “creativa” e coinvolgente.

Gli esperimenti, non solo raccontati ma anche ‘agiti’ (Goldstein 1979, Swezey 1973, Walker 1975, Zanetti 1980), permettono di risolvere due problemi in una volta: da una parte contribuiscono infatti a costruire un’immagine più critica e al tempo stesso più corretta della scienza attuale, mentre dall’altra contribuiscono a rinnovare l’istituzione educativa, e a farne un luogo in cui si confrontano le conoscenze, anche acquisite altrove, oltre a costruirne di nuove.

L’apprendimento delle scienze deve integrare le conoscenze teoriche con le applicazioni a casi concreti delle stesse (“*knowing and doing*”): il coinvolgimento in attività pratiche consente infatti di sviluppare una comprensione concettuale in maniera molto più efficace rispetto ad una didattica basata sulla memorizzazione delle nozioni (Clark, 2006; Driver et al., 1996, NAP 2015). Nell’insegnamento delle scienze deve entrare l’approccio *learning by doing* e *learning by experience*, abilitato dal laboratorio e dalle tecnologie digitali, al posto di quello passivo e nozionistico.

Il laboratorio quindi dovrebbe essere diffuso durante tutta l’attività di insegnamento. Ma ciò non basta, bisogna evitare che il laboratorio diventi un’attività di routine, incapace di produrre domande, vere competenze e abilità. (Mayer 1989; Vicentini e Mayer 1996).

Bisogna dunque chiedersi quando un laboratorio risulta significativo e quando invece diventa solo un’attività di routine, che nulla aggiunge all’apprendimento. Di certo non ha molto senso utilizzare il laboratorio esclusivamente come mera verifica di leggi già presentate. Vi sono infatti molteplici altre tipologie di laboratori didattici proponibili come schematizzato in Tabella 6.

Tabella 6

Principali tipologie di laboratorio didattico
Laboratorio Povero (con le cose di tutti i giorni)
Laboratorio con Kit di pronto utilizzo
Laboratori “Hands on” (con Exhibits, apparecchiature interattive)
Laboratori storico (con collezioni di strumenti museali)
Laboratorio multimediale: 1) simulazioni (Interactive physics) ; 2), video
Laboratorio di robotica educativa
laboratorio di misure – (con teoria e calcolo degli errori di misura)
Laboratori di ricerca (Apparecchiature scientifiche)

L'ordine scelto in tabella è indicativamente crescente in base alla complessità media di strumenti ed attrezzature utilizzate. Benché un esperimento "ex cathedra" permetta comunque di isolare un fenomeno dalla molteplicità di fenomeni che lo circonda e per indicarne gli elementi problematici e caratteristici, ritengo molto più significativi gli esperimenti che identificano il problema da affrontare. Ad esempio, un corpo che cade è un dato di fatto, non un problema: diventa un fenomeno da studiare solo all'interno di un contesto di conoscenze che li identifica come interessanti e/o problematici (Joshua e Dupin, 1993). Gli esperimenti interattivi poi, più o meno guidati dal docente e svolti dagli allievi, possono costituire un'esperienza di scoperta, per "imparare giocando"; si può inoltre richiedere di fare osservazioni ("cosa succede se..."), e anche previsioni e controllo dei risultati. Una modalità sperimentale di tale natura, che attiva particolarmente la partecipazione diretta²⁹, è quella cosiddetta *hands-on* (Cerreta, 2005), ossia che fa passare l'osservazione attraverso la manipolazione diretta del fenomeno stesso con *materiali poveri*, appositi *kit didattici*³⁰ o anche artefatti (*exhibits*³¹) che lo rappresentano.

Sicuramente è costruttivo anche proporre laboratori progettuali, nel quale i ragazzi stessi possono passare a ritroso dalla formalizzazione dei concetti e delle idee al progettare le esperienze basate su tali concetti invertendo il "se faccio capisco" al "se capisco, faccio". In laboratorio si possono poi anche riproporre degli esperimenti storici, per capire meglio il nesso della pratica empirica con la teoria e i procedimenti euristici del passato.

Per comprendere meglio lo spirito dello scienziato e per sviluppare capacità di astrazione è utile poi sviluppare esperimenti mentali, che le nuove tecnologie rendono possibile anche grazie ad un laboratorio virtuale, con la possibilità di simulazioni o anche "soltanto" di utilizzare l'enorme disponibilità di risorse, soprattutto video, con esperimenti già svolti. La possibilità di effettuare esperimenti con la *Robotica educativa*³² riserva poi un'ampia gamma di possibilità didattiche creative e divertenti.

Le tipologie di laboratorio che si possono proporre durante la didattica della fisica

²⁹ UNESCO (Compiled by)700 science Experiments for everyone Foreword by Gerald Wendt -UNESCO SOURCE BOOK FOR SCIENCE TEACHING Doubleday 1956, 1962 (USA)

³⁰Tale modalità è alla base del progetto "Nuove idee per la didattica laboratoriale" cui il Dipartimento partecipa come partner; Ernesta De Masi, <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/>

³¹ Tale modalità è alla base della mostra interattiva DivertiEsperimenti del Dipartimento di Fisica "Caianiello" dell'Università di Salerno

³² L'idea di far gestire i computer ai ragazzi, fornendo loro oggetti che potessero manipolare facilmente e con i quali sperimentare, è nata al Massachusetts Institute of Technology (MIT). Computer e Software, motori, telaio e sensori sono racchiusi in piccoli e maneggevoli oggetti didattici.

possono essere dunque diverse, a seconda delle modalità, degli strumenti e delle finalità con cui si propongono.

Durante le sperimentazioni svolte nel presente lavoro sono state utilizzate tutte tali modalità: alcune solo marginalmente (come gli esperimenti storici e la robotica); altre, come il laboratorio multimediale e quello di misure, in taluni casi significativi, mentre il laboratorio interattivo, fatto di materiali poveri e soprattutto hands on, è stato alla base delle attività proposte. Come anticipato e come descriverò meglio in seguito, i laboratori di ricerca universitari sono stati poi il valore aggiunto a molte delle sperimentazioni fatte con le scuole. Accanto al tipo di “laboratorio” utilizzato, la metodologia usata nella ricerca è stata prevalentemente di tipo IBSE (che può essere definito come un processo di scoperta dove ogni allievo formula ipotesi, conduce esperimenti e fa osservazioni); ad essa dedicherò dunque un paragrafo in seguito.

Il laboratorio, possiamo dire in definitiva, è “l’opportunità della quale la scuola deve avvalersi per tornare alla realtà e ai suoi problemi” (De Bartolomeis, 1978).

3.3 Apprendimento formale e informale: una scuola che si apre al mondo

La società, oggi, offre innumerevoli fonti di informazione e di scambio, alle quali può accedere oramai la grande maggioranza delle persone. La varietà delle occasioni e delle offerte formative costruiscono quello che è stato definito un *ecosistema dell'apprendimento*. In tale nuovo contesto sociale, è indubbio che anche l'apprendimento detto non formale (organizzato, intenzionale, ma non curricolare) e quello informale (casuale e non intenzionale) sono diventati elementi fondamentali, talvolta prevalenti, nella formazione dell'individuo. Apprendimento non formale e informale vengono definiti di solito per contrapposizione alla didattica tradizionale, nella quale l'insegnante ha il ruolo di fornire informazioni e conoscenze allo studente, prescrivere compiti di studio e di esercitazione, ovvero la cosiddetta "didattica trasmissiva" (Houle, 1980, Smith, 2003) ³³. In Tabella 7 sono schematizzate le principali caratteristiche dell'apprendimento formale ed informale.

Tabella 7
Caratteristiche delle modalità di apprendimento informale e formale
(J. Wellington, 1990)

Informale	Formale
Volontario	Obbligatorio
Casuale, non strutturato, non sequenziale	Strutturato e sequenziale
Non valutato e non certificato	Valutato e certificato
Senza restrizioni di tempo	Delimitato
Guidato da chi apprende	Guidato da chi insegna
Centrato su chi apprende	Centrato su chi insegna
Extrascolastico	Basato sulla classe e sul tipo di scuola
Non programmato	Programmato
Molti risultati non previsti (risultati più difficili da valutare)	Pochi risultati non previsti
Aspetto sociale centrale (ad es.: apprendimento cooperativo)	Aspetto sociale marginale
Non diretto e senza legislazione	Istituzionalizzato e diretto (controllato)

³³ <http://www.wilderdom.com/experiential/ExperientialLearningWhatIs.html>

Già dagli anni '90, accanto all'apprendimento formale, la modalità informale assume una valenza educativa dichiarata. Le due modalità vengono rappresentate in maniera schematica, semplificando le sfumature intermedie esistenti nella realtà, e in tal modo appaiono l'una in contrapposizione dell'altra: tale definizione esprime chiaramente il contrasto dei metodi educativi praticati nella nostra società. Tra le competenze da potenziare, raccordate con quelle stabilite a livello europeo, è chiaro dunque che ha priorità il “potenziamento delle metodologie laboratoriali e delle attività di laboratorio”.

Attualmente si parla anche di un apprendimento non formale quale stadio intermedio. Secondo la terminologia VET “Terminology of European education and training policy”³⁴ possiamo dare infatti le seguenti definizioni:

Tabella 8

Apprendimento formale, non formale, informale

<p><i>Apprendimento formale</i></p> <p>Si intendono quei processi educativi attivati in un contesto organizzato e strutturato (scuola, Università, istituti di formazione accademica e post-scolare), esplicitamente progettati e i cui esiti, ottenuti attraverso un percorso curricolare, siano misurabili e possano dunque essere in qualche modo certificati. Tale modalità di apprendimento è dunque intenzionale dal punto di vista del discente e di norma sfocia in una convalida e/o in una certificazione.</p>
<p><i>Apprendimento non formale</i></p> <p>Anche denominato “apprendimento semi-strutturato”, si intende quello collegato ad attività che, seppure formalizzate e definite (ambienti di lavoro, musei ecc.), non sono esplicitamente progettate per il raggiungimento di specifici obiettivi di apprendimento. L'apprendimento non formale è intenzionale e teso a migliorare l'esercizio di precise attività e l'acquisizione di competenze specifiche; il sapere che viene acquisito è prevalentemente</p>

³⁴ Fonte Glossario della terminologia VET “Terminology of European education and training policy” - Official Publications of the European Communities”, CEDEFOP (Centro Europeo per lo Sviluppo della Formazione Professionale) 2008]

volto all'agire pratico e dà luogo ad esito immediatamente visibile. Esso è caratterizzato da una libera volontà, ed è accessibile a tutti, partecipativo e centrato sull'apprendimento, fondato sull'esperienza e sulla relazione, impostato sulle esigenze del soggetto che apprende. L'apprendimento si realizza nell'ambito di attività pianificate, non specificamente concepite come apprendimento in termini di obiettivi e di tempi e di risultati. L'apprendimento non formale non sfocia di norma in una certificazione.

Apprendimento informale

Non organizzato né strutturato, che si protrae lungo tutto l'arco della vita e risultante dal flusso delle esperienze e delle attività connesse con la quotidianità, con il lavoro, la famiglia, lo svago, l'associazionismo; in tali contesti le persone apprendono comportamenti, valori, competenze e conoscenze. I contenuti di questo apprendimento non sono sistematici né organizzati: caratteristica essenziale è che in questo caso l'apprendimento è spesso connesso alla soluzione di problemi. Non è strutturato (in termini di obiettivi di apprendimento, di tempi o di risorse) e di norma non sfocia in una certificazione. L'apprendimento informale può essere intenzionale, ma nella maggior parte dei casi non lo è. La modalità di apprendimento attraverso la riflessione sulle esperienze quotidiane, apprendimento "esperenziale" che l'individuo sviluppa e organizza da solo. Imparare dall'esperienza diretta è per l'individuo "la via naturale all'apprendimento" o anche "la formazione che deriva dalla partecipazione diretta negli eventi della vita".

Fino a qualche decennio fa, la comunità scientifica riconosceva quasi esclusivamente la validità dei metodi formali; attualmente, invece, le alternative all'apprendimento tradizionale vengono ampiamente accolte. Ciò è avvenuto per prima in quei paesi dell'Europa e dell'America del Nord in cui un appassionato dibattito ha coinvolto i maggiori esponenti della società: scienziati, artisti, insegnanti, psicologi, industriali e politici (Schroeder 1992). Attualmente questo nuovo indirizzo è stato accolto in pieno anche nel nostro paese con la riforma dell'istruzione, prevista dalla Legge 107/2015, la quale auspica l'utilizzo delle modalità informali accanto a quella tradizionale per attuare le proprie finalità educative. In particolare, nel già citato comma 7, si parla in riferimento agli "obiettivi formativi prioritari" di:

- sviluppo delle competenze in materia di cittadinanza attiva e democratica,

- sviluppo di comportamenti responsabili,
- sviluppo delle competenze digitali degli studenti, con particolare riguardo ... ai legami con il mondo del lavoro,
- potenziamento delle metodologie laboratoriali e delle attività di laboratorio,
- incremento dell'alternanza scuola-lavoro nel secondo ciclo d'istruzione,

Infatti la stessa legge, per introdurre momenti non formali nell'apprendimento scolastico, introduce anche la possibilità di aprire le scuole anche nei periodi di sospensione dell'attività didattica (c. 22), di inserire insegnamenti opzionali nel triennio (c. 28), e impone di costruire un Curriculum dello studente che consenta “una trasparente lettura della progettazione e della valutazione per competenze”. Essa introduce l'obbligo *di percorsi di alternanza scuola-lavoro* anche nei licei per 200 ore nel triennio (400 ore negli istituti tecnici e professionali) per “incrementare le opportunità di lavoro e le capacità di orientamento degli studenti”. In tali modi la scuola si apre all'extrascuola, proponendo una cultura del fare scuola “quale canalizzatore di processi educativi che hanno luogo al suo esterno”.

Dunque, il quadro di riferimento per una nuova scuola, aperta al mondo esterno, è stato delineato, ma restano molti nodi da sciogliere, in primis la modalità operativa e, non secondariamente, il problema della valutazione. È evidente che solo una valutazione delle competenze, e in particolare delle competenze chiave di cittadinanza, potrà consentire alla scuola di descrivere e misurare tutto l'insieme di apprendimenti ‘nuovi’, fondamentali per la persona e per il mondo del lavoro, che lo studente acquisirà nell'incontro fra formale e non formale.

Nella legge 107 questa nuova idea di scuola si sostanzia di strumenti concreti: dal Piano Nazionale Scuola Digitale, al Portale unico, ai Laboratori territoriali per l'occupabilità. Questi strumenti rappresentano la possibilità di concretizzare le disposizioni di legge tramite finanziamenti, dopo molti anni di riforme rivolte sostanzialmente ad ottimizzare le risorse.

Nella traduzione in pratica didattica esiste inoltre il rischio di una netta separazione fra la dinamicità e lo spirito innovativo delle pratiche non formali, con la sostanziale staticità metodologica e organizzativo/strutturale dell'istruzione formale. Adottare le nuove metodologie di apprendimento significativo (indagine, problem solving, laboratorialità, flipped class ecc) richiede una messa in discussione dell'orario scolastico e dell'organizzazione delle classi. “Per favorire lo sviluppo della *didattica laboratoriale*, le istituzioni scolastiche possono anche dotarsi di laboratori territoriali

per l'occupabilità attraverso la partecipazione, anche in qualità di soggetti cofinanziatori, di enti pubblici e locali, camere di commercio, industria, artigianato e agricoltura, Università, associazioni, fondazioni. Ciascuna istituzione scolastica, agendo la propria autonomia, può individuare tempi, contenuti, modalità, orientamenti educativi e pedagogiche che facilitino l'apprendimento pratico e situato per costruire esperienze in grado di coniugare il sapere con il fare³⁵. Il laboratorio, oltre ad essere una dimensione didattica, può essere realizzato infatti sia in spazi fisici di apprendimento/relazione posti nella scuola stessa (atelier, biblioteche, mediateche, ludoteche, palestre, ecc.), che al di fuori di essa, in luoghi specializzati (i parchi, i musei, ecc.).

La sfida che si prospetta è dunque quella di riuscire a raccordare molteplici spinte e fattori, nella loro complessità: la dimensione conoscitivo/trasmissiva della scuola va salvaguardata, ma rileggendola alla luce di tutte le nuove esigenze illustrate. Affinché questo traguardo sia raggiunto, è necessaria, a nostro avviso, la sinergia di diversi fattori: innanzitutto le *“teste ben fatte dei docenti”* (Morin, 2000) e dunque la loro formazione; il supporto dell'Amministrazione: la tempestività e la snellezza dei decreti in applicazione della legge sono importanti; l'interesse del mondo del lavoro e della società civile: disponibilità a costruire percorsi integrati col mondo del lavoro, coinvolto nella formazione del lavoratore e nella diffusione di un'etica e di una cultura del lavoro.

È evidente che nasce la necessità di elaborare nuove strategie che consentano da un lato di stabilire protocolli di validazione delle fonti di apprendimento, e dall'altro di valutare le competenze acquisite fuori dai contesti istituzionali dell'istruzione e della formazione, soprattutto in vista di una loro efficace integrazione con il sistema dell'apprendimento formale. Lo scopo è realizzare quello *“spazio europeo dell'apprendimento permanente”* che, secondo quanto indicato dalla Comunicazione della Commissione Europea [COM (2001) 678], consentirà al nostro Continente di continuare ad essere competitivo e dinamico. All'interno di uno scenario molto complesso, articolato e in continua mutazione come questo, la scuola, oltre a conservare il ruolo fondamentale di trasmissione e conservazione del sapere (canone), deve saperne assumere anche quello di catalizzatore di processi educativi che hanno luogo al suo esterno (*“la scuola fuori dalla scuola”*)³⁶.

³⁵Articolo 60 Legge 107/2015

³⁶ L'outschooling e l'unschooling di area anglosassone: "What we want to see is the child in pursuit of knowledge, not knowledge in pursuit of the child." (George Bernard Shaw)

In definitiva aprirsi all'educazione non formale e informale significa acquisire la consapevolezza di trovarsi all'interno di un "Learnin Ecosystem" ("Ecosistema di apprendimento")³⁷, cioè di un sistema complesso ed eterogeneo, in cui i percorsi formali della scuola convivono, si intrecciano e si confrontano con le occasioni di apprendimento esterne. Tali ecosistemi di apprendimento non sono realtà astratte, ma operano nel concreto della nostra quotidianità, laddove istituzioni e persone interagiscono, anche se in modo non sempre lineare e coordinato. Ottimizzarli, migliorarli e ricondurli a sistema, senza tuttavia perderne la complessità, la ricchezza e la flessibilità che li caratterizzano e che ne costituiscono a risorsa fondamentale, definisce un importante quanto difficile obiettivo³⁸.

Luigi Berlinguer ha inquadrato questo passaggio nell'ambito del necessario cambiamento verso una scuola più flessibile, più ispirata dal piacere di apprendere e meno prigioniera delle griglie curriculari, disciplinari, temporali.

Le sperimentazioni e le buone pratiche in tale direzione sono sempre più numerose e dunque tracciano un itinerario a cui fare riferimento³⁹. Di seguito, in Tabella 9, vi è uno schema delle principali tipologie.

Tabella 9

Modelli di buone pratiche per l'apprendimento informale e non formale a scuola
Un <i>primo modello</i> a cui siamo invitati a ispirarci propone esperienze autosufficienti di apprendimento non formale, esterne alla scuola e offerte da un ente. Esso è convalidato da numerose ricerche e dall'esempio di esperienze nazionali di successo, tra cui il Museo della Scienza e della Tecnica di Milano (che ha costruito nel tempo un grande numero di laboratori e moduli formativi) e le mostre itineranti, come la mostra GEI ⁴⁰ dell'Università di Udine.

³⁷ STEM Learning Is Everywhere: Summary of a Convocation on Building Learning Systems, in http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=18818

³⁸ Documento di lavoro del Congresso nazionale Experimenta 4 "Scuola e apprendimenti non formali della scienza e della tecnologia" F. Fierli, M. Fierli, F. Rocca, C. Salone, M. Ricciardi e L. M. Catena http://www.experimenta-pensarefarescienza.it/Experimenta_Pensare_e_fare_scienza/Home_files/DOCUMENTO%20DI%20A%20VORO%20EXPERIMENTA%204_1.pdf

³⁹ Convegno Miur "Experimenta 4" Firenze 2015 http://www.experimenta-pensarefarescienza.it/Experimenta_-_Pensare_e_fare_scienza/Home.html

⁴⁰ Michelini M., GEIweb-Università degli Studi di Udine <http://www.fisica.uniud.it/GEI/GEIweb/index.htm>

Un *secondo modello* è quello che contiene esperienze extrascolastiche circoscritte nel tempo, intorno alle quali le scuole costruiscono un percorso curricolare. È il caso dei progetti proposti alle scuole dall'Università. Spesso i percorsi non realizzano solo un passaggio dal non formale al formale, ma anche un percorso circolare: programmazione di docenti e ricercatori, lezioni preliminari agli studenti, visita guidata o visita più attività laboratoriale, con ritorno al curricolo. In esso rientrano anche le attività offerte dalle scuole estive.

Il *terzo modello* si concretizza nei progetti organizzati e gestiti dalla scuola, preferibilmente con la collaborazione di un ente esterno. Il progetto prevede spesso la costruzione di apparati complessi di vario genere: robotica, ottica, astronomia, fisica dei materiali. Altre volte si tratta di indagini tematiche multidisciplinari con una forte componente laboratoriale. Rientra in questo modello la creazione e gestione di un museo scolastico.

Le sperimentazioni oggetto di questo lavoro (che descriverò nei capitoli successivi) ricoprono tutti i tre modelli di riferimento sopra descritti: la mostra Divertiesperimenti si ispira al primo modello; le diverse attività progettuali proposte alle scuole rientrano nel secondo e nel terzo.

Sono, queste da noi svolte, sperimentazioni di coordinamento fra formale, non formale e informale che possono essere utilizzate nella pratica didattica avendo, ritengo, le principali caratteristiche di una buona pratica, ossia: un impatto qualitativamente e quantitativamente significativo; la replicabilità, ovvero la continuità delle esperienze; la trasferibilità in altri contesti; la sostenibilità in relazione alle risorse disponibili.

Questo lavoro di ricerca si basa sulla convinzione che enti esterni alla scuola, e in particolare l'Università, possano fornire supporto e partecipazione a percorsi di apprendimento scolastico, anche non formale. Tale compito istituzionale dell'Università rientra, del resto, nella cosiddetta "Terza Missione" che sancisce un'apertura verso il contesto socio-economico mediante la valorizzazione e il trasferimento delle conoscenze, raccomandata da tutti gli organismi internazionali⁴¹.

⁴¹ Il decreto legislativo 19/2012, che definisce i principi del sistema di Autovalutazione, Valutazione Periodica e Accreditamento, e successivamente il DM 47/2013, che identifica gli indicatori e i parametri di valutazione periodica della ricerca e della terza missione, hanno riconosciuto a tutti gli effetti la terza missione come una missione istituzionale delle Università, accanto alle missioni tradizionali di insegnamento e ricerca.

3.4 La metodologia Inquiry-Based Science Education

L'Inquiry-Based Science Education (IBSE), ossia educazione scientifica basata sull'investigazione, non si può definire un vero e proprio metodo pedagogico, ma piuttosto indica, sulla base del modello costruttivista, una modalità di approcciarsi all'insegnamento e all'apprendimento delle Scienze, partendo da una attenta riflessione sui contenuti fondamentali da imparare, con la libertà di implementarli in vari modi, ma sempre tenendo conto dello stile di apprendimento degli studenti. I primi studi sull'Inquiry e sul metodo IBSE risalgono agli anni '70-'80 (Driver, 1985), ed i risultati positivi ottenuti hanno fatto sì che nel 1996 il National Research Council lo abbia introdotto tra protocolli di insegnamento per gli Stati Uniti, e dieci anni dopo lo stesso è stato fatto anche l'Europa. A tutt'oggi è considerato dalla maggior parte dei ricercatori in didattica come una delle strategie di insegnamento più efficaci. L'obiettivo principale che spinge a utilizzare l'Inquiry nella didattica è quello di arginare lo scarso interesse degli studenti verso la fisica e verso la matematica e migliorarne le performances, che appaiono negative in generale, e in particolare in Europa ed in Italia, soprattutto per la fascia d'età compresa tra gli 11 e i 16 anni.

Un grosso sforzo si sta compiendo per divulgare le buone pratiche basate sull'IBSE, per mostrare come gli attuali curricula scolastici possano essere modificati in modo da valorizzare le potenzialità di questo metodo nel sensibilizzare e motivare gli studenti e la società rispetto alle scienze⁴².

I ricercatori in Didattica delle Scienze, in collaborazione con gli insegnanti, sono impegnati a indagare a fondo i fattori che ancora ostacolano la diffusione dell'IBSE nella pratica scolastica.

Al contrario dell'insegnamento tradizionale, l'IBSE considera metodi e soggetti dell'insegnamento insieme, e porta gli studenti a seguire passo dopo passo il processo scientifico partendo dall'osservazione, poi enunciando i problemi, controllando le variabili, facendo ipotesi e predizioni, e descrivendo le conclusioni. Nell'insegnamento IBSE i laboratori sono parte integrante del corso che è centrato sull'apprendimento degli studenti piuttosto che sui discorsi dell'insegnante (Rocard report, 2007). L'insegnamento IBSE si basa su risultati della ricerca in didattica del costruttivismo:

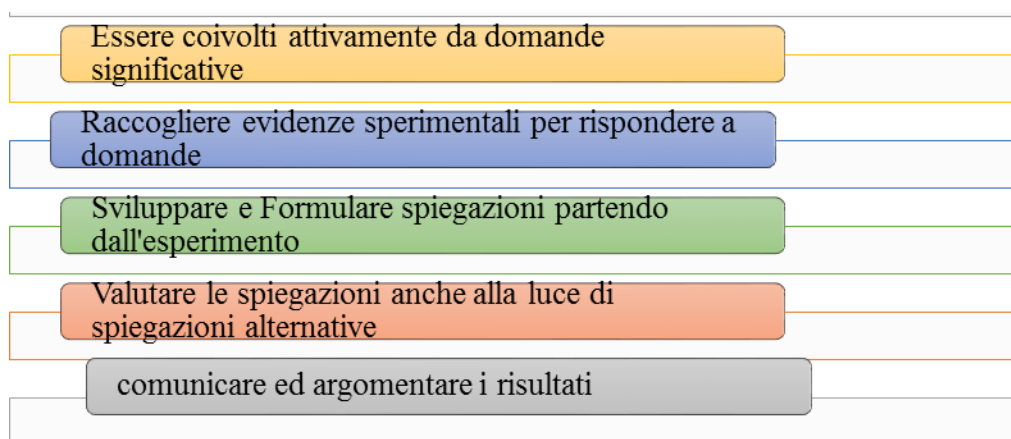
⁴² Molti sono i progetti europei frutto della ricerca in didattica, attivati per la metodologia IBSE nella scuola, quale il progetto TEMI (di cui parleremo più approfonditamente in seguito) e, ad esempio, il progetto STENCIL <http://www.stencil-science.eu/>.

- la comprensione in scienza va oltre la mera conoscenza di fatti,
- l'apprendimento avviene modificando e ridefinendo i concetti già posseduti e aggiungendone di nuovi a quelli già noti e verificati,
- il contesto sociale è fondamentale nella mediazione dell'apprendimento,
- l'apprendimento efficace passa attraverso la consapevolezza degli studenti, che diventano artefici e costruttori dei propri saperi.

L'Inquiry è un'attività multiforme che comporta fare osservazioni; porre domande; esaminare manuali e altre fonti di informazione per acquisire quello che è già noto; pianificare investigazioni; rivedere quello che già si conosce alla luce di evidenze sperimentali; usare strumenti per raccogliere, analizzare e interpretare dati; proporre risposte, spiegazioni e previsioni e comunicare risultati. L'Inquiry richiede l'individuazione di ipotesi, l'uso del pensiero logico e critico e la formulazione di spiegazioni alternative (National Research Council, 1996).

Guidati dal docente a lavorare con un approccio basato sull'investigazione (NRC, 2000) gli studenti dovrebbero seguire il percorso:

*Tabella 10.
Caratteristiche principali dell'Inquiry in classe: gli studenti devono sviluppare conoscenze e competenze da attività di indagine scientifica.*



L'IBSE attraverso il coinvolgimento attivo nell'identificazione di evidenze rilevanti, il ragionare in modo critico e logico su di esse e il riflettere sulla loro interpretazione promuove negli studenti "la capacità di utilizzare conoscenze scientifiche, di identificare domande e di trarre conclusioni basate su prove, per capire e per aiutare a prendere decisioni circa il mondo della natura e i cambiamenti ad esso apportati dall'attività umana" (PISA- *literacy scientifica*).

Non tutte le attività Inquiry sono attuate allo stesso modo, ma dipendono da come e quanto il docente interviene, ossia nella quantità di informazioni (per esempio domande guidate, procedure, risultati attesi) fornite agli studenti. Gli esperti (Bell, Smetana e Binns 2005; Herron, 1971 e Schwab, 1962) sostengono, infatti, che ci si debba avvicinare all’Inquiry attraverso un **percorso progressivo** che parta dalla trasformazione delle attività che tradizionalmente si fanno nella pratica didattica quotidiana.

Sono quindi stati identificati quattro possibili livelli di Inquiry:

Tabella 11

Possibili livelli di Inquiry a seconda del grado di partecipazione dello studente (crescente dall’alto verso il basso) rispetto al ruolo del docente.

livelli di inquiry
Confermativo gli studenti svolgono indagini su fatti e fenomeni noti, di cui sanno prevedere i risultati, rispondendo ad una domanda proposta dall’insegnante, corredata dal procedimento da seguire.
Strutturato gli studenti svolgono indagini per rispondere ad una domanda proposta dall’insegnante, corredata dal procedimento da seguire.
Guidato gli studenti svolgono indagini per rispondere ad una domanda proposta dall’insegnante, individuando il procedimento da seguire
Aperto gli studenti svolgono indagini scegliendo la domanda di ricerca e il procedimento da seguire. Questo livello richiede il più alto livello di ragionamento scientifico e la richiesta cognitiva più elevata.

Per esempio, per l’Inquiry confermativo, dopo che l’insegnante ha spiegato le leggi del moto uniformemente accelerato, gli studenti confermano la relazione fra spazio percorso e tempo impiegato attraverso un’attività di laboratorio. Gli studenti seguiranno le indicazioni dell’insegnante per realizzare l’esperimento ma registreranno i loro dati e analizzeranno i loro risultati costruendo un grafico.

Esempio per l’Inquiry strutturato è dare agli studenti una procedura per determinare la relazione tra il periodo del pendolo semplice e l’accelerazione di gravità prima che l’insegnante spieghi le oscillazioni sincrone. Gli studenti raccoglieranno e analizzeranno dati ricavando la legge del pendolo.

Nell'Inquiry guidato, ad esempio, gli studenti sviluppano un metodo per conoscere la natura del colore. Poiché questo tipo di Inquiry è molto più complesso di quello strutturato, ha maggiore successo quando gli studenti hanno avuto numerose opportunità di praticare diversi modi di pianificare esperimenti e registrare dati. Solo perché gli studenti stanno progettando da soli le procedure questo non significa, però, che il ruolo dell'insegnante sia passivo. Al contrario, gli studenti necessitano sempre di una guida per controllare che le loro investigazioni abbiano senso.

Nell' Inquiry aperto Solo se gli studenti hanno già ampia esperienza dei primi tre livelli di Inquiry saranno in grado di condurre Inquiry di tipo aperto. Per cui, è appropriato far condurre investigazioni aperte solo quando gli studenti hanno già dimostrato in precedenza che sono in grado di progettare e condurre le proprie investigazioni con successo quando vengono loro fornite le domande.

I livelli di Inquiry dovrebbero essere visti come un continuum in cui idealmente gli studenti progrediscono gradualmente dai livelli più bassi di partecipazione attiva a quelli più alti nel corso dell'anno, fino ad arrivare allo sviluppo delle abilità necessarie per condurre investigazioni aperte.

Per pervenire a tale risultato gli studenti (e gli insegnanti) necessitano di pratica, per raggiungere livelli sempre più complessi. È evidente che una progressione graduale verso i livelli più elevati di autonomia nell'Inquiry, raggiunto con un sostegno adeguato da parte dell'insegnante, conduce gli studenti verso un maggiore successo formativo, rendendoli sempre più motivati.

Il "learning cycle **delle 5E**" (vedi figura 8) è un modello di insegnamento basato sull'Inquiry che deriva dalle idee costruttiviste e dallo sviluppo della teoria di Jean Piaget (Bybee, 2006). Tale modello può risultare molto utile agli insegnanti per progettare materiali e strategie di insegnamento delle scienze. Le 5 E del nome si riferiscono alle fasi del ciclo che parte dall'Engage e attraverso l'Explore, l' Explain, l'Elaborate guida alla fase di Evaluate che, a seconda degli esiti, può portare lo sperimentatore a ripetere una o più delle fasi (Figura8):

1 ENGAGE: le attività previste nella prima fase del learning cycle hanno l'intento di creare interesse, generare curiosità e domande nella mente degli studenti, scoprire che cosa sanno già e far emergere eventuali conoscenze errate. Durante questa fase,

agli studenti non vengono date definizioni formali su ciò che stanno esplorando, né viene detto loro a quali conclusioni arriveranno.

2 **EXPLORE**: questa fase fornisce agli studenti la possibilità di familiarizzare con l'oggetto di studio attraverso esperienze in cui possono utilizzare le loro preconcoscenze per generare nuove idee, formulare domande e progettare e/o svolgere investigazioni.

3 **EXPLAIN**: in questa fase gli studenti vengono aiutati a focalizzare l'attenzione su particolari aspetti delle esperienze fatte attraverso la spiegazione dei concetti, l'introduzione del lessico scientifico appropriato e la discussione delle eventuali convinzioni errate emerse.

4. **ELABORATE**: questa fase fornisce agli studenti la possibilità di approfondire e rinforzare la comprensione di ciò che hanno appreso, applicandolo in situazioni nuove (si parla infatti anche di **EXTEND**). In pratica si fornisce semplicemente un'ulteriore occasione di riflessione attraverso domande, la cui risposta necessita l'applicazione delle conoscenze acquisite e l'uso rigoroso del lessico scientifico.

5. **EVALUATE**: in questa fase finale gli studenti sono incoraggiati ad autovalutare la propria comprensione di quanto appreso e le abilità acquisite e l'insegnante ha l'opportunità di valutare il progresso degli studenti nel raggiungimento degli obiettivi educativi. Tale processo può diventare ciclico nel caso la fase di valutazione non porti ai risultati desiderati, o il processo abbia condotto a porsi nuove domande.

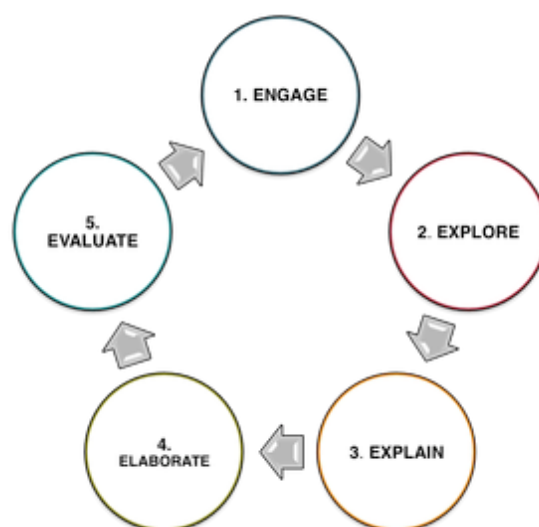


Figura 8
Il ciclo delle 5 E

L'Inquiry consente agli studenti di realizzare le proprie indagini in modo più indipendente rispetto alla didattica tradizionale, anche se questo non garantisce che gli studenti raggiungano determinati risultati, consente agli studenti di imparare qualcosa sulla natura della scienza, è un modo alternativo di insegnare che usa l'apprendimento attraverso la scoperta. La ricerca indica anche che l'apprendimento può risultare inefficace, se la guida dell'insegnante è troppo ridotta (Carpineti et al., 2011).

3.5 Risolvere problemi con strategie creative

Il dibattito sulle metodologie dell'insegnamento della fisica è naturalmente sempre aperto, ma è ormai un dato, confermato dalla ricerca in pedagogia, che la lezione tradizionale, ossia frontale e meramente trasmissiva, sia il metodo meno efficace per insegnare, tanto più per le discipline scientifiche ed in particolare la fisica⁴³.

Gli esperimenti, in generale il contatto diretto con la concretezza dei fenomeni, sia in maniera formale che informale forniscono gli elementi necessari, alla partenza, per la costruzione della conoscenza della realtà.

Crederne nella valenza dell'approccio sperimentale non significa, però, pensare che la costruzione della conoscenza scientifica possa essere limitata all'impiego del solo metodo empirico. La costruzione di saperi si completa solo con l'intervento della creatività della mente umana: lo studente impegnato ad ipotizzare spiegazioni della "realtà", come lo scienziato, deve infatti "creare" modelli che strutturino i fatti, identificando i collegamenti tra loro, suggerendo i legami causali, stabilendone le gerarchie logiche. Accanto all'osservazione e manipolazione sensoriale dei fenomeni, per far costruire saperi, il docente deve saper guidare lo studente allo sviluppo di strumenti formali. In tale processo la didattica laboratoriale riveste un ruolo importante perché attraverso la pratica attiva percorsi mentali, che possono condurre dall'"hands-on al minds-on".

Secondo la metodologia laboratoriale, il processo di insegnamento/apprendimento viene fortemente connotato da un'attività di esplorazione operativa, con impiego di materiali didattici anche semplici e familiari oltre a quelli strutturati di un laboratorio formale: alimentando infatti la curiosità e l'interesse, e dunque la partecipazione attiva

⁴³ AAPT (2012). L'approccio degli insegnanti all'insegnamento della fisica, *The Physics Teacher*, nr. 50, pag. 565.

dello studente, si consente la costruzione di un ponte tra vita quotidiana e contesto di apprendimento scolastico.

Il laboratorio è inteso, oltre che come luogo fisico attrezzato per l'apprendimento, come situazione, come modalità di lavoro, e si può svolgere didattica laboratoriale anche in aula, ovunque docenti ed allievi progettino, sperimentino, ricerchino mettendo in gioco la loro fantasia e la loro creatività (il laboratorio è in tal senso uno spazio mentale).

Il percorso laboratoriale non ha come fine quello di produrre una ricerca con esiti scientifici inoppugnabili, ma quello di far acquisire agli studenti conoscenze, metodologie, competenze ed abilità didatticamente misurabili. Aiuta ad uscire dalla ristrettezza e della ripetitività dell'insegnamento e dell'apprendimento tradizionali.

In tale contesto la figura dell'insegnante assume una notevole valorizzazione: dal docente trasmettitore di conoscenze consolidate all'insegnante ricercatore, che progetta l'attività di ricerca in funzione del processo educativo e formativo dei suoi allievi. I punti di forza della didattica Laboratoriale possono riassumersi nella possibilità che fornisce di:

valorizzare gli stili di apprendimento caratterizzanti gli studenti a rischio e perciò di dare fondamento alla motivazione,

promuovere la conoscenza attraverso l'esperienza e la riflessione sull'esperienza (metacognizione),

arrivare per via induttiva a una conoscenza via via più formalizzata,

applicare le competenze acquisite sul campo.

La valenza didattica di tale modalità interattiva di insegnare le scienze ed in particolare la fisica, di tipo "esperenziale", che coinvolga in prima persona chi si accinge ad apprendere è dunque ormai confermata dalla pratica didattica e da altre numerose ricerche. Favorisce l'interdisciplinarietà e utilizza strategie estendibili a tutte le discipline.

Abbiamo già sottolineato che le più attuali ricerche sulla didattica delle scienze sono rivolte al raggiungimento delle cosiddette *competenze adattative* (Redish, 2003), al fornire agli studenti, oltre ad un bagaglio di conoscenze, anche abilità anche creative per risolvere problemi, competenze nell'usare strumenti matematici. La metodologia IBSE appare la soluzione più efficace e facile da implementare per guidare a sviluppare tali competenze simultaneamente. La stessa metodologia IBSE è oggetto di

numerosi studi che confermano quanto l'efficacia dell'apprendimento dipenda anche dalla quantità di informazioni e dal tipo di supporto che fornisce il docente (come da Tabella 11). Si parla ad esempio di "Inquiry Guidata" IG, rispetto a "Open Inquiry" OI: nella prima modalità il docente fornisce la domanda alla base dell'indagine scientifica, e lo studente sceglie le procedure per trovare ipotesi di risposta e magari verificare l'esito della spiegazione data. Per la OI il docente deve definire il contesto dell'indagine, mettendo in condizione i discenti di porsi autonomamente delle domande e sviluppare un processo di indagine che porti a degli esiti verificabili. Tale approccio lascia maggiore potenzialità di esprimersi allo studente, comportandosi da scienziato e dunque arrivando ad un maggiore approfondimento dell'indagine scientifica. La IG mette d'altro canto maggiormente a riparo gli studenti da misconcezioni, ed anche dalla frustrazione di non riuscire nel compito (la OG richiede competenze non ancora maturate in genere dagli studenti di scuola secondaria). Un utilizzo integrato di un approccio guidato ed uno open è la strategia migliore da seguire (Quintana, 2005).

Inoltre, sempre per quanto riguarda l'IBSE, è generalmente considerato più efficace utilizzare un approccio pedagogico "esplicito", nel quale vengono fornite istruzioni specifiche dal docente in aggiunta all'attivazione dell'Inquiry scientifica, rispetto al metodo "implicito" secondo il quale la comprensione dei fenomeni scientifici dovrebbe derivare direttamente dall'esperienza di apprendimento basato sull'Inquiry. (Fazio et al., 2014)

A prescindere dalla scelta metodologica puntuale dall'insegnante, molti pedagogisti concordano nel considerare che alla base di uno studio efficace della fisica debba esserci il "problema". Sia che si prenda l'avvio da osservazioni che dalle formule, "la partenza dai problemi è il primo antidoto contro quel tipo di nozionismo costituite da teorie che si offrono come risposta a nessuna domanda". Occorre, allora, anche nella scuola far "inciampare i ragazzi nei problemi". E questo perché con le lezioni e i libri di testo si risponde a domande che indubbiamente sono domande valide, ma che sono domande che, come abbiamo spesso il ragazzo non si è posto o non si è saputo ancora porre. Una volta che è stato riconosciuto un problema, l'alunno è motivato alla ricerca della soluzione migliore, e costruisce delle teorie quali tentativi di soluzione. Queste teorie non sono delle verità postulate, ma sono solo delle ipotesi da confutare logicamente e controllare sperimentalmente.

L'elaborazione di ipotesi richiede invenzioni, e queste a loro volta sono il risultato della creatività dell'alunno. Lo sviluppo della creatività fa nascere nuove ipotesi. Ciò pone il problema di come sviluppare la creatività. Innanzitutto dobbiamo convenire che la creatività ha luogo (una volta che il ragazzo ha inciampato nel problema), quando si scatena la sua *fantasia*. Senza fantasia non si hanno invenzioni e scoperte. Questa fantasia, che ha diverse forme e diversi gradi, accende la "lampadina", fa nascere l'idea nuova necessaria per inventare, per avanzare congetture finalizzate alla soluzione. È molto più sviluppata nella fanciullezza e nella preadolescenza ove le domande e i perché si susseguono continuamente, con la conseguenza che, essendoci infinite domande da fare e infiniti problemi in cui "inciampare", gli alunni hanno modo di inventare possibili teorie. Naturalmente spetta al docente aiutare a trovare i problemi giusti e su cui far esercitare, guidandoli, la loro fantasia. La via proposta (Antiseri, 2000) potrebbe essere che gli insegnanti facciano "inciampare" quasi naturalmente i ragazzi in problemi in cui vi siano rilevanti teorie come la meccanica classica, la relatività, la genetica, l'immunologia, la teoria dell'evoluzione e quanto altro. Ma dobbiamo partire sempre dai problemi dei ragazzi, e se questi non bastano a portarli ad un certo grado di preparazione scientifica, proviamo a farli inciampare attraverso la storia e più precisamente attraverso la storia delle scoperte scientifiche, onde portarli su altri più rilevanti problemi le cui soluzioni costituiscono quell'insieme di teorie attualmente accreditate. Queste ultime hanno dietro di sé una storia e si sono sviluppate sempre per risolvere problemi.

La creatività è stata definita (Williams, 1994) come la modalità di elaborazione cognitiva che, andando oltre i processi di organizzazione della nostra mente basati sulla costruzione di schemi, agisce nel senso di produrre nuove idee. La creatività ha componenti sia a livello cognitivo che emozionale. La parte cognitiva prende il nome di pensiero divergente che è caratterizzato da fluidità, flessibilità, originalità ed elaborazione. Il pensiero divergente è la capacità di produrre una gamma di possibili soluzioni per un dato problema, in particolare per un problema che non preveda un'unica risposta corretta (Guilford 1950). Le componenti emozionali sono invece la disponibilità ad assumersi rischi, la complessità, la curiosità e l'immaginazione.

La concezione di Karl Popper, secondo la quale lo sforzo intellettuale degli uomini non sempre procede attraverso il ragionamento induttivo e nemmeno attraverso quello classico deduttivo, ha avuto una forte influenza non solo sul modello di ricerca, ma su tutta la filosofia della scienza moderna. In pratica "La chiave dei più importanti

successi della scienza spesso consiste nell'ispirazione e in liberi salti dell'immaginazione. In tali casi un fatto importante o una congettura si affaccia già pronta alla mente del ricercatore, e solamente dopo se ne trova la giustificazione mediante l'argomentazione razionale" (Davies, 1993).

Una frontiera ancora più nuova della didattica laboratoriale, che tiene in ampio conto la creatività nel processo di apprendimento, è il "*Thinkering*": tale termine inglese vuol dire letteralmente armeggiare, adoperarsi. Si può dire che sia una palestra per aspiranti maker che insegna a "pensare con le mani", un metodo educativo partito da esperienze e ricerche del MIT presso l'Exploratorium di San Francisco, per avvicinare bambini e ragazzi allo studio delle materie STEM (science – technology – engineering – mathematics) in modo pratico, giocando. Tale modalità di imparare facendo racchiude un forte potenziale per lo sviluppo di innovazione, creatività e motivazione: viene considerata molto efficace poiché può coinvolgere persone con diversi livelli di esperienza e interesse nell'esplorazione di concetti, pratiche e fenomeni legati alla scienza.⁴⁴

Tutti i metodi per l'insegnamento descritti, sono tesi a favorire la costruzione progressiva di un personale patrimonio di conoscenze, di abilità e di atteggiamenti, stabile e fruibile dagli studenti nell'affrontare situazioni e problemi (Pellerey, 1998). Tale costruzione non avviene infatti né spontaneamente, né per caso, ma è favorita da adeguate metodologie e strategie e comporta sempre un'azione intenzionale.

Per quanto riguarda l'uso del laboratorio di fisica, possiamo concludere che, a prescindere dal tipo di esperimento proposto, ciò che è fondamentale è che l'insegnante deve aiutare a far capire che quando sviluppiamo un esperimento ci riferiamo contemporaneamente a due ambiti tra loro connessi ma pur sempre distinti: uno riguarda la realtà, il concreto su cui operiamo, l'altro, quello astratto e simbolico, è quello nel quale il fenomeno viene schematizzato, rielaborato con teorie e relazioni matematiche. Tale passaggio non è semplice, e richiede che vi sia una perizia disciplinare profonda: lo studio dei fenomeni quotidiani è imprescindibile ma va sviluppato tenendo sempre presente il piano della realtà della modellizzazione con il piano della realtà. Lo studio della fisica *in situazione* può aiutare a costruire saperi solo

⁴⁴ <http://www.museoscienza.org/tinkering-zone/default.asp>

se si riesce a far cogliere il complesso e articolato gioco di “modellizzazione” della realtà. (Balzano, 2006).

In definitiva, gli insegnanti e gli educatori hanno a disposizione una molteplicità di metodi e strategie didattici che vanno intesi un po' come gli *attrezzi* del proprio repertorio professionale tra i quali scegliere. Nella pratica didattica possono essere utilizzati diversi modelli pedagogici di riferimento che indicano strategie, metodi, tecniche che un docente può attuare per facilitare l'apprendimento. Per creare un clima cognitivo favorevole non sempre è possibile applicare in modo seriale un dispositivo strategico ma spesso è necessario allestire ambienti favorevoli all'apprendimento integrando le teorie educative o escludendone alcune da un determinato contesto di apprendimento. Ad esempio diverso sarà l'approccio se gli obiettivi da conseguire sono di tipo operativo o cognitivo; ciò che è indubbio è che, qualsiasi modello venga assunto, esso deve essere “eteroreferenziale”, avere cioè come *méta* primaria il successo formativo dell'alunno.

Considerare la “nuova “scuola come “scuola dell'innovazione” significa intenderla come un laboratorio di costruzione del futuro, capace di trasmettere ai giovani la curiosità, il fascino dell'immaginazione e il gusto della ricerca, del costruire insieme dei prodotti, di proiettare nel futuro il proprio impegno professionale per una piena realizzazione sul piano culturale, umano e sociale (Rocca, AIF 2010).

Alla luce delle precedenti considerazioni, ma anche della esperienza di docente e divulgatrice, posso concludere questa disamina sulle metodologie didattiche, sostenendo che il docente può utilizzare in modo eclettico metodi diversi, piuttosto che un singolo metodo. Molto dello scarso successo della scienza e della fisica a scuola è dovuto ad un certo modo di insegnarla, basato sugli aspetti meno creativi e coinvolgenti della disciplina. La scienza, e la fisica in primis, invece, non potrebbero esistere senza la creatività umana: insegnare e imparare la fisica può essere (anzi è!) creativo e divertente.

- 4 La mostra interattiva “DivertiEsperimenti” come ponte fra l’apprendimento informale e formale

“Creativity is intelligence having fun”

(Albert Einstien)

4.1 Proposte di integrazione della ricerca con la didattica

Le scoperte scientifiche e le ricadute sulle tecnologie hanno assunto un impatto sempre maggiore nella vita quotidiana di ognuno di noi, soprattutto delle nuove generazioni; non altrettanta rilevanza viene data invece comunemente alla cultura scientifica, che anzi, paradossalmente, viene relegata ad un ruolo poco più che marginale.

Come già detto, un'integrazione della ricerca con la didattica della scuola secondaria può dare un grosso contributo per migliorare la cultura scientifica. Per promuovere una professionalità docente capace di innovazione nella scuola e che, dunque, migliori le competenze scientifiche dei discenti, è opportuna una collaborazione tra Università e Scuola sempre più strutturata ed efficace.

Il Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” dell’Università degli Studi di Salerno promuove da anni numerose attività per la diffusione della cultura scientifica e di raccordo tra il mondo della ricerca e quello della scuola, con particolare attenzione verso alunni e docenti delle scuole secondarie di II grado del territorio (D’Acunto et al, 2014). Nella seguente tabella 12 sono riassunte le iniziative salienti:

Tabella 12

Le principali attività per la scuola curate dal Dipartimento “E. R. Caianiello”

Attività di orientamento

Prevedono percorsi laboratoriali pensati per studenti degli ultimi anni di scuola superiore. Attraverso osservazioni e utilizzo di strumentazione avanzata di ricerca è poi possibile spaziare dal microcosmo al macrocosmo, scoprendo le strette connessioni fra questi ultimi anche con l’introduzione di tematiche della meccanica quantistica. Ad esempio si svolgono numerose attività divulgative⁴⁵ nei laboratori di ricerca che utilizzano i microscopi a sonda capaci di “vedere” singoli atomi –STM- o il telescopio dell’Osservatorio Astronomico (Bozza et al, 2016). Inoltre, visto il consolidato know how del Dipartimento “E. R. Caianiello” (che ospita fra l’altro la “Unità locale” dell’Istituto SPIN del Dipartimento Materiali e

⁴⁵ L’Osservatorio Astronomico UniSa è il più grande all’interno di un campus universitario italiano, dotato di un telescopio Celestron C-14 e montatura robotica. Nel corso delle visite serali programmate per le scuole vengono proiettate su schermo le immagini acquisite in tempo reale della Luna, di pianeti, nebulose e galassie, accompagnate da un’accurata spiegazione da parte di un ricercatore del Dipartimento.

Dispositivi del CNR) nel campo sia teorico che sperimentale della *superconduttività*, sono disponibili e progettabili significativi esperimenti in tale ambito, quali osservazione della levitazione magnetica per effetto Meissner ed anche misure di resistività e suscettività magnetica.

Il Premio “E. R. Caianiello”

L'Istituto Internazionale per gli Alti Studi Scientifici (IIASS), in collaborazione con il Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno, bandisce, per onorare la memoria dell'eminente scienziato ed educatore Prof. Eduardo R. Caianiello, un concorso per l'assegnazione di tre "Premi Eduardo Caianiello". Esso si tiene presso l'Università di Salerno e consiste nella risoluzione di problemi di matematica e di fisica; possono partecipare gli studenti distintisi nelle discipline scientifiche delle Scuole Secondarie Superiori delle province di Salerno, Avellino e Benevento. L'assegnazione dei premi agli studenti vincitori avviene di solito contestualmente con quella delle Olimpiadi di Fisica dell'AIF (Associazione Insegnanti di Fisica). Il premio, alla sua XXII edizione, ha avuto nell'ultima edizione la partecipazione di 168 studenti⁴⁶.

Il corso di preparazione alle Olimpiadi di Fisica e la Gara di Secondo livello –OLIFIS

Le Olimpiadi della Fisica sono importante manifestazione nazionale che si svolge presso il Dipartimento, patrocinata dall'Associazione Italiana Insegnanti di Fisica (AIF); viene ospitata inoltre la Gara di Secondo livello (più di duecento ragazzi iscritti alla ultima edizione) di tale manifestazione.⁴⁷

Il Piano Lauree Scientifiche (PLS)

Attivato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca: il Consiglio di Area Didattica di Fisica dell'Università di Salerno ha aderito dal 2011/2012. Vengono svolte numerose attività didattiche e laboratoriali su diverse tematiche di fisica indirizzate agli studenti ed ai docenti delle scuole superiori, con particolare attenzione alla fisica moderna. Il PLS consente ad alunni e docenti di effettuare percorsi formativi curriculari ed extra curriculari, toccando argomenti di fisica moderna, con esperimenti

⁴⁶ www.fisica.unisa.it/index.php/it/premioercaianiello

⁴⁷ www.olifis.it/index.php/problemi-olifis/problemi-di-secondo-livello

non facilmente riproducibili in ambito scolastico curati da docenti e personale del polo universitario⁴⁸.

La Scuola Estiva di Fisica (SEF)

Si svolgerà quest'anno la sua quarta edizione, bandita per studenti meritevoli delle ultime classi della scuola superiore della provincia di Salerno, Avellino e Benevento. Vengono proposti da docenti di fisica soci AIF, ricercatori e Professori Universitari percorsi didattici teorici e sperimentali di fisica classica e fisica moderna⁴⁹.

Conferenze e seminari

Sono tenuti dai docenti di Università e Enti di ricerca, da esperti nel campo della ricerca e della didattica della fisica.

La mostra interattiva di esperimenti "hands-on" di fisica denominata "DivertiEsperimenti"⁵⁰.

Pur avendo collaborato in questi anni, in vari modi (che in parte descriverò nei paragrafi seguenti) a quasi tutte le attività sopra elencate, ho lavorato maggiormente sulle risorse che il Dipartimento "E. R. Caianiello" ha dedicato alla mostra DivertiEsperimenti. Nei paragrafi seguenti riassumo i passaggi storici che hanno portato dai musei tradizionali agli Science Center (§4.2) e mi soffermo sulla mostra "DivertiEsperimenti (§4.3), che ha costituito un forte raccordo università-scuola, informale con formale.

4.2 Dai musei ai Science Center

Il percorso che ha portato all'integrazione di attività informali e non formali nella didattica accanto a quelli formali, ma soprattutto ad avere una mostra divulgativa di modalità informale nelle mura di diverse Università, ambiente formale per definizione, non è stato né breve né banale: di seguito provo a riassumerne i passi più significativi.

Il "museo" è "un'istituzione permanente, senza fini di lucro, aperta al pubblico, al servizio della società e del suo sviluppo, che compie ricerche, acquisisce, conserva e, soprattutto, espone le testimonianze dell'umanità e del suo ambiente a fini di studio,

⁴⁸ www.unisa.it/didattica/pls

⁴⁹ www.fisica.unisa.it/SEF2016/locandinaSEF2016.pdf

⁵⁰ <https://www.facebook.com/DivertiEsperimenti->

educazione e diletto⁵¹. Per "didattica museale" si intende l'insieme delle metodologie e degli strumenti utilizzati dalle istituzioni museali e da quelle scolastiche per rendere accessibili ad un più vasto pubblico collezioni, raccolte, mostre e in generale ogni tipo di esposizione culturale. In Italia, già nel 1969, presso il Ministero della Pubblica Istruzione fu istituita una Commissione per la Didattica dei musei con la finalità precipua di rendere istituzionale il rapporto tra scuola e museo. Nella nuova prospettiva introdotta per rendere i musei elementi propulsori di crescita culturale della società veniva ad assumere assoluta centralità il concetto di "esperienza": il visitatore del museo - di qualsiasi età - veniva riconosciuto come il protagonista del suo sviluppo e del suo modo di apprendere. Rousseau, Pestalozzi, Froebel, Kerschensteiner, Freinet, Dewey, Baden Powell sono i principali nomi di riferimento in questa prospettiva dell'educazione. Per quanto riguarda i rapporti con la scuola, il museo veniva riconosciuto come strumento formativo e non puramente nozionale, mettendo ogni museo a disposizione delle scuole non soltanto per un'attività didattica limitata alla singola disciplina, ma come un "laboratorio" aperto ad ogni indirizzo di ricerca. Una collezione "museale" promuove, dunque, sia la conoscenza in tutti i cittadini, a tutte le età (Educazione Permanente), sia rinnova le metodologie di insegnamento dei vari saperi attraverso procedure didattiche di tipo "attivo", volte a promuovere forme di apprendimento "significativo", non puramente nozionistico. In questo quadro gioca un ruolo centrale la concreta esperienza effettuata da ciascun allievo. ⁵²

Proprio nel 1969 nasce negli USA il primo Science Center, l'Exploratorium di San Francisco, un luogo in cui – al contrario di quanto accade per i musei tradizionali – il motto è «vietato *non* toccare», secondo quella che è diventata una vera e propria categoria con cui classifichiamo i musei: "*hands on*", versus "*hands off*", ovvero i musei tradizionali che hanno spesso finalità conservativa, in cui normalmente è consigliato tenere a posto le mani e tra il visitatore e l'oggetto c'è un vetro. La proposta di Frank Oppenheimer, con l'Exploratorium, era quella di un museo all'interno del quale le persone avrebbero direttamente toccato e manipolato quanto esposto. Non dimentichiamo che siamo nell'epoca del già citato progetto PSSC.

Il pubblico deve interagire con gli oggetti, proprio come fanno normalmente gli scienziati nei loro laboratori (Col, 2009).

⁵¹ Statuto dell'ICOM -sezione italiana dell' International Council of Museums -, 1951

⁵² Antonio Ciocca, MPI-DGSI, sito MIUR

Il museo deve insegnare che la scienza si trova ovunque intorno a noi e che la sua comprensione è alla portata di tutti. La scienza deve essere rimossa dall'esclusivo piedistallo degli scienziati, e riportata nella sfera della vita comune. Bisogna convincere il pubblico che "fare scienza" è interessante e può anche essere divertente" (Hein - 1990). Per questo motivo nascono gli *exhibit*, (sebbene la parola derivi dal latino *exhibere* - tenere, sostenere - ha acquisito il significato anglosassone di 'mostrare') che diventano lo strumento per realizzare questo rivoluzionario tipo di museo. L'idea di Oppenheimer è stata senz'altro originale e, lo scopo di riavvicinare le persone (soprattutto le giovani generazioni) alla scienza è stato senz'altro raggiunto: l'idea dell'Exploratorium è stata esportata ed 'adottata' in molti luoghi del mondo ormai, e l'Exploratorium stesso evolve elaborando nuove strategie anche per la didattica (quali il recente tinkering), coinvolgendo, oltre agli scienziati, artisti ed artigiani che costruiscono nuovi exhibit, migliorano e curano la manutenzione di quelli esistenti⁵³.

I musei e i centri della scienza sono riconosciuti come enti formativi di supporto alle scuole, e le scuole possono utilizzare gli exhibit interattivi per effettuare lezioni diverse da quelle in aula. Gli exhibit interattivi sono infatti l'espressione più popolare della scienza "differenziale". Essi si presentano al visitatore di un museo della scienza come alberi di un "bosco": da lontano danno l'idea di un continuo indifferenziato, ma da vicino si presentano individualmente, distinti per "specie" e per "forma". Il visitatore che entra in un museo è come una persona che inizia una passeggiata in quel "bosco" (Oppenheimer, 1973). Si continua a parlare di apprendimento formale e informale ma senza più riferirsi alla rigida differenziazione delle loro caratteristiche, poiché ormai il vero, nuovo, obiettivo comune è quello di insegnare e di apprendere meglio, in tutti i modi possibili (Swartz, 1997). È avvenuto qualcosa che potrebbe esprimersi come il progressivo allargamento della comunità scientifica⁵⁴.

In Italia, il primo science centre, l'"Immaginario scientifico", nasce nel 1987, a Trieste, per volontà del fisico Paolo Budinich; nello stesso anno a Napoli prende il via la prima edizione di "Futuro remoto", che anticipa la creazione di un altro Science Center, "la Città della Scienza" (il cui primo lotto è stato inaugurato nel 1996) per opera di un altro fisico, Vittorio Silvestrini. Il successo di pubblico di Città della

⁵³ http://www.torinoscienza.it/dossier/dalla_storia_ad_oggi_dai_musei_agli_science_center_4142.html

⁵⁴ Cerreta Apprendimento formale e apprendimento informale delle scienze

www.scienza viva.it/pubbl/rtf/APPRENDI_12.rtf

scienza è stato enorme, tanto da far entrare nel comitato direttivo dell'ECSITE (European Collaborative for Science and Technology Exhibitions), la più grande e attiva associazione europea di Science Center ed esposizioni scientifiche⁵⁵. In quella stessa fine degli anni Ottanta il Ministro per l'Università e la Ricerca Scientifica e Tecnologica Antonio Ruberti promuove una legge per la diffusione della cultura scientifica, la 113/1991, che a tutt'oggi è l'unica legge (poi modificata nella 6/2000) che, pur nella limitatezza del finanziamento, sostiene iniziative temporanee e permanenti di comunicazione della scienza. Anche grazie ad esse molte sono state le mostre interattive (ma solo temporanee), studiate e attivate da istituti di ricerca o associazioni di categoria quali l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia, la Società Italiana di Fisica, la Società di Astronomia Italiana, l'Unione Matematica Italiana, la Società Italiana di Chimica, l'Associazione per l'Insegnamento della Fisica. Secondo Attilio Ferrari in Italia, nonostante il tempo trascorso dalla riforma della scuola di Giovanni Gentile, che relegava la scienza a materia di scarso valore intellettuale, la cultura scientifica è ancora sentita dai più come una cultura di serie B. Se i grandi progetti non riescono a decollare, ci dice, è perché i finanziamenti dedicati alla diffusione della cultura scientifica, ancora, non sono di dimensioni comparabili a quelli dedicati ad altre realizzazioni culturali. C'è ancora molto da fare perché politici e amministratori diano il giusto valore, anche in termini di dimensioni degli investimenti, alla ricerca, alla comunicazione e all'educazione scientifica.

In questi anni in molte parti di Italia, spesso partendo dalla volontà di singoli scienziati, si sono dunque trovate le strade per costruire piccoli e meno piccoli science centre, nati per la maggioranza con risorse locali. La diffusione della cultura scientifica è dunque effettivamente cresciuta in questi decenni, anche grazie alla legge 6/2000. Essa non è però più sufficiente né a supportare la miriade di iniziative di valorizzazione della cultura scientifica che ogni anno vengono organizzate in Italia né tanto meno a contribuire alle spese di gestione ordinaria di queste tante strutture già nate e che nasceranno⁵⁶.

⁵⁵ Nel § 6.1 è descritta l'ammissione dei DivertiEsperimenti al Congresso ECSITE 2017.

⁵⁶ [https://jcom.sissa.it/sites/default/files/documents/Jcom0502\(2006\)F01_it.pdf](https://jcom.sissa.it/sites/default/files/documents/Jcom0502(2006)F01_it.pdf)

4.3 I “DivertiEsperimenti”: un mini Science Center universitario

La raccolta di esperimenti interattivi “DivertiEsperimenti” è stata da noi progettata e realizzata per consentire al pubblico generico, ma con attenzione particolare a quello scolastico, di “manipolare” e di familiarizzare con i fenomeni della natura, attraverso un approccio informale e anche divertente. Pur essendo nata nel 2003 (D’Acunto et al., 2004), la mostra ha avuto un nuovo impulso tramite questo lavoro di dottorato⁵⁷.

La mostra è basata, come i più moderni Science Center, sul modello interattivo “hands-on”, secondo il quale l’apprendimento avviene attraverso la sperimentazione personale e diretta.

Progettare gli exhibit⁵⁸ secondo le esigenze educative prefissate è stato un lavoro, anche di ricerca, propedeutico alle attività e alle sperimentazioni di seguito descritte. La realizzazione degli exhibit è partita da una ricerca scientifica sullo stato dell’arte sulle proposte analoghe realizzate in Italia e all’estero, da studi e confronti con esperti di mostre e manifestazioni (in primis dall’Exploratorium di San Francisco, poi dalle mostre “Imparagiocando” e “Dal semplice al complesso” dell’INFM- CNR di Genova, fino al Festival della scienza di Genova, facendo riferimento alla mostra GEI dell’Università di Udine, e a “Le ruote quadrate” di Calitri (Av) nonché a “Città della Scienza” di Napoli). Gli exhibit dei DivertiEsperimenti, realizzati sulla base di tali modelli, hanno comunque un design originale ed unico. Progettare exhibit o, in generale, esperimenti per l’apprendimento informale che siano efficaci verso un pubblico non esperto significa rendere tangibile un fenomeno, spesso utilizzando analogie e semplificazioni per rendere comprensibili concetti teorici difficili spesso da cogliere, perché lontani dall’esperienza comune. Al contempo si deve prestare attenzione a non svilire il fenomeno, dandone una visione troppo semplicistica e fuorviante. Una volta ottenuto l’oggetto desiderato, il lavoro è completato con la realizzazione di schede tecniche che illustrano gli esperimenti, per renderli fruibili ai visitatori anche in assenza di guida.

Al momento la mostra raccoglie circa 40 exhibit, la maggioranza dei quali accompagnato da una scheda descrittiva⁵⁹; essa è arricchita inoltre da una raccolta di

⁵⁷ D’Acunto I, Pace S. (2016) “DivertiEsperimenti”: un mini science center universitario per collegare didattica informale e formale- comunicazione al Convegno AIF 2016

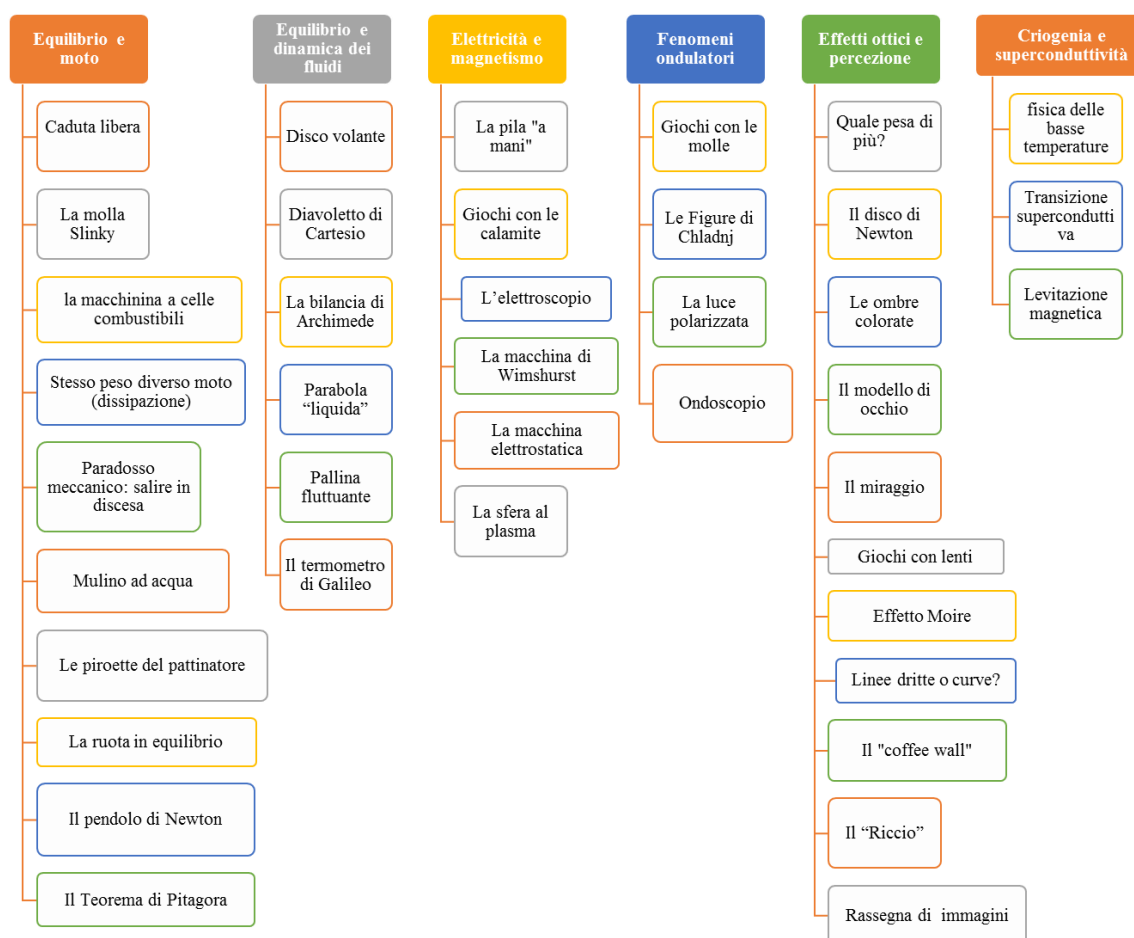
⁵⁸ il numero degli exhibit è variabile, perché, essendo molto utilizzati, richiedono spesso manutenzione, e dunque non sempre tutti sono utilizzabili; inoltre, quando possibile, vi sono nuovi acquisti.

⁵⁹ Nell’Appendice A 2 sono raccolte le schede dei principali esperimenti della mostra “DivertiEsperimenti”.

immagini sulla percezione visiva. Oltre a tali semplici schede, che guidano all'esplorazione individuale per un apprendimento autonomo ed informale, la presenza di animatori esperti può permettere approfondimenti a diversi livelli dei fenomeni proposti, a seconda dell'interesse del fruitore.

Gli exhibits dei DivertiEsperimenti possono essere raggruppati, per semplicità, nelle tematiche in tabella:

Tabella 13 Elenco degli Exhibit dei DivertiEsperimenti



Ho scelto di realizzare degli **esperimenti trasportabili** piuttosto che fissi (come avviene negli Science Center), con un design che ne renda quando più pratica e versatile la fruibilità. Ciò facilita il trasporto in luoghi diversi ed anche la creazione di percorsi personalizzati, scegliendo gruppi di sottoinsiemi di exhibit a seconda dell'esigenza didattica del momento.

Lo scopo ultimo è naturalmente l'attivazione della mostra per un pubblico quanto più vasto, soprattutto scolastico ma non solo. Ho così curato l'allestimento e l'attivazione della mostra dei DivertiEsperimenti in svariate occasioni pubbliche

aperte alla cittadinanza oltre che alle scuole. Per attivare gli exhibits per il pubblico entra in gioco una competenza di comunicazione scientifica: per essere efficaci nella divulgazione è necessaria la capacità di interloquire a vari livelli a seconda delle caratteristiche (dell'età, ad esempio) e della predisposizione dell'interlocutore, utilizzando registri e contenuti differenti a seconda dei casi. È stato quindi necessario preoccuparsi anche di formare e gestire gruppi di animazione della mostra (laureandi, dottorandi di ricerca e borsisti). Pur essendo aspetti che ho curato molto e che mi hanno particolarmente coinvolto, questi della realizzazione degli exhibit e della comunicazione scientifica sono stati però marginali rispetto al focus del presente lavoro.

Con tali premesse, le principali domande di ricerca alla base del mio lavoro sono state quelle riassunte nella tabella 14:

Tabella 14
Domande di ricerca alla base del presente lavoro

- con quali sperimentazioni l'Università (nella fattispecie il nostro Dipartimento di Fisica) può rispondere, utilizzando le proprie risorse, alle esigenze formative della scuola, alla luce anche della attuale normativa?
- Che contributo può fornire un laboratorio di ricerca didattica centrato su un mini Science Center universitario, che parta dall'utilizzo dell'apprendimento informale delle scienze, per la costruzione anche di saperi formali per studenti e docenti?

La nostra mostra di exhibit ha il valore aggiunto di risiedere all'interno di un Dipartimento di Fisica universitario: fa parte dunque di un progetto didattico che può estendersi a diversi altri livelli, formali oltre che informali. A seconda del contesto didattico, infatti, partendo dai nostri exhibit ed utilizzando la guida esperta dei ricercatori e le strumentazioni dei laboratori di ricerca universitari, studenti e docenti possono approcciare nuove tematiche della fisica. In particolare, oggetto della presente ricerca è stato lo studio e la sperimentazione di percorsi laboratoriali ad hoc, che hanno dato la possibilità di approfondire argomenti della fisica classica ed esplorare alcune tematiche della fisica moderna quali la superconduttività, la fisica quantistica, l'astrofisica. Di seguito descriverò le proposte di apprendimento progettate e/o sperimentate collegate alla mostra che, ritengo, hanno consentito di

realizzare un singolare ponte pedagogico tra scuola e Università, e tra apprendimento informale e temi della ricerca scientifica, tipicamente formali.

Il presente lavoro di dottorato è partito dunque proprio dalla mostra “DivertiEsperimenti”, per utilizzarla come strumento di ricerca e sperimentazione didattica. La mostra, sia pure con non poche difficoltà organizzative, ha svolto un ruolo di riferimento per la divulgazione della cultura scientifica. Grazie alla progettualità sviluppata intorno ad essa sulla metodologia IBSE, ed in generale sulla didattica laboratoriale, per la formazione dei docenti e per gli studenti della scuola secondaria di secondo grado, abbiamo in definitiva raccolto risultati significativi rispetto alle domande di ricerca poste.

4.4 Il progetto “DivertiEsperimenti: sperimentiamo la fisica moderna”

Come già detto nel paragrafo 2.2, le Indicazioni Nazionali emanate dal Ministero dell’Istruzione hanno introdotto nel 2010 l’insegnamento della fisica moderna nei piani degli studi del quinto anno dei licei. È noto, e confermato da innumerevoli studi, che a livello didattico la fisica quantistica e relativistica presentano difficoltà di varia natura nell’insegnamento a scuola: tali argomenti richiedono strumenti matematici avanzati (equazioni differenziali, numeri complessi, ecc.), ma soprattutto sono lontani dall’esperienza concreta, non sono intuitivi, appaiono astratti. Inoltre, e non per ultimo come importanza, non sempre tali argomenti fanno parte del bagaglio formativo dei docenti di fisica nella scuola secondaria di secondo grado.

Una difficoltà intrinseca per la comprensione e lo studio della fisica quantistica è certamente l’insufficienza dei nostri sensi a sperimentarne direttamente i fenomeni. In generale, al di fuori dei laboratori di ricerca non è semplice eseguire esperimenti di fisica moderna; anche se ormai si stanno diffondendo strumenti di laboratorio adatti anche alle scuole, nel migliore dei casi si osservano effetti indiretti dei fenomeni in studio. Imparare partendo dalla propria esperienza, come abbiamo già sottolineato, è invece il modo più naturale per apprendere. Abbiamo pensato dunque di produrre buone pratiche di sinergia fra Università e Scuola per coadiuvare l’insegnamento della fisica moderna. Le proposte seguenti, a cui ho lavorato, sono infatti rivolte ai docenti che vogliono introdurre a scuola delle tematiche originali di fisica moderna e che si prestano ad essere sviluppate in collaborazione con l’Università, ad esempio attraverso uno dei progetti di orientamento attivati, quali il Piano Lauree Scientifiche o anche l’alternanza scuola-lavoro. In linea con il mio

lavoro di tesi e recependo la normativa vigente⁶⁰, tali attività hanno una connotazione laboratoriale: per quanto proprio la problematicità nella sperimentazione dei fenomeni quantistici e relativistici sia una delle principali difficoltà dell'insegnamento della fisica moderna, abbiamo cercato (con strategie didattiche particolari e utilizzando il patrimonio strumentale del Dipartimento) di proporre delle soluzioni attuabili didatticamente.

Con tale finalità abbiamo presentato due progetti relativi ai bandi ministeriali annualità 2014 e 2015, per concorrere ai finanziamenti della già citata Legge n. 6 del 2000 dedicata alle "Iniziative per la diffusione della cultura scientifica. I due progetti, entrambi dal titolo *“DivertiEsperimenti: sperimentiamo la fisica moderna”*, seppure con talune differenze, partono dalla mostra DivertiEsperimenti, proponendone ampliamenti e sviluppi. In particolare progettano un'estensione degli esperimenti della mostra alla fisica moderna, e il suo utilizzo alla formazione docenti sulla metodologia laboratoriale, oltre allo scopo divulgativo. Le finalità indicate sono:

- Rendere la mostra di esperimenti interattivi del Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” “DivertiEsperimenti” permanente presso l'Università stessa, pur con sezioni itineranti, cosicché essa sia fruibile con continuità, e funga da polo di riferimento per le attività di diffusione della cultura scientifica ed in particolare della fisica moderna sul territorio, favorendo la sinergia tra Università e Scuola.
- Dare alla mostra una collocazione stabile per rispondere in maniera più sistematica e strutturata alle esigenze di:
 - promuovere attività di diffusione della cultura scientifica
 - produrre formazione per docenti e studenti del territorio
 - attivare collaborazioni con altre realtà strutturate nella divulgazione della cultura scientifica, quale gruppi di ricerca Universitari e Science Center quali ad esempio “Città della Scienza” di Napoli
 - favorire la diffusione della cultura tecnico-scientifica nel campo della fisica moderna, in particolare nella fisica alla base dei dispositivi superconduttori utilizzati nel campo dell'energia, della medicina e dell'elettronica anche in collegamento con i numerosi progetti in atto presso la facoltà di scienze di

⁶⁰ Le Indicazioni Nazionali recitano espressamente che “la dimensione sperimentale potrà essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo anche a progetti di orientamento”

Salerno, quali il Piano Lauree Scientifiche ed alcuni progetti di ricerca Scuola ed Università.

Il progetto vuole dunque realizzare una risposta stabile e pervasiva presso l'Università di Salerno alle esigenze della diffusione della cultura tecnico-scientifica tramite la realizzazione di una mostra permanente che consenta un percorso interattivo e che, partendo dai fenomeni più famigliari, guidi fino alla scoperta della fisica moderna.

Il finanziamento richiesto per attuare appieno l'idea progettuale non è stato purtroppo ottenuto, ma è stata attestata la validità della nostra proposta⁶¹. Siamo stati dunque incoraggiati a proseguire con le sole forze del Dipartimento nell'opera progettata, facendo il possibile per implementare almeno in parte quanto previsto dal progetto.

Le proposte che abbiamo sviluppato riguardano entrambe (seppure con sostanziali diversità) l'effetto tunnel, che è un fenomeno della meccanica quantistica di grande fascino, anche per gli studenti, forse proprio perché la possibilità delle particelle di attraversare "barriere", che sembra contravvenire le leggi della natura, regola invece numerosi fenomeni della nostra vita quotidiana. Tale effetto, noto dal 1928, si può descrivere come la probabilità non nulla delle particelle di attraversare spontaneamente "barriere" classicamente impenetrabili. Senza questo fenomeno di natura quantistica, che può sembrare paradossale, non avremmo l'energia solare, né tantomeno i dispositivi di memoria (le cosiddette *memorie flash* ad esempio) sui quali si basano computer, smartphone ecc, né i moderni microscopi a scansione tunnel, né le risonanze magnetiche nucleari e tanto altro ancora. Si tratta dunque di un argomento significativo, che ritengo si presti per un insegnamento efficace della fisica moderna.

⁶¹ Entrambi hanno ricevuto buone valutazioni (qualità tecnico-scientifica del progetto, qualità dei proponenti ed efficacia divulgativa buone per il primo e rispettivamente buone, discrete e sufficienti per il secondo) e non sono stati finanziati per pochi punti.

4.4.1 Un ‘tunnel’ fra il PLS per i docenti e il PLS per gli studenti di fisica del liceo

Tale sperimentazione è un percorso didattico sviluppato in sinergia tra Università e Scuola, fra ricercatori, insegnanti e alunni, che può essere un esempio di ponte fra la ricerca didattica e la pratica scolastica. L’occasione è stata fornita dal Piano Lauree Scientifiche (PLS) dell’anno scolastico 2014-15, al quale ho partecipato nella doppia veste di docente di fisica di liceo e di dottoranda in didattica della fisica. L’idea è stata elaborare un percorso didattico per effettuare una trasposizione didattica di uno degli argomenti di fisica moderna sviluppato nelle lezioni per la formazione dei docenti, l’effetto tunnel, sperimentandolo poi nella pratica scolastica, con gli alunni –provenienti dalla mia scuola- coinvolti nel PLS per studenti.

Il percorso, che richiede la conoscenza di elementi di fisica moderna e strumenti matematici non elementari, è stato rivolto ad alunni “esperti”, della classe V Liceo Scientifico, nella parte finale dell’anno scolastico. Le metodologie preminenti delle attività svolte con i ragazzi sono state quelle della didattica laboratoriale e della ricerca-azione: i concetti proposti sono stati mediati con esempi, esperimenti reali laddove possibile o altrimenti virtuali, con il costante obiettivo di stimolare un apprendimento attivo. Lo schema attuativo è rappresentato nella figura 9 seguente (e descritto di seguito):

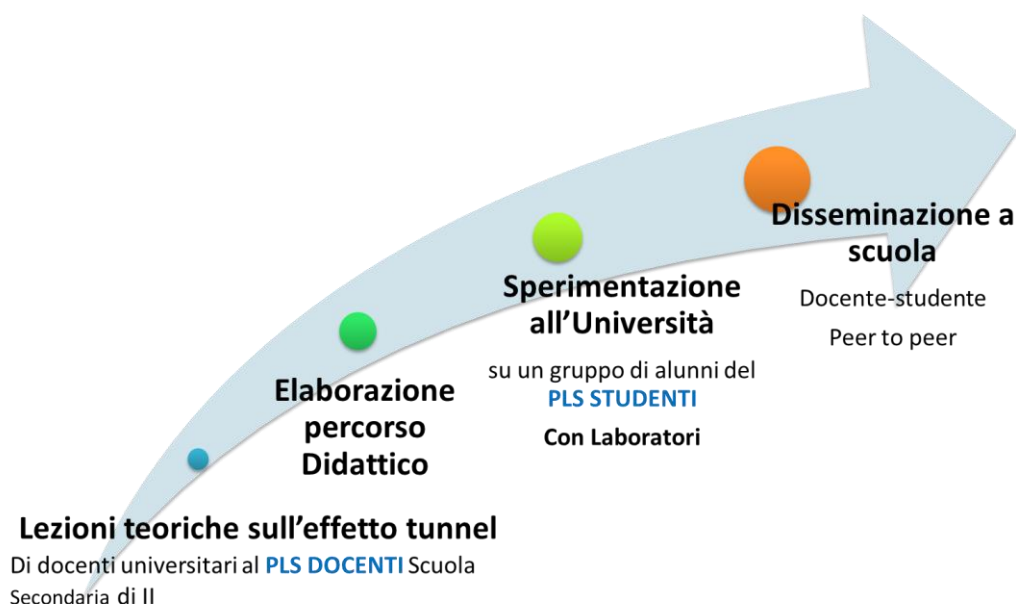


Figura 9

Le fasi del progetto “Un ‘tunnel’ fra il PLS per i docenti e il PLS per gli studenti”

Prima fase: lezioni universitarie sulla fisica moderna nell'ambito del PLS per docenti di Fisica (15 ore).

Seconda fase: pianificazione della sperimentazione (elaborazione del percorso didattico).

Terza fase: attuazione della sperimentazione con attività teoriche e pratiche con 20 studenti di quinta del liceo Scientifico La Mura di Angri (Sa), partecipanti al PLS per gli alunni presso lo stesso Dipartimento "E. R. Caianiello", e selezionati in diverse sezioni della scuola. Le attività sono state svolte presso i laboratori del Dipartimento usufruendo delle strumentazioni e del know-how di didattica e di ricerca universitari selezionate per il percorso (10 ore).

Contenuti: le caratteristiche macroscopiche che differenziano lo stato solido: isolanti, conduttori, semiconduttori e superconduttori; la funzione d'onda (soluzioni dell'equazione di Schrodinger in casi semplici); l'effetto tunnel e sue applicazioni; il principio di funzionamento del Microscopio a Scansione Tunnel (STM) e il calcolo della corrente di tunnel in casi semplici; esempi di utilizzo attuale (dispositivi SQUID-dall'inglese "superconducting quantum interference device", memorie *flash* ecc.) e prospettive future: i computer quantistici (cenni).

Ci siamo proposti di far avvicinare in maniera informale i ragazzi alla fisica quantistica guidandoli in un percorso che li conducesse anche a formalizzare alcune proprietà di una particella, dovute alla sua natura ondulatoria, quando incontra una barriera di potenziale. Gli studenti hanno "scoperto il mistero" di come tale particella possa non solo venire riflessa (che è l'unico risultato possibile classicamente, si pensi all'urto contro una parete) ma possieda una probabilità non nulla di essere trasmessa oltre la barriera, anche nel caso in cui abbia energia cinetica inferiore all'energia potenziale della barriera. Abbiamo proposto il classico problema della particella quantistica di massa m che si muove in linea retta e incontra, lungo il suo percorso, una barriera di potenziale di forma rettangolare, come quella schematizzata in figura 12. Risolvendo l'equazione di Schrödinger per gli stati stazionari separatamente nelle tre regioni spaziali individuate dal potenziale, nell'ipotesi in cui l'energia della particella risulti minore della barriera di potenziale, la soluzione completa del problema si otterrà applicando le condizioni di continuità alle soluzioni e alle loro derivate prime ai bordi (Halliday et al, 2002).

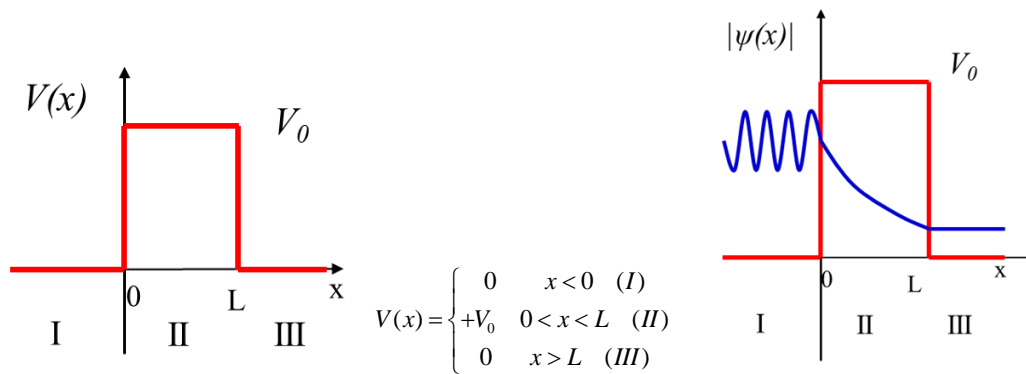


Figura 10

Schema di barriera di potenziale di forma rettangolare e base L e andamento della funzione d'onda di una particella in tale regione spaziale.

In $x=0$ e $x=L$ la particella può essere sia riflessa (con un coefficiente di riflessione R) che trasmessa (con un coefficiente di trasmissione T).

Abbiamo guidato gli studenti al calcolo del coefficiente di trasmissione associato al fenomeno per far comprendere il manifestarsi della natura quantistica-ondulatoria della materia, in tre casi concreti: un elettrone in un atomo, un nucleo atomico, ed infine un'automobile. In tal modo, operativamente, essi si rendono conto di come masse diverse, con condizioni al contorno diverse, producano effetti macroscopicamente molto diversi:

Consideriamo dunque un elettrone di massa $m=10^{-27}$ g, che si muova all'interno di un atomo, per cui le grandezze in gioco saranno $L=10^{-8}$ cm, $V_0=10$ eV. Se assumiamo che $V_0-E \sim 1$ eV, il coefficiente di trasmissione è $T=2/3$. In altre parole è più probabile che l'elettrone oltrepassi la barriera, divenendo libero, piuttosto che essere riflesso restando intrappolato all'interno dell'atomo.

Esaminiamo, poi, il caso di un nucleo atomico di massa $m=10^{-24}$ g, che si muova all'interno di una regione $L=10^{-13}$ cm. Sia inoltre $V_0=10$ MeV. Allora se assumiamo che $V_0-E \sim 1$ MeV, otteniamo un coefficiente di trasmissione $T=10/11$. In questo caso la barriera è in sostanza trasparente, e il nucleo risulta molto instabile.

Passiamo al macroscopico, estendendo lo studio ad un'auto di massa $m=1000$ Kg, che si muova ad una velocità $v=100$ km/h, se essa si scontra con una collina alta $h=50$ m e larga $L=100$ m. In questo caso l'energia cinetica e quella potenziale gravitazionale alla sommità della collina sono praticamente uguali. Allora se assumiamo che $V_0-E \sim 1$ erg, per esempio l'elettrone, di massa circa 10^{-27} g, che si muova all'interno di un atomo, può avere un coefficiente di trasmissione pari circa a $T=2/3$. In altre parole, è più probabile in tali (realistiche) condizioni che l'elettrone

oltrepassi la barriera, divenendo libero, piuttosto che essere riflesso e restare intrappolato all'interno dell'atomo.

Rifacendo il calcolo nel caso di un nucleo atomico, di massa circa 10^{-24} g possiamo ottenere $T=10/11$: la barriera diventa in sostanza trasparente, e il nucleo risulta molto instabile.

Passiamo poi al macroscopico, estendendo lo studio ad un'auto di massa 1000 Kg, che si muova ad una velocità $v=100$ km/h, se essa si scontra con una collina alta $h=50$ m e larga $L=100$ m. In questo caso l'energia cinetica e quella potenziale gravitazionale alla sommità della collina sono praticamente uguali. Il coefficiente di trasmissione è $T=10^{-8 \times 10^{33}}$, ossia del tutto trascurabile: pur essendoci una probabilità non nulla, pare facile convincersi che non convenga provare a lanciarsi contro la collina con la speranza di attraversarla!

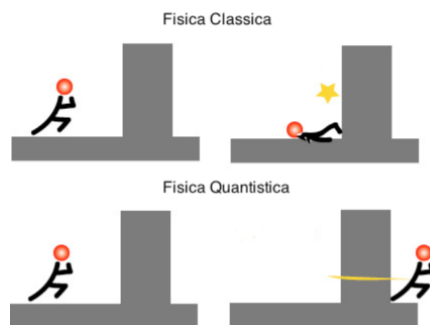


Figura 11

La fisica classica esclude l'attraversamento della barriera, nel caso in cui la particella in esame abbia energia cinetica inferiore all'energia potenziale della barriera; quantisticamente esiste invece sempre una probabilità finita di attraversamento.

Attività laboratoriali: Per riconoscere e osservare fenomeni della meccanica quantistica abbiamo svolto numerosi esperimenti durante le lezioni, che sono state sempre laboratoriali e interattive. Abbiamo effettuato:

- Esperimenti in laboratorio:

analisi di fenomeni ondulatori -diffrazione e interferenza della luce, con reticoli e laser dei laboratori universitari ma anche materiali poveri (ad esempio un Compact Disk a cui venga tolta la pellicola superficiale fornisce perfetto reticolo con il quale poter osservare il fenomeno della diffrazione).

- Abbiamo proposto e discusso la visione di filmati e applet con esperimenti virtuali sull'effetto tunnel e altri tipici fenomeni di fisica moderna, in particolare sulla doppia natura, ondulatoria e corpuscolare della luce e della materia, quali l'esperimento di

Young, e l'esperimento di interferenza di elettroni⁶².

- Parte centrale del percorso è stata la lezione nel Laboratorio di analisi dei materiali, in particolare superconduttori, con il Microscopio STM ad effetto Tunnel (Bobby, 1980).

L' STM, inventato nel 1981 da G. Binnig e H. Rohrer (che per questo meritano il Nobel nel 1986) è appunto uno strumento che si basa sull'effetto tunneling elettronico.



Figura 12
Foto d'insieme del Microscopio ad Effetto Tunnel (STM) del Dipartimento di Fisica di Salerno

Una punta conduttrice è prossima alla superficie del materiale da esaminare; una differenza di tensione applicata tra punta e campione può consentire agli elettroni di attraversare il vuoto tra essi, grazie all'effetto Tunnel (Binnig et al.,1982). La natura quantistica consente a tale microscopio di raggiungere una risoluzione a livello subatomico.

- Con materiali poveri, nella fattispecie superfici con diverso grado di scabrosità e un normale lapis, simuliamo macroscopicamente ciò che avviene tra la punta che effettua lo scanning ed il campione di materiale da analizzare nell'STM. Nella foto in figura 13 vi è un esempio di come abbiamo ricreato ciò che accade a livello microscopico: una spugna ondulata (con creste e valli irregolari) simula una superficie di un materiale con una struttura microscopica ordinata.

⁶² Tale esperimento, tutto italiano (realizzato dai bolognesi Giulio Pozzi, Gian Franco Missiroli e Pier Giorgio Merli nel 1974), seppure già ipotizzato da Einstein e ritenuto impossibile da Feynman, è stato votato nel 2002 l'esperimento più bello di tutti i tempi della fisica da un sondaggio su Physics Word <http://l-esperimento-piu-bello-della-fisica.bo.imm.cnr.it/>

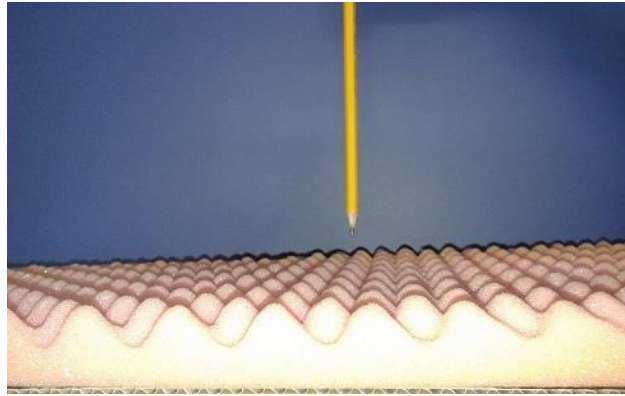


Figura 13

Simuliamo con un lapis e una spugna ondulata il movimento della punta di “scanning” sul materiale da analizzare al microscopio

I ragazzi hanno potuto vedere numerose immagini di analisi di materiali ottenute nel laboratorio di ricerca del Dipartimento. Di seguito riporto alcune elaborate dall’STM immagini reperite in rete.

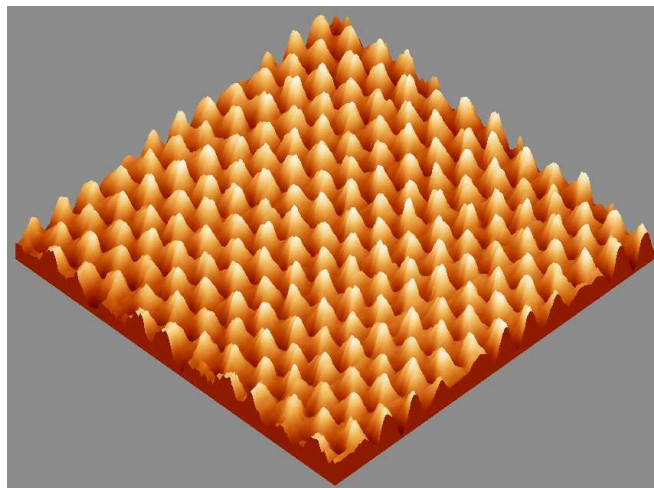


Figura 14

Immagine registrata con microscopio STM dal gruppo di nano fisica della Purdue University, Indiana USA

Nel 1993 Eigler e Cromie utilizzarono un STM a bassa temperatura per manipolare atomi di ferro, posizionandoli a formare un anello. Gli atomi di ferro riflettono gli elettroni liberi di superficie del rame creando un’onda stazionaria, come predetto dalla meccanica quantistica. Questa immagine (figura 15) è dunque la prova “fotografica” dello stato quantistico della *materia* (Crommie, 1993).

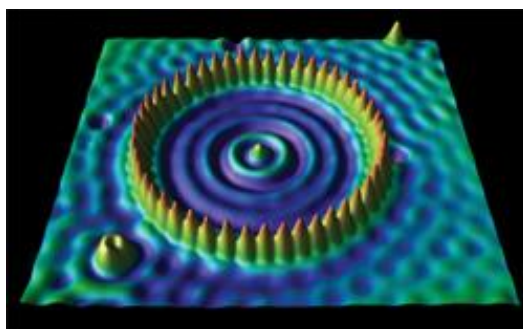


Figura 15

(Dalla galleria di immagini IBM STM). Un anello di atomi di ferro su una superficie di rame “fotografato” con l’STM. Le spettacolari onde e increspature intorno all’anello sono dovute alla distribuzione della densità di un particolare insieme di stati quantistici del recinto di atomi. Tramite il modello della particella quantistica in una scatola con barriera è possibile prevedere tale comportamento.

Quarta fase: verifica in uscita

I momenti informali nostro percorso che hanno incuriosito e motivato i ragazzi ad appropriarsi di conoscenze da loro percepite come distanti sono stati ricordati col curriculum scolastico, ed abbiamo inserito anche il momento della valutazione. Abbiamo scelto una modalità di verifica scritta, proponendo la seguente prova in uscita agli studenti:

La curva caratteristica tensione corrente di un STM (Scanning Tunneling Microscope) è con buona approssimazione rappresentata dalla funzione

$$I = \frac{V}{R_0} e^{-Kd\sqrt{\phi}}$$

Dove $k = 1.025 \frac{eV^{-1/2}}{\text{Å}}$; I = corrente; V = tensione applicata; d = distanza tra punta del microscopio (probe) e campione; ϕ = funzione lavoro (lavoro di estrazione) del campione e del probe.

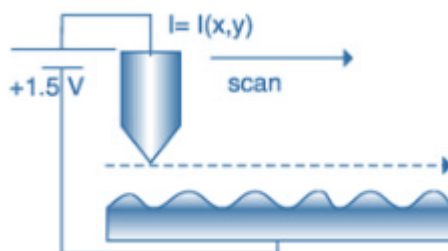


Figura 16

Schema di funzionamento di un STM in modalità ad altezza costante della sonda dal materiale campione

Un microscopio STM, nella funzionalità che mantiene l'altezza del probe fissa, registra fra due punti della superficie del campione ispezionato una differenza di corrente di 1.2 nA. Considerando che il probe è costituito di alluminio e che la resistenza in contatto del sistema (R_0) è pari ad 2 Ohm, si determini la differenza di altezza tra i due punti ispezionati.

Si tenga presente che per l'alluminio la funzione di lavoro è $\Phi = 4,16$ eV e che la tensione di scanning utilizzata è di +1.5 V.

Tenuto conto che le dimensioni medie di un atomo di alluminio sono di circa 125 pm, quanti atomi di alluminio creano il dislivello rilevato?

Tale verifica è solo un esempio possibile e naturalmente può essere arricchita e completata con quesiti risolvibili per competenze.

I punti di forza della nostra proposta didattica possono essere così riassunti:

- agisce su vari livelli didattici, coinvolgendo diverse figure nel processo di insegnamento-apprendimento,
- raccorda il PLS docenti e il PLS alunni,
- attiva una sinergia della Scuola con l'Università nell' utilizzare anche competenze e strumentazioni universitarie direttamente con i ragazzi, pur sempre mediate dai docenti,
- attiva un processo di tipo Inquiry, stimolando un approccio critico e attivo per lo studio delle discipline scientifiche secondo un apprendimento efficace e per concetti,
- mette in campo strumenti della ricerca per la comprensione di tecnologie di uso comune ma il cui funzionamento si basa su fenomeni quantistici,
- nella fase a scuola, attiva la collaborazione fra docenti e alunni di diverse classi e anche di diverse discipline; la trasmissione tra i pari pone poi in primo piano l'alunno e fornisce anche uno strumento di valutazione,
- attiva nei docenti le competenze relative a:
 - motivare alla conoscenza di fenomeni non direttamente osservabili,
 - gestire e attivare il gruppo classe fornendo strumenti per mettere in campo le personali potenzialità nell'apprendere,
 - stimolare alla formulazione di domande e di ipotesi,
 - progettare e lavorare in team.

L'idea progettuale è stata da noi elaborata e sviluppata in itinere in tempi molto stringenti, coerenti con la programmazione del PLS (il tutto, dalla formazione dei docenti alla trasposizione didattica, passando per l'ideazione originale del percorso, si è svolto da febbraio a maggio 2015) per cui si può dire che ha valore di progetto pilota. In quanto tale è sicuramente migliorabile, soprattutto per quanto riguarda le tempistiche dell'implementazione in classe, che nel nostro caso sono state ridotte considerando che molto tempo si è dedicato alla progettazione, alla produzione e organizzazione dei materiali didattici.

La fase di trasmissione tra i pari rappresenta una modalità dal fortissimo potenziale educativo didattico, che pone in primo piano l'alunno e fornisce anche uno strumento di valutazione sulla ricaduta delle attività.

L'alunno, sapendo di dover a sua volta insegnare ai pari, attiva infatti competenze che altrimenti restano passive. In tal modo si dissemina e si completa la circolazione di idee fra Università e Scuola.

Naturalmente la modalità laboratoriale proposta, che cortocircuita i due livelli di PLS, può essere implementata anche su argomenti diversi dall'effetto tunnel, che resta una delle tante tematiche della Fisica Moderna poco sviluppate nei normali testi scolastici ma pregnanti per quanto riguarda la fenomenologia e le applicazioni.

Abbiamo cercato di dare agli alunni quanti più strumenti didattici utilizzando le attività di ricerca sia sulla fisica quantistica che sulla didattica svolte presso il Dipartimento, stimolandoli ad un approccio critico e attivo per lo studio delle discipline scientifiche. In particolare abbiamo introdotto a vari livelli tematiche e svolto attività in parte propagabili in classe ma in parte difficilmente riproducibili con i soli mezzi scolastici. Abbiamo cercato di proporre e attuare il passaggio dalla *conoscenza dichiarativa* ("so cosa è l'effetto tunnel") alla *conoscenza operativa* ("so da dove proviene la conoscenza di tale fenomeno, ne comprendo gli effetti e le ricadute nella tecnologia attuale e futura, so utilizzare tale conoscenza...")

I ragazzi sono apparsi coinvolti e interessati e hanno collaborato proficuamente a tutte le attività proposte. Gli argomenti affrontati sono stati tanti e complessi, e certamente avrebbero richiesto molto più tempo; comunque è stata una eccellente occasione formativa per i discenti ma anche per i docenti.

Migliorato ed ampliato, questo protocollo che abbiamo sperimentato può proporsi come modello di buone pratiche, in quanto fonde sinergicamente le attività del PLS

alunni con quelle per i docenti, e esalta la finalità ultima del Piano Lauree Scientifiche nel voler avvicinare gli alunni delle classi ultime della Scuola Secondaria di II grado alle discipline Scientifiche coinvolgendo le risorse Universitarie.

Una conferma in tale senso ci è stata data dal riconoscimento, da parte dell'Ufficio Scolastico Regionale, quale *Buona pratica* per il PLS per docenti. Siamo stati infatti invitati a presentare il lavoro (insieme agli altri sei selezionati nella Regione Campania per Matematica, Fisica e Chimica) durante la manifestazione conclusiva del PLS organizzata dall'USR 2015 a *Città della Scienza*, nell'ambito della Convention nazionale "*Tre giorni per la Scuola*"⁶³. Gli addetti ai lavori presenti hanno mostrato di apprezzare molto la valenza innovativa della proposta e le scelte educativo-didattiche effettuate.

4.4.2 Un nuovo exhibit per l'analogia meccanica (un pendolo) di un dispositivo quantistico (la giunzione Josephson).

Il pendolo rappresenta uno dei modelli fisici più usati per proporre agli studenti un esempio di fenomeno naturale periodico: nella scuola secondaria di secondo grado se ne studia un modello idealizzato, il pendolo semplice, una massa puntiforme m sospesa mediante un filo inestensibile di lunghezza l che può compiere oscillazioni rispetto ad una posizione di equilibrio, così come si vede schematizzato in fig. 17:

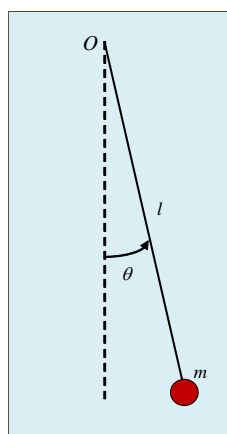


Figura 17

Schema di pendolo semplice

Il pendolo nella sua versione meno idealizzata, il pendolo fisico, è noto per la proprietà di isocronismo alla base dell'orologio a pendolo, cosicché non è raro

⁶³<http://www.cittadellascienza.it/3giorniperlascuola/2015/wp-content/uploads/2015/10/PROGRAMMA3G2015-S.pdf> pag 52

trovare esempi di questo sistema meccanico nella vita di tutti i giorni. Per piccole oscillazioni, il pendolo obbedisce all'equazione dell'oscillatore armonico e rappresenta uno dei modelli fisici più studiati. Raramente invece si affronta lo studio della dinamica di un pendolo quando esso compie ampie oscillazioni, che possano portare anche a rotazioni complete attorno all'asse ortogonale allo stesso piano di oscillazione.

Abbiamo realizzato un nuovo exhibit per sperimentare la dinamica del pendolo fisico in diverse condizioni, dando nuovi strumenti informali per condurre gli studenti più maturi per un approfondimento della meccanica classica. Si tratta di pendolo fisico che può compiere oscillazioni, anche complete, una volta spostato dalla posizione di equilibrio grazie, ad esempio, a dei pesi ad esso collegato, e predisposto per essere immerso in mezzi liquidi. Può essere infatti interessante studiare il caso particolare del pendolo in regime di smorzamento e sovrasmorzamento, per il quale è possibile risolvere analiticamente, anche per ampie oscillazioni, l'equazione del moto. Si tratta di approfondimenti che richiedono dal punto di vista formale strumenti matematici avanzati, per cui l'exhibit potrebbe essere utilizzato per tali analisi qualitative anche al primo anno universitario.

Un ulteriore interesse che ha portato alla costruzione di tale oggetto è poi la possibilità di studiare attraverso esso, per analogia, la dinamica di un sistema quantistico: una giunzione Josephson, dispositivo superconduttivo che, per quanto poco noto ai non specialisti, vanta importanti e diffuse applicazioni tecnologiche. La progettazione e realizzazione di tale nuovo oggetto, oltre che ad approfondire i fenomeni della meccanica classica, prelude dunque a quella estensione alla fisica moderna auspicata dal progetto "DivertiEsperimenti: sperimentiamo la fisica moderna".

Il Dipartimento di Fisica di Salerno è da sempre un punto di riferimento internazionale per quanto riguarda la ricerca sia teorica che sperimentale sulla Superconduttività, e in particolare per la ricerca sulle giunzioni Josephson che erano di grande interesse anche per la ricerca aziendale. Abbiamo dunque pensato ad una proposta didattica inerente a tale settore della ricerca, che è poco noto ai non addetti, nonostante abbia notevoli implicazioni tecnologiche.

L'approfondimento suggerito, non convenzionale nella didattica scolastica, consente di approcciare molteplici aspetti della meccanica quantistica, utilizzando l'analogia come strategia didattica per superare alcuni ostacoli insiti

nell'insegnamento-apprendimento della fisica moderna. In particolare, caliamo in un contesto didattico la nota analogia tra la trattazione di una giunzione Josephson e quella di un pendolo meccanico, suggerendone anche un ulteriore approfondimento al caso limite di sovrasmorzamento (De Luca et al., 2015).

Alla fine degli anni Cinquanta del XX sec. fu studiato il tunnel di singoli elettroni in giunzioni costituite da due film metallici separati da una barriera di ossido sottile (dello spessore di alcuni nanometri). La caratteristica corrente-tensione (I - V) risulta, in tal caso, lineare per basse tensioni (dell'ordine dei millivolt). Nel 1960 Giaevier, utilizzando i risultati della teoria BCS (dalle iniziali degli autori, John Bardeen, Leon N. Cooper e John R. Schrieffer), estese il modello fenomenologico del tunnel fra metalli al tunnel tra superconduttori e ne sviluppò lo studio sperimentale. Il risultato per temperature $T > T_c$ (T_c è la temperatura critica del superconduttore) indicava l'andamento ohmico già noto, mentre per $T < T_c$ (ossia quando si ha l'effetto tunnel superconduttore-superconduttore) si osservava una caratteristica I - V fortemente non lineare, correlata alla presenza di *gap* di energia negli spettri di eccitazione di quasiparticelle dei superconduttori. Brian D. Josephson dimostrò l'esistenza di un accoppiamento debole tra due superconduttori in una giunzione tunnel con barriera estremamente sottile (dell'ordine di 1 nm, che prese il nome di giunzione Josephson), fornendo le equazioni che ne descrivono completamente l'elettrodinamica e, nel 1973 con Giaevier e Leo Esaki ricevette il Nobel per la fisica per le ricerche sperimentali sull'effetto tunnel superconduttivo (Barone, 1992). Da allora, continue ricerche scientifiche e tecnologiche hanno portato alla realizzazione di dispositivi superconduttivi basati su tale effetto, che vengono comunemente impiegati in innumerevoli campi per la loro caratteristiche: alta velocità, bassa dissipazione e bassa dispersione. È noto (Josephson 1963) che le equazioni costitutive dell'effetto Josephson sono le seguenti:

$$I = I_J \sin \phi \quad (1a); \quad \frac{d\phi}{dt} = \frac{2e}{\hbar} V \quad (1b).$$

Dove I è la corrente che fluisce attraverso la giunzione Josephson, V è la differenza di potenziale ai suoi capi, ϕ è la differenza di fase superconduttiva, I_J corrisponde alla corrente massima che si ha per tensioni V nulle, \hbar è la costante di Planck ridotta. Quello in esame dunque è un sistema oscillante; ci interessa studiare la dinamica

della differenza di fase superconduttiva ϕ in una giunzione Josephson nel limite di sovrasmorzamento (Liang Wu, 2016.). A tal fine adottiamo un modello, noto in letteratura come modello RSJ (Resistively Shunted Junction) formato da una giunzione di superconduttori ideali in parallelo con una resistenza R , come mostrato in Figura 18.

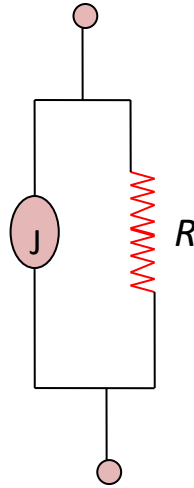


Figura 18

Modello RSJ di una giunzione Josephson: un resistore di resistenza R in parallelo con un elemento superconduttivo J . In quest'ultimo può fluire una corrente $I_J \sin \phi$.

Alimentando il dispositivo con una corrente I_B , possiamo scrivere l'equazione di continuità per la corrente che circola nella maglia:

$$\frac{V}{R} + I_J \sin \phi = I_B. \quad (2)$$

Esprimendo V in termini di ϕ come nell'Eq.(1b) e introducendo le quantità adimensionali $i_B = I_B/I_J$ e $\tau = \frac{2\pi R I_J}{\Phi_0} t$, dove $\Phi_0 = h/2e$ è il quanto di flusso (pari a $2,07 \times 10^{-15}$ Weber), possiamo riscrivere l'Eq. (2) come segue:

$$\frac{d\phi}{d\tau} + \sin \phi = i_B \quad (3)$$

Tale equazione, che descrive la dinamica della differenza di fase superconduttiva di una giunzione Josephson in regime di sovrasmorzamento, è del tutto analoga a quella che descrive la dinamica di un pendolo semplice sovrasmorzato.

Consideriamo infatti un pendolo costituito da un filo inestensibile di massa trascurabile e di lunghezza l sospeso nel punto fisso O , e da una massa sferica (di raggio r) di massa m , come schematizzato in figura 17.

La sfera, di densità ρ_s , si muova in un fluido di densità ρ_f , cosicché sia soggetta alla spinta di Archimede. Nel regime di validità della legge di Stokes, la sferetta è soggetta ad una forza viscosa, ed è sottoposta alla tensione del filo ed al proprio peso. Consideriamo di applicare un momento M_0 in O; avremo allora l'equazione

$$I_o \frac{d^2\theta}{dt^2} = -F_s(l+r) - m^*g(l+r)\sin\theta + M_0(t) \quad (4)$$

dove I_o è il momento di inerzia del nostro sistema, $m^* = m\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_s}\right)$ è la massa

efficace della sfera che tiene conto della spinta archimedeica.

$$S = \frac{m^* m g \left(l^2 + 2rl + \frac{7r^2}{5} \right)}{(6\pi\eta)^2(l+r)^3} \ll 1 \quad (5)$$

In tale condizione possiamo scrivere la seguente equazione per la dinamica del pendolo in regime di sovrasmorzamento:

$$\frac{d\theta}{d\tau} + \sin\theta = m_0(\tau) \quad (6)$$

Nel limite $S \ll 1$, dunque, l'equazione del pendolo in un mezzo viscoso risulta analoga all'Eq (3), scritta per una giunzione Josephson sovrasmorzata.

Tabella 15

Equazioni e grandezze analoghe fra giunzione Josephson e pendolo in regime di sovrasmorzamento.

Giunzione Josephson sovrasmorzata	Pendolo sovrasmorzato
$\frac{d\phi}{d\tau} + \sin\phi = i_B$	$\frac{d\theta}{d\tau} + \sin\theta = m_0(\tau)$
Differenza di fase superconduttiva ϕ	Angolo di deflessione θ
Corrente attraverso la giunzione i_B	Momento torcente normalizzato m_0
Conduttanza $1/R$	Coefficiente Viscosità η
Corrente Josephson $I = I_J \sin\phi$	Spostamento del pendolo $x = l \sin\theta$
Tensione ai capi della giunzione V	Velocità angolare

Abbiamo dunque sottolineato le analogie formali fra i due sistemi oscillanti in studio, schematizzandole come nella Tabella 15.

Didatticamente è importante che il docente, nell'enfatizzare tali analogie, ponga altrettanta attenzione nel sottolineare le differenze tra i due fenomeni e le loro diverse peculiarità.

A questo punto, laddove si ritiene che ci siano i prerequisiti didattici necessari, è possibile proporre un approfondimento, studiando analiticamente i due sistemi esaminati (De Luca et al., 2016). Nel caso in cui il momento forzante applicato al pendolo sovrasmorzato sia costante, è possibile infatti risolvere analiticamente l'Eq. (6). Per $m_0 < 1$ otteniamo due soluzioni costanti, una stabile ed una instabile. La soluzione stabile è $\theta^* = \arcsin \frac{1}{m_0}$, mentre l'instabile corrisponde a $\theta = \pi - \theta^*$. Il regime di stabilità varia quando l'angolo di rotazione arriva al valore $\theta = \frac{\pi}{2}$, così come emerge dallo studio del segno della derivata $\frac{d\theta}{d\tau}$ in corrispondenza di tale angolo. Per $m_0 = 1$, si ha una soluzione semistabile: il pendolo è in equilibrio in un punto al di sopra di O che abbia distanza verticale da esso pari ad l , finché non interviene una comunque piccola perturbazione.

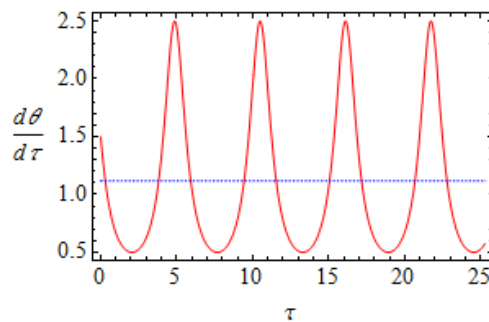


Fig. 19

Dipendenza dal tempo della frequenza angolare di un pendolo sovrasmorzato sottoposto a momento costante $m_0 = 1.50$.

Per $m_0 > 1$, la funzione $\theta = \theta(\tau)$ cresce monotonicamente, cosicché il segno della derivata $\frac{d\theta}{d\tau}$ è sempre positivo: si ha il cosiddetto “running state”. La curva m_0 in funzione di $\left\langle \frac{d\theta}{d\tau} \right\rangle$ corrisponde alla caratteristica di una giunzione Josephson

sovrasmorzata, ossia, all'andamento della corrente normalizzata i_B in funzione della tensione media $\left\langle \frac{d\phi}{d\tau} \right\rangle$.

Notiamo innanzitutto che la funzione $\frac{d\theta}{d\tau}$ è periodica.

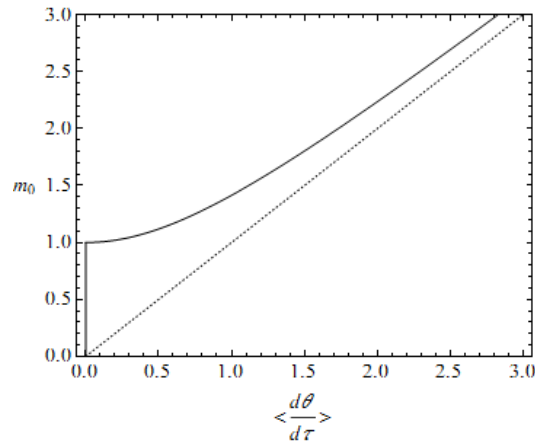


Figura 20

Andamento del momento forzante normalizzato agente su un pendolo sovrasmorzato in funzione della media temporale della frequenza angolare di oscillazione del pendolo stesso.

Notiamo che tale soluzione vale solo per $m_0 > 1$. Per $m_0 < 1$, invece, il pendolo è in equilibrio stabile, cosicché $\left\langle \frac{d\theta}{d\tau} \right\rangle = 0$. Il grafico dell'andamento di m_0 in funzione di $\left\langle \frac{d\theta}{d\tau} \right\rangle$ è mostrato in figura 20. Per alti valori di m_0 , il termine forzante diventa predominante rispetto al termine non lineare nell' Eq. (6) e quindi la velocità angolare media tende all' asintoto obliquo $m_0 = \left\langle \frac{d\theta}{d\tau} \right\rangle$.

Analogamente, in una giunzione Josephson, quando il valore assoluto della corrente i_B è minore di uno, la giunzione è nello stato puramente superconduttivo (tensione nulla). In questo stato, non fluisce corrente nel ramo resistivo del modello RSJ in fig. 1. In questo modo, la curva in fig. 13 si muove da -1 a 1 in quanto la soluzione per $V = 0$ dell'equazione di Josephson (1a) per ϕ esiste ed è la seguente:

$$\phi = s i n^{-1}(i_B) \quad (7)$$

Viceversa, per $i_B > 1$, si attiva il ramo resistivo e attraverso la giunzione si manifesta una tensione non nulla, come in fig. 6. Notiamo infine che, in perfetta analogia con

quanto visto per un pendolo sovrasmorzato, anche la caratteristica tensione-corrente di una giunzione Josephson ammette l'asintoto obliquo $I_B = V/R$.

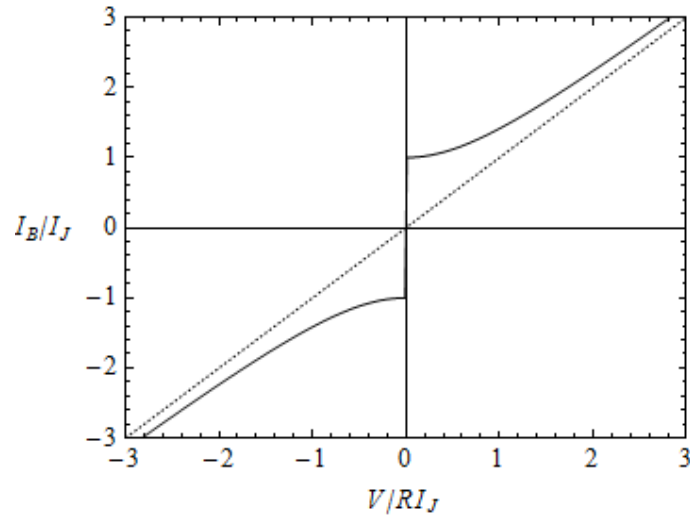


Figura 21

Andamento tipico della caratteristica corrente-tensione di una giunzione Josephson sovrasmorzata. Nel grafico sono state utilizzate, come specificato, variabili adimensionate.

Per la costruzione del modello meccanico del pendolo studiato, schematizzato nella fig. 24, è stato necessario stimare per quali valori delle grandezze fisiche in gioco sia possibile soddisfare le condizioni richieste in questo lavoro, riportate nell'Eq. 5.

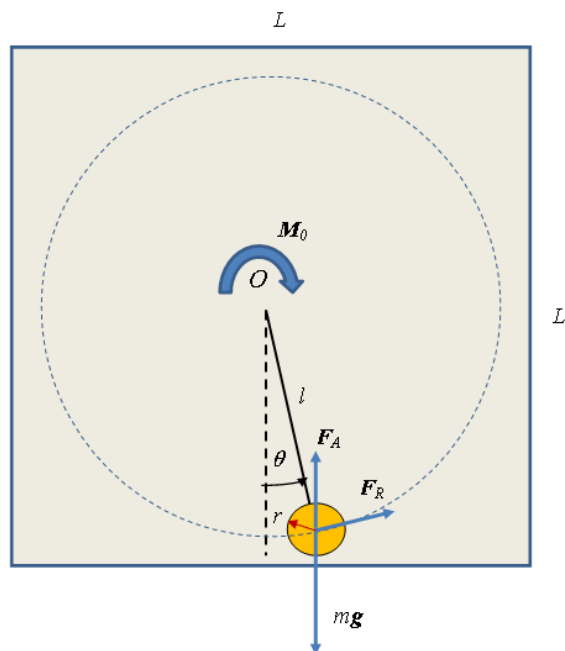


Figura 22

Schema bidimensionale di un pendolo sovrasmorzato completamente immerso in un fluido viscoso contenuto in un parallelepipedo a base quadrata di lato L e spessore d . Le forze rappresentate sono la forza peso mg , la forza di resistenza passiva del mezzo F_R e la spinta di Archimede F_A . Viene anche rappresentato il momento applicato M_0 .

Dalla definizione di m^* notiamo che, se la sferetta ha una densità prossima a quella del fluido, tale grandezza tende a zero; in tali condizioni possiamo facilmente soddisfare la (5). In base a tale considerazione, per definire un intervallo di valori del raggio r della sferetta e della lunghezza l dell'asta sottile, studiamo il caso in cui m sia la massa di una sferetta di PVC (Polivinilcloruro, $\rho_S = 1.38 \text{ g/cm}^3$) immersa in glicerina ($\rho_F = 1.25 \text{ g/cm}^3$, $\eta = 1.49 \text{ N s/m}^2$). Questa analisi ci permetterà di dimensionare il nostro apparato sperimentale in modo da soddisfare la relazione (5), attraverso questa particolare scelta di materiali. Una utile strategia è l'utilizzo del foglio elettronico, o di altri software per l'elaborazione e la rappresentazione dei dati. Nella fig. 8 riportiamo l'andamento della grandezza S in funzione del raggio r della sferetta, per vari valori di l : 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm. Scegliendo una ragionevole soglia massima per il valore di S , possiamo individuare i possibili valori di r ed l che ci portino a soddisfare la (5), compatibilmente con esigenze di carattere pratico.

Da questa analisi, considerando che bisogna anche ridurre indesiderati effetti di bordo, dovuti alla presenza delle pareti dell'apparato, si può stimare che un possibile dimensionamento dello stesso, le cui pareti formano un parallelepipedo di altezza d e di base quadrata di lato L , sia quello riportato nella tabella 16.

Tabella 16

Possibile dimensionamento dell'apparato sperimentale in fig. 7 nel caso di sfera di PVC di raggio r immersa in glicerina.

$L = 40.0 \text{ cm}$	$l = 15.0 \text{ cm}$	$r = 1.5 \text{ cm}$	$d = 8.0 \text{ cm}$
-----------------------	-----------------------	----------------------	----------------------

La stima delle dimensioni dell'apparato per differenti materiali è di per sé un'attività didattica preliminare di notevole valenza formativa nel contesto "impara facendo". L'ottimizzazione del sistema richiede infatti l'impiego di strategie didattiche e la messa in gioco di svariate competenze da parte del discente.

In base a tale studio è stato realizzato l'exhibit in oggetto, e dopo averne perfezionato e collaudato le performance è auspicato che verrà sperimentato il modello teorico proposto.

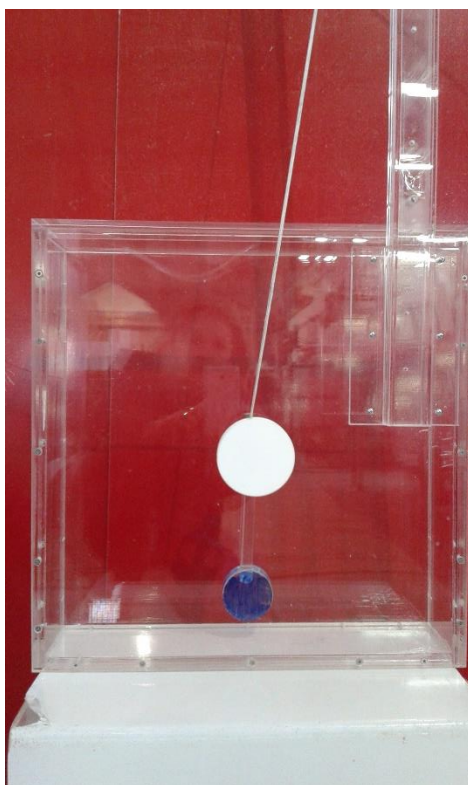


Figura 23

foto frontale dell'apparato per sperimentare la dinamica di un pendolo fisico anche in condizioni di ultrasmorzamento (immergendolo in un fluido viscoso contenuto nel parallelepipedo a base quadrata di lato L e spessore d). Il momento viene applicato attraverso una carrucola con appositi pesetti.

È auspicabile che gli studenti completino il percorso verificando sperimentalmente anche le equazioni descritte per il dispositivo quantistico. A tale scopo, è necessario che si attui un percorso che preveda l'uso di strumentazioni e competenze di livello universitario. Al momento la proposta progettata non è stata ancora sperimentata didatticamente. Il caso studiato ci sembra interessante anche come esempio di didattica per competenze, che possa fornire validi strumenti per l'insegnamento-apprendimento delle discipline scientifiche anche ai fini del nuovo esame di stato per i licei scientifici. Il testo è rivolto dunque agli insegnanti che vogliono proporre ai propri studenti, si auspica anche in sinergia con l'Università, approfondimenti su fenomeni di natura quantistica, sfruttando un analogo meccanico che consenta, oltre che simulazioni informatiche, la sperimentazione del modello teorico su un modello reale.

In conclusione, far studiare le giunzioni Josephson ad alcuni studenti all'ultimo anno di liceo, con opportune strategie, può avere per svariati motivi un significativo valore didattico. Molte sono, innanzitutto, le applicazioni delle giunzioni Josephson che possono destare l'interesse e dunque la motivazione degli studenti ad affrontare

argomenti formalmente complessi come quelli tipici della meccanica quantistica. In particolare, i dispositivi elettronici SQUID, che si ottengono dall'accoppiamento di giunzioni Josephson, per la loro elevatissima sensibilità nel rilevare campi magnetici, sono alla base di strumentazioni che consentono risultati insostituibili in vari campi. Citiamo, in campo medico-scientifico, la magnetoencefalografia, che ha consentito nuovi studi sul funzionamento del cervello, e la magnetocardiografia, che permette di analizzare, ad esempio, il battito cardiaco fetale. Gli SQUID si usano per misurare la massa e la funzionalità di macromolecole, come frammenti di DNA e proteine; per la ricerca sperimentale di nuove particelle; per i test della relatività generale (Shannon 2004); molto interessante è anche il tentativo in atto di usare tali dispositivi come qubit di un Computer quantistico. Non ultimo, proprio gli SQUID sono alla base del recente successo della conferma sperimentale delle onde gravitazionali avvenuta con LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory): solo grazie alla loro elevata sensibilità è stato possibile infatti rilevare le perturbazioni dello spazio-tempo previste dalla relatività generale di Einstein (Astone, 1993).

Studiare dunque la fisica che è nascosta dietro queste affascinanti applicazioni, che aprono a nuove frontiere della ricerca, può motivare lo studente verso un sapere interdisciplinare e per competenze.

Ulteriore motivazione didattica della nostra proposta è che la trattazione analitica del problema fisico in studio può risultare formativa ai fini della prova scritta di matematica per l'esame nei licei scientifici, che verte da qualche anno su problematiche in situazione, anche di fisica moderna. Ancora, tale argomento offre una valida opportunità di realizzare una buona pratica di sinergia tra Scuola ed Università: il percorso scolastico può essere integrato con lezioni ed esperimenti sul dispositivo quantistico presso i laboratori universitari con la guida di esperti.

Il transfer per analogia può essere definito una meta-abilità, che identifica la capacità del soggetto, nell'ambito della conoscenza, di trasferire competenze, procedimenti e strutture acquisite in un contesto, e di utilizzarle in un altro simile, oppure del tutto differente da quello in cui sono state acquisite (Polacek, 2005). Il transfer è dunque una potente strategia metacognitiva, che viene utilizzata frequentemente per descrivere sistemi fisici o trovare nuovi modelli partendo da altri già noti. Innumerevoli sono infatti i casi di sistemi fisici differenti descrivibili con identiche equazioni: Feynman sintetizzava questo principio affermando che "le stesse equazioni hanno le stesse soluzioni". Enrico Fermi del resto costruì la sua famosa

teoria del decadimento beta per analogia con la già nota teoria della emissione di fotoni dagli atomi (Amaldi, 1984).

L'analogia dunque consente di applicare linguaggio, formalismo e risultati sviluppati in un determinato settore della fisica, come la meccanica classica, ad un altro differente come la meccanica quantistica. Il transfer per analogie fra due sistemi analoghi dinamicamente va però effettuato tenendo conto della peculiarità di ciascuno di essi, mai dando per scontato che le leggi fisiche che valgono per l'uno debbano valere in analogia per l'altro.

La nostra proposta è di utilizzare l'analogia per la didattica relativa ad argomenti non esperibili sensorialmente, quale tipicamente quelli della fisica moderna: studiare, anche sperimentalmente, un pendolo sovrasmorzato per comprendere, attraverso le analogie, il comportamento di una giunzione Josephson in condizioni di smorzamento. A tale scopo è finalizzata la progettazione e realizzazione del nostro pendolo, che immergeremo in un mezzo viscoso. Oltre all'uso dell'analogia quale strategia didattica, stiamo facendo nostro il modello di apprendimento dell'"impara facendo" (learning by doing). Come ampiamente sottolineato nella prima parte del mio lavoro, l'individuo non apprende solo attraverso lezioni che trasmettono una quantità definita di conoscenze astratte che verranno poi assimilate e applicate in altri contesti, ma molto dal coinvolgimento diretto in situazioni di pratica reale, in cui deve assimilare nozioni in relazione all'azione che sta svolgendo. Secondo tale modello per imparare è necessario partecipare alle pratiche significative di una certa comunità e, nello stesso tempo, contribuire anche a definirle e a innovarle. L'apprendimento è dunque un processo che avviene all'interno di una cornice partecipativa e non in un ambiente individuale; ed è quindi mediato dalle diverse prospettive dei copartecipanti divenendo "apprendimento situato" (Lave, 1991).

Sapere e saper fare non possono essere disgiunti: l'azione educativa proposta si innesta nel substrato culturale della didattica per *competenze*, intese come "un sistema coordinato di *conoscenze* e *abilità* mobilitate dal soggetto in relazione ad uno scopo (un compito, un insieme di compiti o un'azione) che lo interessano e che favoriscono buone disposizioni interne motivazionali e affettive" (Pellerey, 2003). Il nostro percorso consente di trasmettere agli studenti concetti astratti, relativi a un certo contesto cognitivo, attraverso l'apprendimento in situazione realizzato in un contesto più familiare, attraverso l'uso dell'analogia quale mediatore semiotico di diversi registri cognitivi.

5 Le sperimentazioni della metodologia Inquiry Based Science Education

Io credo che invece che definire che cosa sia l'anima, che è una cosa che non si può vedere, molto meglio è studiare quelle cose che si possono conoscere con l'esperienza, poiché solo l'esperienza non falla. E laddove non si può applicare una delle scienze matematiche, non si può averne la certezza.”

(Leonardo da Vinci, Il codice Atlantico)

5.1 Le sperimentazioni sulla formazione degli insegnanti

Come premesso, lo sviluppo professionale degli insegnanti, specialmente in ambito scientifico, è uno dei nodi cruciali da risolvere per migliorare l'apprendimento/insegnamento e favorire lo sviluppo di una cultura scientifica integrata con le altre dimensioni della cultura dei cittadini (Elbaz, 1984).

La preparazione degli insegnanti e il loro sviluppo professionale è un problema generalizzato, come documentano anche i risultati dell'indagine internazionale TIMSS 2015: la quasi totalità degli insegnanti di ambito scientifico è ancora vincolata ai libri di testo nella propria didattica, ed oltre il 50% impegna la metà del tempo nell'esposizione della "teoria" o nel fare esercizi, meno della metà offrono esperimenti dimostrativi e solo pochi coinvolgono attivamente i ragazzi nella conduzione di esperimenti o in esplorazioni.

La fisica viene spesso proposta nelle scuole come una disciplina deterministica, che ammette solo un mondo misurabile, identificata con strumenti formali astratti e complicati, di cui non si comprende l'utilità. Questa visione è prodotta da una specifica didattica, ed entra in crisi ogniqualvolta i giovani si trovano davanti ad un problema concreto, a una sfida intellettuale che richiede competenze e non solo conoscenze (Viennot, 2008).

Probabilmente tale modalità di insegnare spiega, almeno in parte, la grossa difficoltà che i ragazzi mostrano nell'approcciarsi a prove di matematica e fisica non tradizionali (ossia che tendono a verificare nozioni e conoscenze attraverso il classico "esercizio"), ma cosiddette "esperte", costruite per valutare la capacità di risolvere problemi, ossia di mettere in campo le proprie competenze. Ne sono un esempio le prove INVALSI nel primo e secondo ciclo, nonché la nuova seconda prova dell'esame di stato del liceo scientifico. È naturale che i discenti possono essere pronti ad affrontare tali tipologie di prove solo se è stato attivato un processo di insegnamento-apprendimento innovativo, basato appunto sul raggiungimento di competenze.

L'educazione scientifica non può basarsi su un semplice racconto dei risultati di ricerca, ma deve essere sede di una meta-riflessione, in cui strumenti e metodi della scienza vengono conosciuti e riconosciuti. Sono necessari allora anche laboratori per esplorare i fenomeni coi sensi, con la mente, o anche con sensori e strumenti come

estensione dei sensi. Tale educazione scientifica va avviata, con insegnanti preparati, sin dai primi livelli scolari (Michellini et al, 2004).

Non è esagerato affermare, dunque, che tra i principali problemi per la Ricerca in Didattica della Fisica ci sia quello di individuare strategie efficaci per formare insegnanti professionalmente preparati a progettare la propria didattica come ambiente di apprendimento attivo.

Questa parte del nostro lavoro si inserisce in tale ambito, proponendo delle sperimentazioni di formazione per i docenti.

5.1.1 La formazione seminariale

Nell'ambito di questo lavoro di ricerca, ho collaborato all'organizzazione di seminari e workshop sulla didattica laboratoriale per docenti di fisica, tenuti da esperti in didattica della fisica presso il Dipartimento "E. R. Caianiello di Salerno". Abbiamo pianificato degli incontri rivolti a docenti del nostro territorio che è esteso, oltre che a quella di Salerno, alle province di Avellino e Benevento ed in parte Napoli, ospitando personalità di spicco del mondo della ricerca, ma anche della divulgazione e comunicazione della fisica. Di seguito sono descritti brevemente tali seminari, che hanno ricevuto una notevole attenzione da parte dei docenti:

- *"Matematica e fisica dentro e fuori di noi"* (26/1/2015) di *Giovanni Filocamo*⁶⁴. Da molti anni si parla della matematica e della fisica associando parole come applicazioni, intelligenza, didattica, comprensione, memoria, paura, storia... ma matematica e fisica sono concetti di cui non è, e non sarà mai, chiaro cosa siano e cosa possano essere. Con gli studi di neuroscienze alcune cose stanno per essere più chiare e questo argomento è molto interessante al giorno d'oggi e discusso da varie angolazioni legate ai numeri, al linguaggio, alla visione. Con questo sfondo si è parlato di didattica e di divulgazione e soprattutto della penombra tra un ambiente e l'altro. Inoltre sono state esposte alcune nuove possibilità odierne di creare elementi per comunicare e insegnare in questo campo che, benché sia ancora malvisto da molti, è sia dentro che fuori di noi.

⁶⁴ Giovanni Filocamo, fisico, già ricercatore del CNR di Genova e collaboratore del Festival della Scienza di Genova; tra i fondatori dell'Associazione MateFitness, divulgatore scientifico, curatore di decine di progetti, iniziative di formazione, conferenze, laboratori con ragazzi e adulti, autore di matematica e fisica (per Kowaski e Feltrinelli).

▪ *“La ricerca e la sperimentazione per migliorare l’apprendimento e l’insegnamento della fisica”* (22/4/2015) di *Emilio Balzano*⁶⁵, del gruppo di Ricerca in Didattica della Fisica dell’Università Federico II di Napoli, sul tema della riorganizzazione dell’insegnamento della fisica con metodologia del “Design Experiment” riguardo la progettazione dettagliata (engineering) di percorsi e di studio sistematico delle forme di apprendimento. La ricerca in didattica della fisica enfatizza la necessità di ripensare la formazione con uno sforzo che mira ad una riorganizzazione dell’insegnamento delle aree di contenuto alla luce della fisica attuale e della modellizzazione matematica. Un’attenzione particolare è rivolta all’articolazione del curricolo sulla base di alcuni concetti fondanti (conservazione, interazione, invarianza, equilibrio, ecc.) intesi come organizzatori cognitivi della fisica vista unitariamente e non frammentata. Una delle barriere principali per la diffusione di proposte innovative è l’atteggiamento degli insegnanti. L’obiettivo è studiare e sperimentare modelli di formazione di insegnanti che li mettano in grado di appropriarsi e di gestire, in autonomia, gli aspetti dell’innovazione in direzione di uno sviluppo progressivo e multidimensionale delle competenze degli studenti. La metodologia di sviluppo della ricerca si inquadra nel “Design Experiment” o “Design Study” che comporta sia la progettazione dettagliata (engineering) di particolari percorsi di apprendimento, sia lo studio sistematico delle forme di apprendimento che si realizzano nel particolare contesto che si è costruito

▪ *“Una illuminante didattica delle scienze”* (16/12/2015) di *Pietro Cerreta*⁶⁶: idee per la didattica laboratoriale delle scienze, con la presentazione di esperimenti hands-on del Festival “Science on Stage”⁶⁷ edizione 2015.

⁶⁵ Emilio Balzano ha una esperienza ultratrentennale nella divulgazione e nella didattica della fisica, soprattutto per quanto riguarda la formazione dei docenti. Partendo dalla prospettiva Vigoskjana il suo focus di ricerca teorica e sperimentale verte su modelli cognitivi, e porta al design di attività didattiche. Già responsabile scientifico di “Futuro Remoto” e collaboratore di Città della Scienza di Napoli; è tra l’altro: esperto della relazione fra contenuti formali e informali; sviluppatore di importanti progetti nazionali ed internazionali in scienza dell’educazione e della comunicazione; direttore a responsabilità scientifica di workshops per docenti.

⁶⁶ Pietro Cerreta, fisico, insegnante di fisica nella scuola secondaria, divulgatore scientifico, dopo una ventennale esperienza nella realizzazione di mostre hands-on (“Le ruote quadrate”) itineranti in stretta collaborazione con il mondo della scuola, nel 2005 ha inaugurato il “Centro della scienza” di Calitri, nella provincia di Avellino (<http://www.scienzaviva.it/>). Cerreta è uno dei principali divulgatori in Italia dell’esperienza di San Francisco, avendo anche curato l’edizione italiana del famoso “snackbook” “Gli esperimenti dell’Exploratorium”.

⁶⁷ Science On Stage <http://www.science-on-stage.eu>

▪ *“Professional development dei docenti della scuola superiore di II: Enquiry Lab”*, riflessione sull’IBSE (Inquiry Based Science Education) di *Marco Giliberti e Sara Barbieri* del Gruppo di Ricerca di didattica della Fisica del Dipartimento di Fisica dell’Università degli Studi di Milano, (23 e 24/11/2015 – 14 e 15 marzo 2016), nell’ambito del Progetto europeo TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated).⁶⁸ Su questa ultima serie di incontri mi soffermerò più in dettaglio di seguito, poiché hanno costituito un momento significativo della mia sperimentazione.

Tutti questi seminari sono stati un’occasione importante di raccordo fra l’Università e la Scuola, ed hanno riscosso notevole riscontro sia in termini di partecipazione che di soddisfazione rispetto alle aspettative dei partecipanti. La gran parte dei docenti ha dichiarato infatti di sentire il bisogno di stimoli e di sostegno qualificati, sia motivazionali che professionali, da parte del mondo della ricerca, e di averne ricevuti molti da questi incontri.

5.1.2 La disseminazione dell’IBSE con gli esperti del progetto europeo TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated)

A livello internazionale, come già detto, si ritiene che l’approccio induttivo dell’Inquiry-Based Science Education abbia caratteristiche che lo rendono efficace per superare la didattica trasmissiva e porre l’alunno al centro della costruzione del proprio sapere (vedi fig. 25). Purtroppo, ancora pochi docenti di fisica conoscono l’IBSE e, anche tra coloro che lo considerano un metodo efficace, pochi lo usano. In genere la principale difficoltà nel far proprio il nuovo metodo di insegnamento IBSE da parte di un insegnante, sta nel fatto che è richiesto il cambiamento nello stile di insegnamento, senza che si sia fatta esperienza precedentemente. Esattamente come i loro studenti, gli insegnanti non sono una tabula rasa e affrontano un eventuale corso di formazione all’IBSE con preconcetti che influenzeranno il loro apprendimento: tali idee tenderanno a persistere, anche quando si siano dimostrate inefficaci dai

⁶⁸ Marco Giliberti, Ricercatore del Dipartimento di Fisica dell’Università degli Studi di Milano, si occupa soprattutto di ricerca in didattica della fisica moderna (sull’insegnamento-apprendimento della fisica quantistica) e parallelamente di progettazione e realizzazione di attività teatrali volte a migliorare l’idea di scienza fra gli studenti di tutte le età. È responsabile, tra l’altro, dell’abilitazione in matematica e fisica alla SILSIS-MI (Scuola Interuniversitaria di Specializzazione per l’Insegnamento Secondari – sezione di Milano) e del master di II livello IDIFO (Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento) e IDIFO2.

risultati veramente poveri raggiunti dai loro studenti (Diriver, 1985; Cassidy, 2013). Oltre a dover effettuare un cambio di mentalità nella propria tipologia di lezione, è chiaro che, come per qualsiasi attività laboratoriale, è necessario del tempo supplementare per la preparazione del percorso e dei materiali, sia per reperirli che per organizzarli e poi renderli funzionali alla attività proposta.

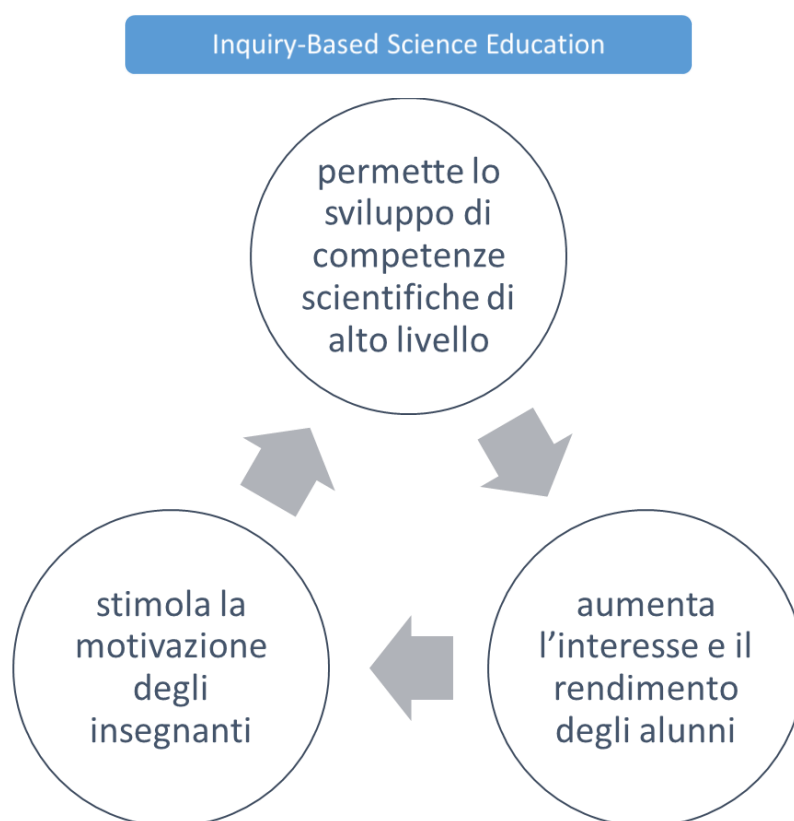


Figura 24
Principali caratteristiche positive dell'IBSE

Nella tabella seguente sono schematizzati i principali ostacoli che gli insegnanti rilevano o, prima ancora di provarci, pensano che ci siano, nell'applicazione dell'IBSE.

Tabella 17

Problemi che più frequentemente vengono percepiti da parte degli insegnanti, in relazione all'IBSE

Il troppo tempo richiesto
La difficoltà nel fare lezione
La mancanza di risorse
La grande quantità di energie da spendere
La sensazione che gli argomenti vengano svolti troppo lentamente
Il rischio di non completare il programma ministeriale e di non rendere gli studenti sufficientemente preparati per affrontare gli esami
La difficoltà nel valutare gli studenti, sia per quanto riguarda i loro progressi, sia per quanto riguarda il lavoro svolto
L'abitudine nel modo di insegnare
L'inadeguatezza dei libri di testo
La perdita di motivazione da parte degli insegnanti

Il progetto TEMI (Teaching Enquiry with Misteries Encorporeted) EU-FP7 (Scienza e Società) ha riunito 13 Università partner provenienti da 11 paesi in tutta Europa, ed ha avuto una durata di 42 mesi (è terminato nel luglio 2016)⁶⁹. Esso si inserisce nelle azioni dell'UE verso l'implementazione e la diffusione della metodologia IBSE in tutta Europa; la disseminazione effettuata si suppone che lasci un'eredità a lungo termine.

La metodologia elaborata con TEMI è un processo che permette agli studenti di costruire le proprie conoscenze per mezzo di un lavoro attivo, la discussione di domande di ricerca e la cooperazione tra i compagni di classe, gli insegnanti, utilizzando le risorse dall'ambiente educativo.

TEMI mira a incorporare quattro innovazioni nella pratica degli insegnanti, schematizzate nella seguente figura:

⁶⁹ TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated). European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 321403 – 2012-1 <http://teachingmysteries.eu>



figura 25

Le principali innovazioni del progetto TEMI

Gli insegnanti coinvolti nel progetto TEMI sono stati formati attraverso la sperimentazione delle stesse cinque fasi (le 5 E già descritte) di apprendimento, che poi sono stati invitati a sperimentare ed introdurre nella propria pratica educativa: “Ingaggio” (che coinvolga gli studenti, in questo caso docenti) attraverso un “Mistero”, Spiegazione, Elaborazione che conduce verso la formulazione di una domanda di indagine, Esplorazione e Valutazione. La fase di “Esplorazione” porta a sperimentare, raccogliere osservazioni e dati. In fase di “Spiegazione” gli insegnanti possono dare un senso ai dati e, attingendo a idee scientifiche conosciute, cercare di rispondere alla domanda posta. Nella fase di “Elaborazione” si effettua anche una “Estensione”, ovvero si applica la comprensione concettuale guadagnata per risolvere altri problemi analoghi o connessi. “Valutare” è la fase in cui gli insegnanti in formazione valutano appunto il loro livello di comprensione e le competenze raggiunte, e dalla quale possono ripartire ciclicamente alla ricerca di nuove risposte.

Questa metodologia è applicabile a tutti i livelli di istruzione formale, dalla scuola dell'infanzia alle Università, pur svolgendosi in modalità inizialmente informali (anche in contesti di apprendimento formali).

TEMI, rivolto agli insegnanti, ha l'obiettivo di trasformare la pratica di insegnamento delle scienze e della matematica fornendo nuove competenze per

coinvolgere poi gli studenti in un processo di insegnamento apprendimento innovativo. Lo scopo principale è aiutare gli insegnanti a cambiare lo schema dell'interazione in classe, passando dal tradizionale trasferimento dell'informazione ad una collaborazione condivisa e partecipata nella costruzione della conoscenza insieme agli studenti.

In tale progetto si unisce la capacità dell'IBSE di stimolare un pensiero critico e creativo, con il coinvolgimento emozionale prodotto dall'attivazione di "misteri scientifici": TEMI suggerisce infatti situazioni e fenomeni che paiono nuove e misteriose, stimolando la creatività l'investigazione al fine di arrivare alla soluzione di determinati problemi scientifici.

Il progetto, che coinvolge gli insegnanti che vogliono avvicinarsi all'Inquiry, dedica la stessa attenzione a sviluppare la capacità nel porsi domande e allo sviluppo della componente creativa ed emotiva legata all'apprendimento.

L'apprendimento da parte degli insegnanti del metodo Inquiry nel progetto TEMI è avvenuto attraverso laboratori detti "Inquiry-lab", caratterizzati da due componenti fondamentali:

- un nucleo costituito da un particolare concetto scientifico che deve essere appreso;
- un coinvolgimento emozionale che deve essere provocato attraverso un'attività durante la quale il docente-allievo si trova di fronte ad un mistero da risolvere.

Gli Inquiry lab sono costruiti per migliorare la consapevolezza degli insegnanti su ciò che stanno facendo: gli insegnanti vengono coinvolti attivamente in attività in cui non siano sicuri di loro stessi: in questo modo si ha anche l'effetto di far sperimentare agli insegnanti strade non conosciute, e quindi di far loro percepire l'essere "nuovi", come spesso si sentono gli studenti rispetto alle cose che non conoscono e stanno per apprendere.

Gli Inquiry lab proposti dagli esperti universitari del progetto TEMI, sono strettamente ancorati al senso di mistero e questo crea un forte impulso verso l'esplorazione e la scoperta. Prima di ogni attività IBSE è necessario che venga percepito un senso di mistero: infatti se un frammento di conoscenza scientifica non viene percepita come la risposta al mistero, allora l'acquisizione di tale pezzetto di conoscenza sarà vista come un'attività meccanica, non culturale. (Carpinetti et al., 2011).

Uno dei partner del progetto è stata l'Università degli Studi di Milano, attraverso il lavoro del gruppo di Didattica della Fisica, l'Education Group Physics Research

(PERG): essi hanno disseminato in maniera originale la metodologia Inquiry in stile TEMI in varie località in Italia ed Europa, con training dedicati ai docenti (oltre che con bellissimi spettacoli di teatro scientifico).

Gli esperti dell'Università degli Studi di Milano hanno dato la disponibilità a replicare il proprio corso di formazione TEMI presso il Dipartimento di Fisica di Salerno. Nell'ambito del dottorato ho organizzato il workshop di quattro incontri di formazione tenuti dagli esperti TEMI di Milano che ha arricchito la nostra sperimentazione sull'IBSE, coinvolgendo un gruppo di più di trenta insegnanti di fisica e parte dei loro alunni delle scuole superiori del nostro territorio⁷⁰. Le scuole coinvolte sono state una decina, delle province di Avellino, Salerno, Benevento e Napoli.

Gli insegnanti partecipanti hanno potuto così sperimentare con lezioni interattive la metodologia 5 E (già precedentemente descritta, vedi fig.1) in stile TEMI: sono stati coinvolti dai numerosi "misteri" di fisica opportunamente scelti, per esplorare, attivando la scoperta e cercando le spiegazioni del mistero attraverso un'indagine scientifica e la sua valutazione. Tutte le attività IBSE proposte hanno così indirizzato a ridurre il divario tra la pratica didattica e i modelli educativi raccomandati, proponendo strategie concrete e strumenti specifici per l'insegnamento della fisica.

Per generare un cambiamento si deve infatti far in modo di trasportare la visione del problema dell'educazione scientifica suggerita dalla ricerca in didattica, nel concreto della pratica scolastica. In tale contesto si innesta la nostra sperimentazione (D'Acunto et al., 2016). Al fine di aiutare il superamento di un approccio didattico basato solo su aspetti teorici, e rimediare alla generale disaffezione allo studio della fisica degli studenti, abbiamo collaborato a proporre, sulla base delle linee guida TEMI, una formazione per gli insegnanti dedicata a promuovere la comprensione della fisica attraverso lo sviluppo delle attività di indagine self-made (Windschitl, 2006; Sherborne, 2014; Barbieri et al, 2014 (1)).

La formazione degli insegnanti è stata suddivisa in due fasi (precedute da una fase di preparazione, propedeutica alle attività, e seguite dalla discussione dei risultati): una fase in presenza con i formatori TEMI, con due *Inquiry Lab* ciascuno di due giorni, ed una di sperimentazione della metodologia nelle classi, con l'ausilio dei tutor del Dipartimento "E. R. Caianiello".

⁷⁰ Il progetto TEMI, ed anche il corso di formazione presso il Dipartimento Caianiello, sono stati finanziati dall'EU - Seventh framework programme: Science in society, Grant Agreement n° 321403.

Nella prima giornata del primo Inquiry Lab, il workshop IBSE ha interessato la fisica delle oscillazioni e del moto armonico. Tali argomenti sono stati affrontati da punti di vista non convenzionali e sono stati mostrati numerosi esempi di fenomeni che apparentemente contraddicono le aspettative “da manuale”, suscitando mistero e curiosità (Barbieri et al, 2015; Giliberti et al, 2014). Oscillazioni armoniche e modi normali sono concetti fisici fondamentali, che si ritrovano nell'elettromagnetismo (soprattutto nel trattamento di circuiti oscillanti accoppiati e onde elettromagnetiche), in sistemi di acustica ed anche nella fisica quantistica (Giliberti 2007, Smith 2010). L'importanza concettuale e pratica dei modi normali emerge chiaramente dal fatto che ogni piccola oscillazione di un sistema complesso è dato da una sovrapposizione lineare dei suoi modi normali (Barbieri 2012, Fitzpatrick 2013). Tuttavia, nella pratica didattica (almeno in Italia), è dedicato poco tempo al moto armonico e agli oscillatori accoppiati. I modi normali di solito non sono nemmeno presenti. Il moto armonico è generalmente presentato in modo tale che la maggior parte degli allievi ritengono che le piccole oscillazioni di un corpo sono tutte armoniche. Dal momento che la situazione in realtà non è così semplice, e dato che la comprensione del moto armonico è essenziale in molti contesti fisici, sono stati presentati alcuni suggerimenti che permettono di scoprire a colpo d'occhio la anarmonicità di un movimento. Partendo da una definizione didatticamente motivata di moto armonico, e sottolineando l'importanza della interazione tra la matematica e gli esperimenti, vengono dati dei criteri di anarmonicità insieme ad alcuni esempi emblematici.

Di solito a scuola ci si limita alle tipiche definizioni di moto armonico:

- a) Moto armonico è la proiezione su un diametro di un moto circolare uniforme.
- b) Un oggetto esegue movimenti armonici se è sottoposto ad una forza elastica.

Ma non possiamo consegnare agli studenti pre-definizioni confezionate dal momento che, in questo modo non avremmo dato loro strumenti e concetti per analizzare e leggere il mondo che li circonda. Per sottolineare questo messaggio, si chiede di sincronizzare un pendolo con il ritmo di un metronomo. Naturalmente, significa scegliere la lunghezza giusta, ma in pratica non è così semplice.

L'inchiesta viene guidata con diversi tipi di oscillazioni: una palla oscillante dentro una ciotola, una massa-oscillatore elastico, un pendolo, un'alatena su un perno piatto e un'altra su un perno rotondo, una palla che rimbalza, un disco che rimbalza su un tavolo, un pendolo cicloidale, un pendolo Waltenhofen (per le correnti parassite di Foucault). Ai partecipanti è richiesto di classificare i movimenti in due o tre categorie,

e mettere insieme il movimento che, a loro avviso, hanno particolari somiglianze da un punto di vista meccanico, e poi dando una motivazione per loro scelte. È interessante osservare che la maggioranza (~ 80%) dei nostri studenti delle scuole secondarie dividono le oscillazioni secondo la forma della loro traiettorie. Si scardina così una maniera semplicistica di definire ed inquadrare i fenomeni, dando attraverso fasi di *Engage*, *Explore*, *Explain*, *Elaborate (o Extend)* e *Evaluate* strumenti critici nello studiare i fenomeni.

Nella seconda giornata, gli insegnanti sono stati coinvolti attivamente in attività di laboratorio riguardanti l'ottica geometrica e la visione dei colori. (Barbieri et al, 2016). In particolare, sono state proposte le schede di laboratorio “La luce che curva”⁷¹ ed “Indovina il colore”⁷².

Il colore degli oggetti che ci circondano dipende da molti elementi, come la loro superficie, il colore della luce che li illumina e dal sistema di percezione umana. Al fine di indagare la grande varietà di fenomeni relativi al colore, sono stati proposti degli esperimenti che si possono facilmente replicare in classe, perché hanno bisogno di materiali facilmente reperibili e poco costosi, come cartoncini colorati e luci colorate a LED. Con tale “mistero” si è proposto uno studio qualitativo sulla sintesi additiva delle luci, sulla sintesi sottrattiva dei pigmenti colorati, e sulla visione dei colori con le luci colorate.

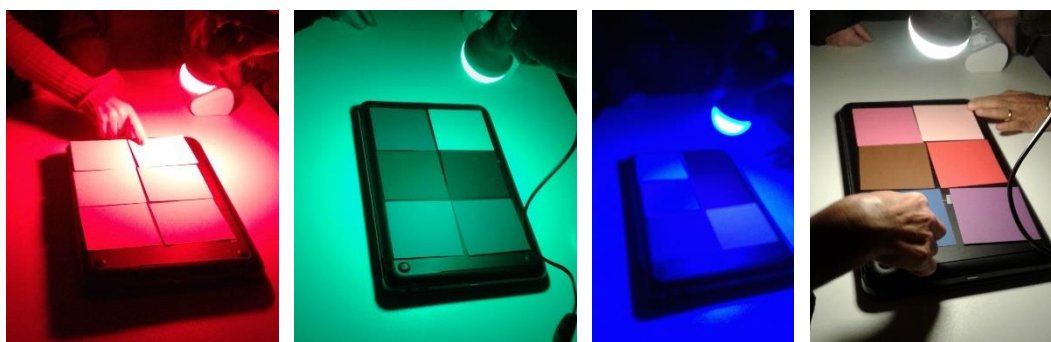


figura 26

I cartoncini colorati vengono illuminati con diverse luci monocromatiche prima di poter essere visti così come sono con la normale luce bianca

La fase di coinvolgimento viene svolta con dei giochi in cui si viene invitati a scoprire il colore di cartoncini colorati illuminati con luci a loro volta colorate. Si tratta di un'attività molto divertente, che suscita meraviglia una volta che i cartoncini

⁷¹ Dal “Libro dei Misteri TEMI”
projecttemi.eu/pt/classroom_activity/the-curved-light/

⁷² http://teachingmysteries.eu/wp-content/uploads/2015/08/23_Guess_the_colour_TEMI_TBOSM.pdf

vengono illuminati con la normale luce bianca. Poi, con una luce monocromatica alla volta e diversi cartoncini colorati si può far capire come assorbimento e riflessione riescono a produrre il particolare colore percepito dai nostri occhi.

La sintesi additiva di luci è stata presentata miscelando due o tre luci colorate insieme, e osservando la luce risultante, o le ombre colorate prodotte da un oggetto.

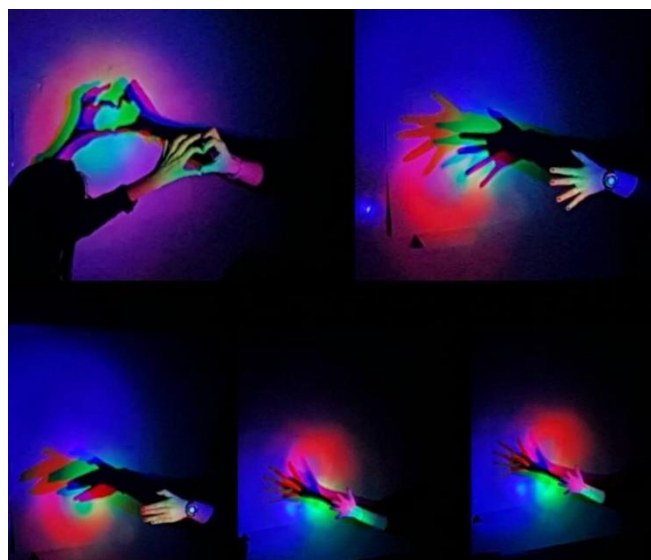


figura 27

Le ombre colorate

Per la fase dell'“Estendere” è stata proposta l'osservazione in luce blu, che fa apparire il fenomeno della fluorescenza, molto più comune di quanto previsto nella vita quotidiana (ad esempio in una normale bevanda gasata tipo gassosa).



figura 28

La luce blu su una bevanda gasata trasparente evidenzia il fenomeno della fluorescenza

Inoltre, si guida alla sintesi sottrattiva di pigmenti colorati, miscelandoli come già fatto con le luci. Tutte le fasi di tale attività sono qualitative, ma possono condurre a interessanti approfondimenti.

Successivamente, in qualità di tutor del Dipartimento “E. R. Caianiello”, ho svolto una supervisione della fase di implementazione da parte degli insegnanti del metodo appreso nelle proprie classi, anche fornendo materiali di laboratorio. Insieme ad altri tre tutor del Dipartimento abbiamo supportato gli insegnanti riguardo la sperimentazione in classe, dando suggerimenti per la pianificazione, per l'utilizzo del materiale di laboratorio e soprattutto della metodologia, e in molti casi presenziando alle attività con gli studenti.

È innanzitutto interessante notare che tutti gli insegnanti che hanno deciso, volontariamente e compatibilmente con i propri impegni didattici, di lavorare in questa fase del progetto (e che corrispondono a circa la metà dei partecipanti), hanno scelto di sperimentare l'attività di "Indovina il colore" (Barbieri et al, 2016). Questa attività è molto coinvolgente e permette di introdurre fenomeni fisici rilevanti attraverso un alto livello di empatia, ed un elevato grado di divertimento per gli studenti. Inoltre, questa attività può essere modulata a diversi livelli, in modo da essere adattata a studenti di diversi tipi di scuola. Con la presentazione di un "mistero" sulla luce e i colori, gli insegnanti hanno portato i loro studenti attraverso uno studio qualitativo della sintesi additiva delle luci, della sintesi sottrattiva dei pigmenti colorati, della visione dei colori sotto le luci colorate e di fluorescenza, facendo esperimenti con materiali facilmente disponibili, analogamente a come avevano sperimentato durante il workshop.



Figura 29

Foto di una fase della sperimentazione: “Indovina il colore”

In seguito, i formatori TEMI sono tornati proponendo altri due giorni di formazione con TEMI; i laboratori con i docenti hanno riguardato principalmente le leggi dei

gas, i circuiti elettrici e l'induzione elettromagnetica nello stile TEMI (Barbieri et al, 2013, 2014).

In ognuno dei quattro Workshop i formatori hanno applicato una metodologia Inquiry di insegnamento, fornendo molti materiali ai docenti per far sperimentare i diversi fenomeni, e lasciandoli liberi di indagare attraverso i materiali approntati, talvolta con la guida di schede di lavoro studiate appositamente. Sono anche stati forniti molteplici esempi di come poter insegnare con modalità innovativa, scardinando preconcetti e limitazioni dell'insegnamento tradizionale della fisica.

Al fine di studiare come gli insegnanti hanno percepito il loro sviluppo professionale durante il workshop, i docenti sono stati sottoposti a un questionario alla fine di ogni laboratorio Inquiry, e poi ad un questionario finale. Dal confronto dei questionari alla fine di ciascuna coorte di due giorni, i docenti sono apparsi molto soddisfatti per quanto riguarda l'interesse, la chiarezza e la fruibilità dei laboratori. Per quanto riguarda l'applicabilità della metodologia IBSE proposta, appare significativamente più condivisa dopo la seconda serie di coorte. Nel terzo, finale questionario, il 60% dei tirocinanti affermano di non aver mai usato l'IBSE prima, nonostante l'83% di loro dichiara più di 15 anni di esperienza. La totalità degli insegnanti ha dichiarato che i laboratori hanno incontrato le loro aspettative (50% del tutto, il 50% di certo grado), che i "misteri produttivi", presentati nella formazione erano appropriati per il loro contesto, e le attività proposte erano abbastanza varie per soddisfare tutti i livelli di esperienza degli insegnanti, e li ha aiutati a affrontare vari aspetti del programma di studi. Il 50% degli insegnanti ha affermato di aver ottenuto dalla formazione nuovi strumenti per la didattica e il 40% anche una motivazione per rinnovare il proprio insegnamento. Inoltre, il 70% degli insegnanti partecipanti dice di aver avuto la possibilità di attuare l'approccio TEMI e le tecniche in classe, sia nel modo in cui sono stati presentati durante il corso di formazione, che adattati / combinati con altri approcci. A nostro parere, è importante notare che gli insegnanti hanno dichiarato di voler introdurre l'Inquiry nelle loro classi in futuro. Nella tabella 18 vi è una sintesi delle risposte, su una scala di 5 punti (5 = fortemente in disaccordo, 1 = molto d'accordo).

Tabella 18

Quanto ritieni che applicherai in classe gli aspetti della metodologia TEMI che sono stati sviluppati durante la formazione?

In una scala crescente da 1 to 5, quanto sei confidente di applicare i seguenti aspetti sviluppati nella formazione? (percentuale -su 34 docenti)					
<i>Aspetti della metodologia TEMI</i>	1	2	3	4	5
Inquiry Based Teaching	13	33	41	13	0
“Productive mysteries”	20	47	33	0	0
Il ciclo delle 5E	0	40	40	20	0
Apprenticeship (GRR - Gradual Release of Responsibility)	7	31	54	8	0
Showmanship	31	31	22	8	8

Quasi tutti gli insegnanti affermano che le attività hanno incontrato del tutto le loro aspettative sul corso (90%) o le hanno incontrate parzialmente (10%).

Su una scala da 4 (del tutto non d'accordo) ad 1 (del tutto d'accordo) è stato chiesto loro quanto i due Inquiry Lab del workshop siano stati percepiti come interessanti, chiari, divertenti ed applicabili nella pratica didattica. Dal confronto dei risultati tra i questionari iniziali e finali, si evidenzia l'importanza della seconda serie dei workshop. Gli insegnanti hanno dato a tutte le voci (tranne che per l'interesse per il corso, che è al massimo sia prima che dopo) un voto più alto dopo la seconda serie di workshop. Secondo i dati del questionario, gli insegnanti sono molto più a loro agio a lavorare con l'IBSE dopo la seconda serie ma, soprattutto, cresce sensibilmente la fiducia nell'applicabilità di quanto appreso. In Tabella 19 sono riportati tali risultati:

Tabella 19

Valutazione del workshop

(da 1 =del tutto d'accordo a 4 =del tutto non d'accordo)

Domanda Il workshop è stato	INQUIRY LAB I	INQUIRY LAB II
INTERESSANTE	1	1
CHIARO	1,5	1,2
DIVERTENTE	1,3	1,1
APPLICABILE	2,7	1,5

L'attenzione da parte del gruppo di Ricerca in Didattica di Milano e Salerno per lo sviluppo professionale del docente, al fine di costruire ponti tra il liceo e l'Università sembra essere stato molto apprezzato da insegnanti e siamo confidenti che avrà futura diffusione.

5.1.3 Il progetto nazionale “Nuove idee per la didattica laboratoriale”

Come più volte sottolineato, la didattica laboratoriale ha acquisito negli ultimi anni un ruolo determinante nel processo di insegnamento, soprattutto per le discipline scientifiche. Diverse azioni sono state messe in atto dalla Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e per la Valutazione del Sistema Nazionale di Istruzione del MIUR per accompagnare e favorire l'applicazione delle Indicazioni Nazionali e delle Linee Guida. Nel 2013 è stato avviato il progetto LS-OSA, “Licei Scientifici- Opzione Scienze Applicate: Fare Laboratorio”. Esso ha lo scopo di promuovere la didattica laboratoriale nelle scuole, fornendo ai docenti delle discipline scientifiche il supporto necessario per allestire, proporre in classe e gestire attività sperimentali, essenziali per stimolare negli studenti l'attitudine al ragionamento scientifico e alla ricerca⁷³.

Nell'ambito del Progetto LS-OSA è stato emanato il bando dal titolo “Nuove idee per la didattica laboratoriale nei licei scientifici”⁷⁴, con l'obiettivo di implementare la didattica laboratoriale. Essendo questi argomenti di interesse per la mia ricerca, abbiamo programmato il partenariato del Dipartimento “E. R. Caianiello” nel progetto proposto dal Liceo Gatto di Agropoli (SA), attraverso l'uso “esteso” dei DivertiEsperimenti. Tale progetto è stato approvato (con punti 90/100) e finanziato nell'ambito del bando MIUR, ed è attualmente in piena fase di attuazione.⁷⁵ Gli obiettivi sono:

- migliorare la didattica delle discipline scientifiche, proponendo attività sperimentali innovative dal punto di vista metodologico, divertenti e a basso costo,

⁷³ Il progetto LS-OSA è promosso dalla Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e per la Valutazione del Sistema Nazionale di Istruzione del MIUR in partenariato con il Dipartimento di Scienze dell'Università Roma Tre, l'Accademia delle Scienze di Torino, ed il Liceo Scientifico Galileo Galilei di Verona. <http://ls-osa.uniroma3.it/>

⁷⁴ Con scadenza dicembre 2015

⁷⁵ <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/wp-content/uploads/2016/05/presentazione-19-maggio-1.pdf>

- produrre dei kit per attività di laboratorio realizzati con materiale di facile reperibilità, corredati da guida per il docente e schede,
- coinvolgere nella formazione (modalità ricerca-azione) per l'uso dei kit i docenti della provincia di Salerno, in primis, ma anche delle altre province della Campania.

La metodologia che sottende la produzione e l'utilizzo dei kit didattici è basata su attività d'investigazione IBSE. I Kit prodotti riguardano le scienze in generale (fisica, chimica, biologia); i kit di fisica afferiscono alle tematiche:

1. Le forze e il movimento
2. Temperatura e Calore
3. Statica dei fluidi e il galleggiamento
4. Luce e colore

Per ciascuna tematica sono stati prodotti numerosi kit didattici ciascuno contenente i materiali per effettuare un esperimento, e dotato di una scheda descrittiva, impostata secondo la metodologia IBSE e che scandisce le fasi didattiche seguendo le "5 E". Le schede sono multimediali, contengono collegamenti ipertestuali che permettono di aprire ulteriori schede di laboratorio, prove di verifica, video, simulazioni, pagine web ecc. Le attività del percorso partono da investigazioni condotte con materiali di facile reperibilità che si riferiscono a fatti della vita quotidiana e all'esperienza diretta dell'alunno. Di seguito riporto l'esempio del percorso "Luce e colore", che parte dal fare osservare gli effetti che si hanno in un acquario, e come si opera, in maniera anche inconsapevole, per utilizzare una lente d'ingrandimento. Per tale tematica sono previsti due moduli, per un totale di 18 attività sperimentali:

- modulo 1: la propagazione rettilinea della luce; la riflessione e la rifrazione,
- modulo 2: i colori.

Il percorso studiato suggerisce le seguenti attività:

- Attività 1.1 (Engage)

L'attività parte con la visione di un video "Opere d'arte e gioco di specchi a Palazzo Italia" registrato nel padiglione Italia ad EXPO 2015 a Milano⁷⁶. Il video mostra giochi di specchi che riflettono immagini di bellezze italiane: paesaggi, opere d'arte, chiese, riflesse ovunque. Effetti simili si possono vedere utilizzando un caleidoscopio che si può acquistare in un negozio di giocattoli o costruire seguendo le istruzioni

⁷⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=xx2MfKf4IU8>

della scheda: “Costruisci un caleidoscopio”. L’attività incuriosisce e stupisce gli alunni: le riflessioni multiple attraverso tre specchi creano effetti che certamente catturano l’attenzione. Si può dunque chiedere agli alunni se sanno come funzionano gli specchi e come è possibile creare gli effetti ottici così affascinanti.

- Attività 1.2 (Explore): Propagazione rettilinea della luce

L’attività di esplorazione guida l’alunno a comprendere il modello di propagazione a raggi della luce.

- Attività 1.3 (Explain): Natura della luce

All’attività di esplorazione segue la fase di spiegazione che l’insegnante può organizzare utilizzando il libro di testo o altre risorse multimediali disponibili sul web. Si consiglia la visione del video “Natura della luce”⁷⁷ che delinea attraverso immagini accattivanti il percorso delle idee scientifiche che hanno condotto alle attuali conoscenze scientifiche sulla natura della luce.

Può anche essere utile la presentazione multimediale che riassume le tappe storiche che hanno condotto alle attuali conoscenze scientifiche sulla natura della luce e introduce la riflessione su specchi piani.

- Attività 1.4 (Explore): La riflessione con specchi piani

L’attività esplora la formazione delle immagini con uno specchio piano e guida l’alunno a comprendere perché le immagini date da uno specchio piano si formano dietro lo specchio, sono simmetriche della sorgente rispetto allo specchio, sono diritte e non ingrandite. Può essere interessante far lavorare gli alunni con il software GEOGEBRA sulla simmetria, favorendo il collegamento interdisciplinare con la geometria.

- Attività 1.5 (Explain): La riflessione. Specchi piani e sferici

All’attività di esplorazione segue la fase di modellizzazione. L’insegnante spiega le leggi della riflessione e il funzionamento degli specchi sferici ampiamente trattati nei libri di testo. Si usano anche applet che simula il funzionamento di specchi sferici.

- Attività 1.6 (Explore): Esplorare la rifrazione⁷⁸

⁷⁷ Dal sito: <http://catalogo.museogalileo.it/multimedia/OtticaGeometrica.html>

⁷⁸ Per questa e le altre attività sulla rifrazione tra le principali fonti vi è la pagina del sito http://www.scuolavalore.indire.it/nuove_risorse/la-rifrazione/ prodotta da Ernesta De Masi.

L'attività parte con la presentazione di situazioni accattivanti del tipo: osserva un acquario (esplorazione numero 1); che cosa noti? Perché vedi più immagini di un pesciolino in un acquario, se guardi da un angolo particolare? L'attività prosegue con l'esperimento di Tolomeo che incuriosisce gli alunni (esplorazione numero 2). Anche in questo caso, si fanno domande e si invitano gli alunni a formulare ipotesi. Poche volte gli alunni, nel caso della rifrazione, arrivano da soli a capire quello che succede. La spiegazione del fenomeno utilizzando il modello di propagazione della luce per raggi li sorprende.

- Attività 1.7 (Explain): La rifrazione

All'attività di esplorazione segue anche per la rifrazione la fase di modellizzazione. Si forniscono i seguenti materiali didattici che possono risultare particolarmente utili se si dispone di LIM in classe:

onumerose applet permettono di simulare l'invio di un raggio di luce da un mezzo ad un altro: si possono scegliere i due mezzi e variare l'angolo d'incidenza, e con un goniometro misurare angolo d'incidenza e di rifrazione e verificare la legge di Snell-Cartesio;

o rifrazione con GEOGEBRA: con tale software di geometria dinamica (o altri simili) si può simulare un esperimento di rifrazione, e, misurando angoli di incidenza e rifrazione, verificare la legge di Snell-Cartesio.

- Attività 1.8 (Elaborate): in questa fase si suggerisce un'attività di laboratorio di tipo quantitativo

“Misura di indici di rifrazione” e un'attività di approfondimento sulla riflessione totale. Si fornisce una presentazione “La riflessione totale” che l'insegnante può utilizzare con la LIM, in questa si descrivono fenomeni osservabili nella vita quotidiana legati alla riflessione totale della luce quali i miraggi, il funzionamento delle fibre ottiche (si suggerisce come realizzarne una con uno zampillo d'acqua) e dei prismi a riflessione totale. Dalla presentazione si può andare alla visione di un divertente filmato che presenta esperimenti di riflessione e rifrazione.

- Attività 1.9 (Explore): come funziona una lente d'ingrandimento?

L'attività stimola la riflessione degli alunni sul funzionamento di una lente d'ingrandimento di uso comune. La scheda di laboratorio suggerisce la costruzione di un semplice banco ottico: la sorgente di luce è una candela, lo schermo un

cartoncino bianco. Modificando opportunamente la posizione relativa di lente, sorgente e schermo su questo si vede a fuoco l'immagine capovolta della candela. L'esplorazione fa nascere domande: come funziona la lente? perché l'immagine è capovolta? Se gli alunni non hanno studiato precedentemente le lenti, in genere, non riescono a rispondere a queste domande, se non guidati dall'insegnante con costruzioni geometriche.

- Attività 1.10 (Explain): le lenti convergenti.

Per questa attività si può usare la presentazione “Lenti convergenti” che con interessanti animazioni guida gli alunni a comprendere come funzionano, in particolare. Viene fornita altresì la presentazione “Legge dei punti coniugati” che propone di ricavare la legge dei punti coniugati a partire da una simulazione realizzata con GEOGEBRA, la stessa presentazione chiarisce la convenzione sui segni da attribuire a distanza focale, distanza del soggetto e dell'immagine dalla lente e all'ingrandimento. Dalla presentazione, attraverso collegamenti ipertestuali si possono aprire due schede che guidano l'alunno all'uso dei banchi ottici di cui sono dotati alcuni laboratori scientifici scolastici.

- Attività 1.11 (Evaluate): Si propone lo svolgimento di esercizi tratti dalle prove somministrate nelle gare di secondo livello delle Olimpiadi della Fisica dell'AIF.

Si suggerisce inoltre come esempio di prova esperta “Il palombaro”⁷⁹ (che ricade nella tipologia delle prove internazionali OCSE-PISA).

A completare questo esempio di percorso, nell'Appendice 1 vi sono, fra le schede relative alla visione e all'ottica geometrica dei DivertiEsperimenti, quelle (n° 20 e 21) prodotte nell'ambito di questo progetto con uso di materiali poveri e della mostra DivertiEsperimenti. Con materiali poveri abbiamo proposto di simulare l'occhio umano e di effettuare numerose osservazioni divertenti ma molto interessanti sulla vista e sugli effetti della rifrazione. In maniera informale si esplorano effetti della nostra vita quotidiana quali i meccanismi della visione e i difetti della vista, nonché gli effetti ottici dovuti alla rifrazione, fino ad arrivare a spiegare l'origine dei miraggi. Le schede propongono una indagine qualitativa, poiché il progetto è rivolto sostanzialmente al biennio del liceo scientifico, ma possono essere di introduzione ad uno studio più formale, che porta alla spiegazione anche teorica dei fenomeni in

⁷⁹ La prova è disponibile nel sito <http://www.scuolavalore.indire.it>

oggetto. Gli esperimenti delle schede, insieme a tanti altri, sono stati utilizzati anche nelle sperimentazioni descritte nei paragrafi successivi.

Il progetto è completato da un sito dedicato⁸⁰ nel quale sono disponibili tutte le informazioni per partecipare ma soprattutto i materiali multimediali prodotti; esso funge anche da supporto per forum e discussioni.

Nel progetto sono previsti due incontri di formazione in presenza per i docenti di scienze, durante i quali i tutor designati (appartenenti alla scuola capofila, alle scuole della rete ed ai partner⁸¹) disseminano le proposte sviluppate. Nel primo sono stati presentati e fatti fruire i kit realizzati, riprodotti in tre copie per ciascun gruppo di esperimenti. Hanno partecipato a questo primo incontro circa 80 docenti di materie scientifiche, e la presenza dei docenti di fisica è stata preponderante.

Durante l'evento di formazione, i docenti partecipanti, sotto la nostra guida, hanno sperimentato i contenuti dei Kit che, essendo realizzati con materiali di facile reperibilità, possono essere facilmente riprodotti nelle scuole. I docenti in formazione possono provare nelle loro classi alcuni segmenti dei percorsi proposti, anche assistiti a distanza dagli esperti che li hanno prodotti; vi è uno spazio web dedicato a questa attività. I docenti compilano, al termine di tali interventi con i propri studenti, la scheda di monitoraggio sulle attività svolte, evidenziando i punti di forza e le difficoltà incontrate nell'applicare la metodologia indicata.

Un secondo incontro si è tenuto presso il Dipartimento "E. R. Caianiello" per condividere e discutere l'esperienza di sperimentazione IBSE svolta in classe con i kit. In questa occasione è stata attivata anche la mostra DivertiEsperimenti per i docenti, fornendo ulteriori spunti per implementare l'apprendimento informale nel curriculum scolastico, anche attraverso la metodologia IBSE.

In conclusione del progetto, a settembre 2017, verrà organizzata nella scuola capofila una giornata della scienza nel corso della quale verranno presentati ad un pubblico più ampio i Kit e l'esperienza didattica dei docenti che sono stati coinvolti nella sperimentazione. Tutto il materiale prodotto: percorsi didattici, esiti della sperimentazione, valutazione dell'esperienza saranno disponibili sulla piattaforma ministeriale «Fare laboratorio»⁸².

⁸⁰ <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/>

⁸¹ Scuola capofila Liceo scientifico "A. Gatto" di Agropoli; scuole della rete: Liceo "Alfano I" di Salerno Liceo "Tito Lucrezio Caro" di Samo

⁸² Sito <http://ls-osa.uniroma>

5.2 Le sperimentazioni con i DivertiEsperimenti per gli studenti di liceo

Gli studenti che partecipano ad attività extra curricolari stimolanti, come attività laboratoriali o competizioni scientifiche, danno risultati nelle prove OCSE-PISA molto al di sopra della media, e più della metà di essi mostra di desiderare di trovare occupazione in ambito scientifico (OCSE-PISA 2015). È indubbiamente importante, per motivare gli studenti allo studio della fisica, offrire un ventaglio di opportunità formative che coadiuvino gli insegnanti nel loro lavoro. Il Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno si apre al mondo della scuola ormai da anni proponendo varie attività di divulgazione, formazione e orientamento per alunni e docenti della scuola secondaria. Abbiamo già citato tra le principali attività la gara scientifica associata al Premio "E. R. Caianiello" per le valorizzazioni delle eccellenze, i corsi di preparazione alle Olimpiadi della Fisica dell'Associazione Italiana di Fisica AIF, la Scuola Estiva di Fisica (SEF) per studenti, le numerose attività del Piano Lauree Scientifiche, nonché le visite guidate ai laboratori di ricerca, i laboratori didattici in situ e sul territorio.

Nell'ultimo decennio, cioè da quando è stata realizzata, la mostra "DivertiEsperimenti" ha rappresentato un momento centrale in numerose manifestazioni di divulgazione scientifica aperte al territorio cittadino, sia per studenti e docenti, sia presso laboratori del Dipartimento che presso le Scuole, che rivolte al largo pubblico. La mostra è stata utilizzata per svolgere attività laboratoriali, progetti didattici di varia durata presso le scuole del territorio; in più di un'occasione, i nostri esperimenti sono stati al centro di attività divulgative in ambito di manifestazioni cittadine pubbliche, presso vari comuni del territorio. Il mio progetto di ricerca è stato finalizzato dunque a potenziare la mostra: durante il dottorato gli esperimenti sono stati utilizzati per alcune attività di orientamento organizzate dal Dipartimento, per la Scuola Estiva di Fisica per studenti, per la manifestazione "Futuro Remoto" edizione 2014 di Città della Scienza; sono stati dati in prestito alle scuole per attivare laboratori scientifici e attività di orientamento in ingresso. Le principali attività svolte con i DivertiEsperimenti sono elencate nella tabella 20 (un elenco più dettagliato è riportato nel "Materiale supplementare S 2").

Tabella 20

Schema riassuntivo delle principali attività svolte durante il lavoro di dottorato con la mostra “DivertiEsperimenti”

Schema riassuntivo delle principali attività svolte nel triennio 2014-2016 con la mostra “DivertiEsperimenti”			
Attività	quantità	Numero di studenti partecipanti	Numero di docenti partecipanti
Manifestazioni scientifiche per il vasto pubblico	6	In totale ordine delle migliaia (anche pubblico generico)	
Visite di studenti/docenti presso UniSa	8	Circa 400	Circa 100
Attività presso le scuole⁸³	16	Circa 700	Circa 100

In particolare, i DivertiEsperimenti sono stati lo strumento di partenza per attivare le sperimentazioni per gli studenti di Liceo descritte più in dettaglio nei paragrafi successivi. All'interno di tali attività, coerentemente con la normativa europea, che invita come già detto al “potenziamento delle metodologie laboratoriali e delle attività di laboratorio”, abbiamo utilizzato quale metodologia didattica preferenziale, la didattica laboratoriale. Essa presuppone l'uso della metodologia della ricerca, pertanto intende il laboratorio non solo come uno spazio fisico attrezzato in maniera specifica ai fini di una determinata produzione, ma come situazione, come modalità di lavoro, anche in aula, dove docenti ed allievi progettano, sperimentano, ricercano.

Le attività didattiche si sono svolte presso le scuole coinvolte e nelle aule e nei laboratori di didattica del Dipartimento “E. R. Caianiello”.

Come già descritto nel paragrafo, i DivertiEsperimenti sono facilmente trasportabili e ciò consente di organizzare anche presso le scuole lezioni mirate con essi, spesso integrandoli con i materiali dei laboratori scientifici scolastici. D'altro canto le

⁸³ Anche presso l'Università del Molise

lezioni presso il Dipartimento di Fisica si possono integrare con visite interattive in alcuni laboratori di ricerca, ed anche presso l'Osservatorio Astronomico. Giovani ricercatori mostrano ai ragazzi la propria attività scientifica, spiegandone finalità e obiettivi, illustrando il funzionamento di apparati e strumentazioni di ricerca, in modo da far affacciare gli studenti nel mondo della ricerca scientifica sperimentale. Il Dipartimento "E. R. Caianiello" è dotato di numerosi laboratori che rappresentano, per i risultati di ricerca scientifica in vari settori e per le sofisticate strumentazioni, delle eccellenze nel panorama della ricerca scientifica internazionale. In particolare, Salerno ha una importante tradizione per quanto riguarda lo studio della superconduttività. I laboratori di ricerca che si aprono alle visite degli studenti sono dunque principalmente quelli di:

- "Superconduttività non convenzionale",
- "Scanning Probe Microscopy", microscopia a effetto tunnel,
- diffrattometria a Raggi X,
- fabbricazione ed analisi di superconduttori- laboratorio MUSA (Multifunctional Material Synthesis and Analysis group).

È possibile mostrare, durante tali visite interattive, la transizione di un superconduttore sottoposto a raffreddamento in azoto liquido, attraverso la registrazione dell'andamento della curva della Resistenza elettrica in funzione della Temperatura. Viene anche mostrata e fatta comprendere quantitativamente la fenomenologia della levitazione diamagnetica di una pasticca di superconduttore raffreddato in azoto liquido, ossia l'espulsione di campo magnetico dovuto ad un magnete -effetto Meissner- (figura 30). Su tale effetto si basa il funzionamento dei treni a levitazione magnetica, per mostrare il quale è stato costruito un modellino dimostrativo per gli studenti (Figura 31).



Figura 30

Foto di un esperimento di levitazione diamagnetica di un piccolo magnete su di una pasticca di superconduttore raffreddato in azoto liquido durante le attività per la Scuola con i DivertiEsperimenti.

•

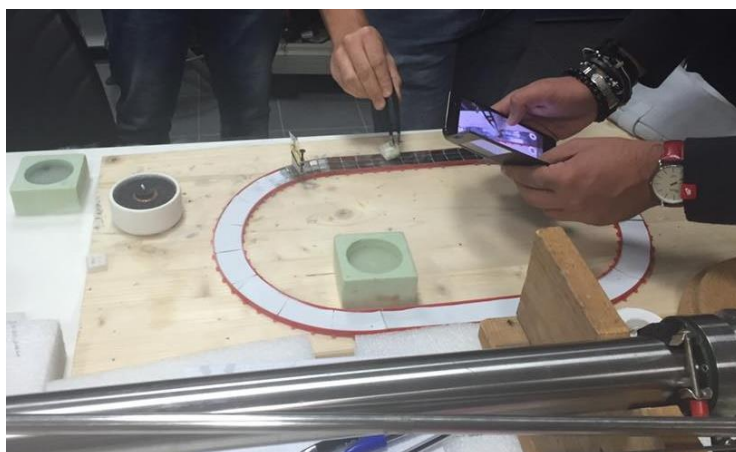


Figura 31

Foto di una dimostrazione del principio funzionamento dei treni a levitazione magnetica con materiali superconduttori attraverso un modellino didattico.

Gli studenti possono essere poi introdotti ai misteri quantistici dell'infinitamente piccolo dalle spiegazioni dei ricercatori dinanzi allo "Scanning Tunnel Microscopy" (STM) del Dipartimento, che è un sofisticato microscopio che si basa sull'effetto quantistico tunnel.

Il percorso didattico viene di solito arricchito con numerose attività didattiche presso l'Osservatorio Astronomico del Dipartimento; oltre che con interessanti osservazioni astronomiche, anche con seminari su temi di grande attualità, quali ad esempio la ricerca di pianeti extrasolari.

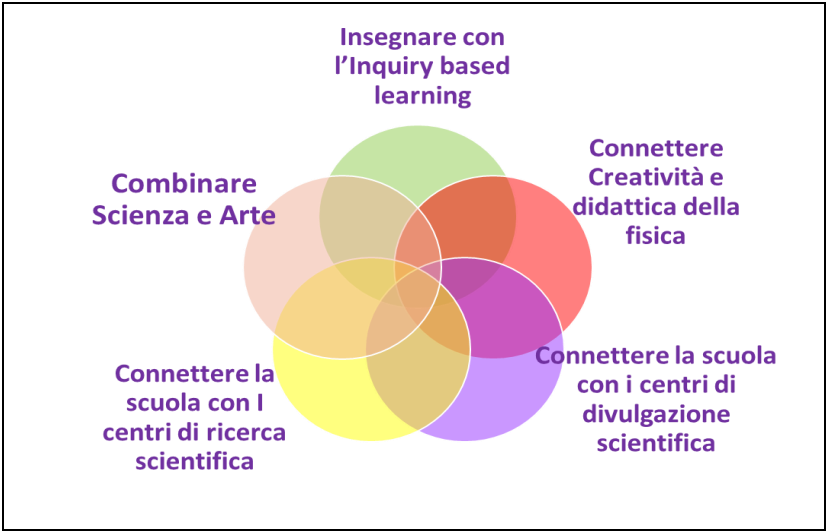
5.2.1 Il progetto “Nequēunt sine luce esse colores”

Per sperimentare direttamente nelle classi nuove strategie didattiche e strumenti specifici per l'insegnamento della fisica, la metodologia IBSE in particolare, ho progettato e coordinato la realizzazione di un progetto con gli studenti di due classi di un liceo classico di Salerno. Prendendo spunto dalle celebrazioni dell'Anno Internazionale della luce, il 2015, ho ideato il progetto denominato "Nequēunt sine luce esse colores" ("Senza luce non può esserci colore"), rivolto a trenta studenti degli ultimi due anni del Liceo “De Sanctis” di Salerno.

Parlare della luce significa aprire la possibilità di sondare, studiare o anche solo sfiorare una miriade di argomenti, tutti dal potenziale altamente formativo e interdisciplinare. Innumerevoli sono i modi di introdurre e di sviluppare questo argomento che abbraccia una cascata di tematiche che si diramano, si intrecciano, si sciolgono per poi rincontrarsi secondo percorsi che volta per volta, di certo mai eguali, si sviluppano dall' interazione mediata dal docente guida con la classe di studenti.

Il progetto è stato sviluppato in collaborazione con il Liceo, che ha stipulato a tal fine una convenzione con il Dipartimento “E. R. Caianiello”. Ho potuto portare a termine il progetto grazie alla grande disponibilità e supporto, in molte delle fasi previste, da docenti e ricercatori del Dipartimento interpellati. In figura 32 sono rappresentati i principali obiettivi del progetto:

Gli obiettivi del progetto
«Nequēunt sine luce esse colores»



*figura 32
principali obiettivi del progetto denominato "Nequēunt sine luce esse colores"*

Il progetto è stato realizzato in quattro fasi:

Tabella 21

Le fasi del progetto
«Nequēunt sine luce esse colores»

- 

1. Visite interattive ai laboratori di ricerca del Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno
- 

2. Attività laboratoriali presso la scuola basate sull'IBSE
- 

3. Seminari universitari presso la scuola
- 

4. Produzione a scuola di un video divulgativo sulle attività svolte

Nella prima fase gli studenti sono stati coinvolti in visite interattive ai laboratori di ricerca del Dipartimento di Fisica, presso l'Università di Salerno. Guidati a osservare il lavoro e le strumentazioni di alcuni temi di ricerca gli studenti vengono coinvolti in una prima fase di Engage.

Nella seconda parte del progetto, svoltasi presso la scuola, ho coinvolto gli studenti in molte attività laboratoriali. La tematica scelta, come indica il titolo, è la luce ed il colore; sono stati indagati, con una modalità basata sull'IBSE, svariati fenomeni ottici come riflessione, rifrazione, interferenza.

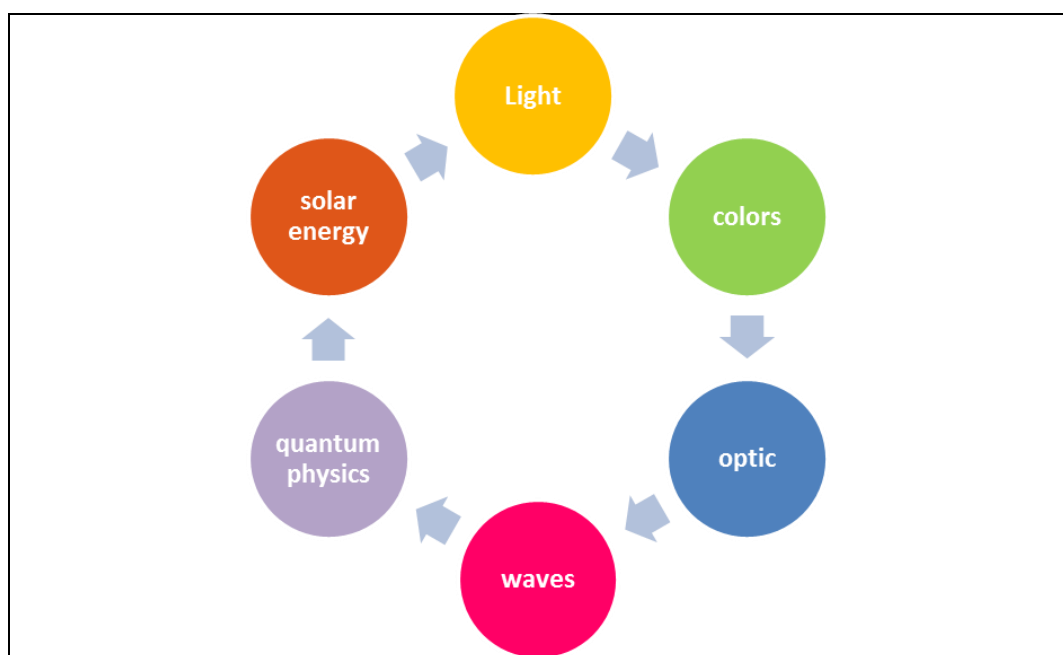


figura 33

Le parole chiave del progetto “Nequēunt sine luce esse colores”

Durante le quindici ore di lezione interattive abbiamo introdotto i "misteri" della luce e della sua doppia natura (corpuscolare e ondulatoria) a partire da esperienze dirette, con materiali poveri e semistrutturati. Per questo scopo, sono stati utilizzati anche alcuni exhibits dei “DivertiEsperimenti”, in particolare quelli sull’ottica geometrica, sulla polarizzazione, sugli effetti ottici.

In questa fase, l'insegnamento è stato focalizzato sul guidare gli studenti a porsi domande e inquadrare problemi da risolvere. Con semplici esperimenti ho attivato l'”inchiesta”, e guidato gli studenti a capire fenomeni comuni o complessi, dopo essersi posti domande e aver formulato ipotesi scientifiche. Le evidenze sono state raccolte attraverso la manipolazione di materiali e l’osservazione di eventi, ma anche

attraverso l'utilizzo di fonti diverse di informazione che includono libri, Internet, ed anche il know how di insegnanti e ricercatori.

Come insegnante ho svolto il ruolo di facilitatore e guidato gli studenti verso la comprensione dei concetti scientifici e verso lo sviluppo delle competenze proprie dell'*Inquiry* (*Inquiry skills*), coinvolgendoli attivamente e facendoli riflettere, anche attraverso il divertimento e la creatività, sulle loro esperienze.

Considerati i tempi brevi dell'intervento e la vastità degli argomenti, ho utilizzato prevalentemente una tipologia di *Inquiry strutturato*, secondo cui gli studenti investigano una domanda presentata dall'insegnante attraverso una procedura assegnata, e/o *guidato*, dove gli studenti investigano una domanda presentata dall'insegnante usando procedure progettate o selezionate dagli studenti stessi.

Lo scopo è stato attivare l'insieme di competenze degli studenti, descritto dall'US National Research Council 2000 e riassunto nei cinque punti riportati qui di seguito:

1. lo studente è coinvolto da interrogativi di tipo scientifico,
2. lo studente deve dare priorità alla dimostrazione, nel rispondere alle domande,
3. lo studente deve formulare spiegazioni a partire dalle prove che fornisce,
4. lo studente collega le spiegazioni fornite alla conoscenza scientifica,
5. lo studente comunica e giustifica le sue spiegazioni agli altri.

Parallelamente, è stata avviata una fase seminariale: i ragazzi hanno seguito due seminari presentati da docenti del Dipartimento con contenuti in tema col progetto. Si è parlato delle problematiche relative alla natura della luce, alla fotonica e alla fisica quantistica, contestualizzandole con le problematiche energetiche ed ambientali e proponendo per esse nuove soluzioni.

Anche in questa fase, come nelle altre, è stata data una grossa rilevanza alla connotazione degli studi svolti dai ragazzi, favorendo una interdisciplinarietà fra studi classici e scientifici. Come indica il titolo scelto, tutti gli interventi, ma soprattutto quelli seminariale, sono stati calibrati sulla base culturale dei discenti, enfatizzando le innumerevoli connessioni fra le tematiche di fisica classica e moderna con il mondo classico, e in particolare con la filosofia ma anche con il bagaglio dell'antica Grecia. Il background dei discenti è stato valorizzato, dando loro modo di partire dalle proprie conoscenze e competenze e metterle in gioco in un ambito scientifico, alla ricerca dell'unitarietà della cultura e del superamento delle barriere disciplinari.

L'esperienza è stata entusiasmante per tutti: gli studenti hanno apprezzato la strategia educativa e l'attenzione prestata dall'Università degli Studi di Salerno al loro percorso formativo. Nel quadro del "apprendimento basato sull'Inquiry", gli studenti hanno partecipato attivamente al progetto rispondendo alle principali questioni scientifiche durante il progetto.

Come prodotto finale del progetto è stato chiesto ai ragazzi di collaborare alla realizzazione di un video sull'Inquiry svolta. Pur non avendo programmato un tempo da dedicare a tale lavoro, gli studenti si sono impegnati, con la mia guida e quella degli insegnanti di latino, greco, filosofia e inglese, a realizzare degli interventi originali con brevi filmati in lingua inglese. Il lavoro è stato completato da immagini, foto e slides delle attività svolte e studiate. Con il titolo: "Light: what a mystery!" il video prodotto ha partecipato alla International Conference "Inquiry based learning and Creativity in Science Education" tenutasi ad Atene dal 9 al 10 ottobre 2015⁸⁴.

5.2.2 I DivertiEsperimenti per il progetto “Liceo Matematico”

Il *Liceo Matematico* (LM) nasce nell'Anno Scolastico 2015/16 da una sperimentazione didattica promossa dal gruppo di ricerca di Didattica della Matematica dell'Università di Salerno⁸⁵. Il progetto didattico LM ha la finalità di accompagnare il percorso liceale con ore di didattica aggiuntive presso le scuole aderenti, potenziando le competenze di base degli studenti e favorendo buone disposizioni interne motivazionali verso gli studi scientifici. Parte del programma educativo proposto è riconducibile alla teoria della complessità di E. Morin, che ben si coniuga con il panorama didattico attuale della scuola delle competenze. I primi due anni di sperimentazione, che hanno coinvolto otto Licei Scientifici delle province di Avellino, Salerno, Benevento e Napoli, hanno dato risultati incoraggianti e si sta avendo un incremento del numero delle scuole coinvolte nel progetto. Esso si articola in corsi aggiuntivi di approfondimento rispetto ai normali corsi scolastici, tesi ad ampliare la formazione dell'allievo e finalizzati a svilupparne le capacità critiche e l'attitudine alla ricerca scientifica. I corsi si avvalgono del contributo

⁸⁴ La Conferenza è stata patrocinata da: CREAT-IT (progetto fondato col supporto della Commissione Europea), Scientix (progetto finanziato da European Union's Seventh Framework Programme for Research and Development) e Inspiring Science (progetto finanziato da European Union's ICT Policy Support Programme). <http://www.scientix.ea.gr/>.
In Materiale supplementare S4 vi è un riassunto del progetto.

⁸⁵ La guida dello studente è nel sito:
<http://www.liceogatto.it/liceo%20matematico/GUIDASTUDENTELM2016.pdf>

didattico e scientifico sia di docenti interni al Dipartimento di Matematica e di Fisica dell'Università degli studi di Salerno sia di docenti esterni qualificati. Nei corsi tenuti, la matematica fa da *trait d'union* tra le altre 'culture'. In particolare si analizza il rapporto della matematica con la letteratura, la storia, la filosofia, così come con la chimica e la biologia, rilanciando il ruolo che la matematica ha avuto nei secoli nel contesto sociale. Lo scopo è quello di offrire allo studente saperi e competenze affini alla matematica, per potersi orientare consapevolmente nei diversi contesti del mondo contemporaneo. Sono previste, sin dal primo anno, ore aggiuntive di fisica, al fine di insegnare ad affrontare delle situazioni problematiche attraverso linguaggi formalizzati, e di fornire agli studenti gli strumenti metodologici della nostra disciplina. Tutta l'azione didattica è innestata nel substrato culturale della didattica per competenze, e mira a favorire un sistema coordinato di conoscenze e abilità che sono mobilitate dal soggetto in relazione ad uno scopo (un compito, un insieme di compiti o un'azione) che lo interessano e che favoriscono buone disposizioni interne motivazionali e affettive (Pellerey, 2003). Come sostiene D'Amore (2000): «(le competenze) non possono ridursi ad una sola disciplina; esse suppongono e creano delle connessioni tra conoscenze e suggeriscono nuovi usi e nuove padronanze, il che significa che "le competenze generano competenze"». La fisica è di certo un ottimo veicolo per costruire competenze ed agire didatticamente in maniera transdisciplinare: la modalità didattica scelta è interattiva, essendo svolta con continui esperimenti, riferimenti alla realtà, l'uso delle TIC, il *learning by doing* e soprattutto la metodologia IBSE. I moduli di fisica assumono un rilevante ruolo formativo nel progetto LM e forniscono un'occasione per disseminare pratiche suggerite dalla attività di ricerca, nonché per effettuare nuove sperimentazioni (Capone et al., 2016).

Per le classi prime del LM con il Dipartimento di Matematica abbiamo progettato un percorso di fisica sulla luce ed il colore, la visione e la percezione che, partendo da materiali poveri ed anche dagli exhibits dei *DivertiEsperimenti* coinvolgesse ed incuriosisse gli studenti, portandoli a costruire nuove conoscenze e competenze.

Viene disseminata anche l'esperienza di formazione per i docenti sulla metodologia IBSE ricevuta dagli esperti TEMI dell'Università di Milano: abbiamo inserito per le classi prime l'implementazione delle attività su luce e colore con la metodologia IBSE sull'esempio della già citata scheda "Indovina il colore".

La sperimentazione in classe è stata da me svolta presso il Liceo “Gatto” Agropoli (Sa), con 25 alunni provenienti da diverse classi prime del Liceo scientifico. La tematica di Inquiry approfondita all’interno del percorso sulla visione è stata: le figure da noi percepite sono sempre una esatta interpretazione della realtà fisica che rappresentano? Le forme, le dimensioni e l’orientamento delle figure percepite corrispondono esattamente alla realtà esterna? Naturalmente gli scienziati sanno, e i docenti di scienze lo insegnano, che durante gli esperimenti “guardare non è vedere”. Del resto, l’esperimento, e la sua interpretazione, sono molto di più nella testa di chi li immagina, li costruisce e li interpreta, che in quello che si presenta ai suoi occhi. Il salto concettuale non si ha necessariamente quando vengono visti fenomeni diversi ma quando si vede lo stesso fenomeno con occhi diversi. Ad occhi diversi la natura offre possibilità di risposte diverse, creando un gioco di domande e interpretazione delle risposte su cui la creatività ed il genio umano hanno consentito di spiegare il mondo. Sia le domande sia le risposte non nascono da sole, ma sono il frutto di teorie riconosciute valide, delle regole e delle procedure che ogni comunità di studio si dà al proprio interno; l’esperimento non è soltanto la constatazione di una serie di fatti ma anche la loro “traduzione secondo un linguaggio simbolico fatto di regole tratte dalle teorie” (Duhem 1978). I ragazzi sono stati coinvolti con varie strategie didattiche tese a far loro mettere in campo personali competenze e conoscenze. All’occorrenza è stato inserito anche l’insegnamento capovolto (flipped teaching), che utilizza il tempo della lezione nel risolvere problemi, approfondire argomenti, collegare temi e analizzare i contenuti disciplinari, produrre elaborati in gruppo e in modalità peer to peer in un contesto di laboratorio assistito. In questa circolazione di idee è stata fatta emergere una forte curiosità da parte dei discenti per il proprio territorio. È stato naturale inserire e adattare i temi trattati sul contesto territoriale della classe, formata da alunni di vari paesi del territorio, fortemente caratterizzato dall’ambiente costiero e dall’appartenenza alla Magna Graecia (Paestum dista dalla scuola circa 10 Km).

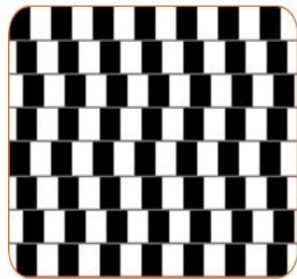
Per rispondere alle domande poste insieme agli studenti, durante il percorso di 10 ore sono stati studiati e sperimentati alcuni aspetti dalla rifrazione della luce, gli effetti ottici ad essa collegati, quali il miraggio e la fata Morgana, nonché le illusioni ottiche dovute, oltre che alla visione, alla percezione, ovvero al completamento che delle immagini produce il cervello. È stato dunque evidenziato, con metodologia tipo laboratoriale, utilizzando la modalità IBSE, che esistono effetti di diversa natura, che

portano ad una “visione” della realtà differente da ciò che essa è, ma comune in genere a tutti gli osservatori. È stata svolta quindi un’Inquiry per evidenziare la differenza fra gli effetti dovuti all’ottica geometrica e le illusioni ottiche generate dalla percezione visiva (figura 34).

differenza fra



Effetti ottici (l’ottica geometrica)



Illusioni ottiche (la percezione)

Figura 34

Foto di esperimenti con cui ho mostrato due “distorsioni visive” della realtà: la prima, con le diagonali colorate distorte, è fisica, dovuta alla rifrazione e all’effetto “lente” del recipiente cilindrico, l’altra, le linee apparentemente storte, è una mera costruzione sensoriale del nostro cervello (misurare le linee per credere!).

Dopo aver riportato numerosi esempi ed effettuato svariati esperimenti sulla luce, il colore, la visione e la percezione, i ragazzi hanno intrapreso ricerche su tali effetti sul proprio territorio ed è apparso interessante l’utilizzo di svariate tecniche nell’arte, basate sulla percezione, già note agli antichi greci. Gli studenti hanno fotografato i templi di Paestum e ricercato in particolare gli effetti ottici e percettivi utilizzati per la costruzione delle colonne. Nella costruzione dei templi sono state infatti applicate alcune “correzioni” per migliorare l’effetto visivo della costruzione: la scanalatura, la rastremazione, l’entasi, sono tutti esempi di ben noti artifici utilizzati per correggere effetti ottici dovuti, in talune condizioni, alla percezione. In particolare appare degno di nota l’accorgimento che compensa la cosiddetta illusione di Ebbinghaus, che fa sì che la dimensione degli oggetti ci appaia diversa a seconda del contesto in cui sono posti visivamente. Ciò spiega il maggiore diametro delle colonne più esterne, che a differenza di quelle interne hanno il vuoto da un lato, e per questo

ci apparirebbero più piccole, così come la luna ci appare più piccola se è alta nel cielo e più grande se è prossima all'orizzonte.

In definitiva i greci conoscevano le regole della «perfezione» (applicavano ad esempio migliaia di anni prima di Fibonacci, la sezione aurea nell'architettura), ma contestualmente correggevano le distorsioni della percezione umana costruendo dei dettagli ad hoc, in maniera «sbagliata» per avere un risultato percettivo «corretto» secondo i canoni di armonia classica. Tenendo conto che il lavoro è stato svolto in classi prime, ci sembra che l'esperienza didattica prodotta abbia valenza soprattutto per quanto riguarda la interdisciplinarietà: l'argomento ci ha consentito di affrontare tematiche proprie della fisica, ma anche della biologia (il funzionamento dell'occhio e del cervello) della filosofia (la realtà è come sembra?), della matematica (la serie di Fibonacci ecc), della geometria, dell'arte e dei beni culturali.

Dalla questa sperimentazione è risultata una comunicazione dal titolo *“Inquiry sugli effetti ottici nei templi di Paestum: una esperienza didattica- I ragazzi del «Liceo Matematico» studiano il mondo che li circonda, con attenzione ai fenomeni fisici sul proprio territorio”*, che ho presentato nella sezione di didattica della fisica del Congresso della Società Italiana di Fisica (SIF) del 2016⁸⁶. Con gli studenti abbiamo inoltre prodotto un lavoro multimediale che è stato presentato, con il titolo *“Paradossi visivi: la realtà che percepiamo è fisica, matematica...o non esiste?”* al concorso nazionale “Pensare per paradossi” della Fondazione filosofica “Alario” di Elea (Salerno), annualità 2016.

5.2.3 I DivertiEsperimenti per la Scuola Estiva di Fisica

Con la finalità di fornire a studenti degli ultimi anni di Liceo un'opportunità formativa quanto più qualificata e mirata, dal 2014 è stata avviata dal Dipartimento “E. R. Caianiello” dell'Università degli Studi di Salerno la Scuola Estiva di Fisica (SEF) per studenti. La SEF è un'opportunità per gli studenti del Liceo di poter seguire lezioni di livello universitario studiate per loro, di visitare e/o utilizzare laboratori, strumentazioni e materiali dei Laboratori di didattica e di ricerca di un Dipartimento di Fisica Universitario. Tale importante iniziativa vuole rendere stabile nel tempo e sempre più efficace e completa la connessione fra l'Università e la Scuola secondaria di II grado. La formula di base è ormai abbastanza collaudata, ma a seconda dei

⁸⁶ Vedi Materiale supplementare S 4

feedback ottenuti vengono ogni anno fatte delle correzioni e variazioni, anche contestuali alla situazione (ad esempio la seconda edizione è stata interamente dedicata alla luce, poiché il 2015 è stato designato da Nazioni Unite e UNESCO anno internazionale della luce). La scuola si svolge di solito nella prima settimana di settembre per cinque giorni, e propone per l'intera giornata numerose attività che vedono i ragazzi protagonisti. La programmazione riempie l'intera giornata, e prevede anche il pernottamento su richiesta, presso le residenze universitarie. I destinatari sono alunni iscritti alle classi quarte e quinte delle scuole secondarie di II grado delle province di Avellino e Salerno selezionati secondo un bando pubblico. Obiettivo principale della Scuola è offrire agli studenti degli ultimi anni di Scuola Secondaria di Secondo grado l'opportunità di essere coinvolti in lezioni, esperimenti ed attività di laboratorio usufruendo del know-how, delle professionalità e delle strumentazioni universitarie. Naturalmente lo scopo di base è rinforzare la passione per la Fisica di giovani studenti motivati e selezionati, dando loro la possibilità di partecipare attivamente ed a tempo pieno ad attività appositamente studiate per loro. L'ottica è quella della *didattica per competenze*, ovvero l'intera azione didattica è stata finalizzata allo sviluppo di abilità associate al saper fare o, come si dice in psicopedagogia, a conoscenze di tipo procedurale. Si cerca di attivare nello studente “un sistema coordinato di conoscenze e abilità che sono mobilitate dal soggetto in relazione ad uno scopo (un compito, un insieme di compiti o un'azione) che lo potessero interessare e che potessero favorire buone disposizioni interne motivazionali e affettive” (Pellerey, 2003). Lo scopo è innescare competenze che creino delle connessioni tra conoscenze e suggeriscano nuovi usi e nuove padronanze, auspicando che “le competenze generano competenze” (D'Amore, 2000).

Gli argomenti vengono scelti spaziando fra varie tematiche di fisica classica e moderna. Oltre che dal Comitato Scientifico, le attività sono proposte e guidate da numerosi professori, ricercatori, dottorandi, personale tecnico del Dipartimento nonché docenti scolastici afferenti all'AIF. Si tratta dunque di un lavoro di team nel quale ciascuno, mettendo in gioco le proprie competenze, trasmette ai ragazzi, oltre a conoscenze e abilità, l'entusiasmo e la passione per la fisica. I cinque giorni di SEF vengono programmati, secondo tematiche e cronoprogramma che variano per ciascuna edizione, con una fitta alternanza di:

✓ lezioni teoriche che forniscono o approfondiscono strumenti formali,

- ✓ esercitazioni sulla risoluzione di problemi,
- ✓ seminari,
- ✓ esperimenti in laboratorio,
- ✓ osservazioni
- ✓ visite didattiche ai laboratori di ricerca.



Figura 35

Foto di un gruppo di studenti della SEF 2015 al termine delle visite ai laboratori di ricerca del Dipartimento “E. R. Caianiello” con alcuni dei ricercatori coinvolti nella scuola.

Le lezioni sono di carattere non frontale ma interattivo, tenute ai ragazzi a premessa e/o integrazione delle attività laboratoriali, che sono un momento fondante della SEF. Molti studenti hanno indicato proprio le attività di laboratorio come le più piacevoli ed efficaci: dall’analisi dei questionari di gradimento emerge un giudizio molto soddisfacente verso le attività laboratoriali sia in termini di gradimento che di efficacia formativa. Per poter valutare l’efficacia delle azioni della SEF, ai partecipanti è stato infatti chiesto di rispondere (in forma anonima) a due questionari: il primo somministrato “in ingresso” per indagare sulle loro aspettative, il secondo “in uscita” per conoscere se, ed in che modo, le loro aspettative fossero state soddisfatte. Tutte le lezioni, tutte le esperienze in laboratorio e tutti i seminari, secondo le risposte, hanno sortito nei partecipanti entusiasmo ed interesse.

Anche per i docenti e per i ricercatori coinvolti è un momento di confronto formativo molto significativo, nel quale ciascuno mette in gioco le proprie competenze, contribuendo alla sinergia Scuola-Università ormai imprescindibile per la crescita della Scuola e degli studenti. Questa esperienza è dunque una importante opportunità

per la creazione di un “luogo” di confronto e di collaborazione tra Università e Scuola in accordo anche con le *Indicazioni Nazionali per i Licei*, a loro volta riferite alle strategie Europee per la costruzione di una *società della conoscenza*. Dunque la SEF dell’Università di Salerno si sta mostrando una realtà importante per la didattica della fisica. Al successo di questi primi, sperimentali anni, hanno contribuito anche i DivertiEsperimenti. Di seguito sono riassunte le attività svolte introducendo i DivertiEsperimenti nella didattica della SEF, che sembrano essere state molto gradite dagli studenti.

Attività 1: ho utilizzato i DivertiEsperimenti per la apertura della edizione 2015 della Scuola con la lezione “*Celebriamo l’anno della Luce: introduzione ai fenomeni dell’ottica e della fotonica con gli exhibits dei “DivertiEsperimenti”*”. Attraverso l’uso di una selezione ad hoc degli exhibit ho introdotto i discenti, in maniera informale, alla tematica caratterizzante la SEF 2015, ossia la luce. Mostrando in maniera interattiva numerosi fenomeni relativi alla luce ed alla sua doppia natura (attraverso esperimenti qualitativi di riflessione, rifrazione, polarizzazione ecc) ho accolto e coinvolto gli studenti all’avvio del percorso che hanno poi completato con numerose attività formali nel corso della Scuola.



Figura 36

Foto di un momento della lezione introduttiva della SEF 2015 con gli exhibit dei DivertiEsperimenti dedicata alla luce.

Attività 2: una sinergia fra laboratorio di misura formale e laboratorio hands-on sulla polarizzazione della luce.

Partendo dall’Engage con l’exhibit dei DivertiEsperimenti “Luce polarizzata” conduciamo gli studenti alla formalizzazione della legge di Malus. Tale sperimentazione è stata svolta all’interno delle attività di laboratorio di misura

predisposte per la SEF. Esse prevedono la preventiva progettazione dei percorsi, la produzione delle schede di laboratorio per ciascun esperimento proposto, nonché l'allestimento dei relativi apparati sperimentali per ciascun gruppo di lavoro. Tale fase preliminare, concordata con il Comitato scientifico, coinvolge un team di numerosi docenti, provenienti da esperienze didattiche e professionali diverse: insegnanti di matematica e fisica nella Scuola di II grado, soci AIF; dottorandi di ricerca, Professori e Ricercatori dell'Università di Salerno. I corsisti vengono suddivisi in gruppi da tre/quattro e per ciascun gruppo viene allestita una stazione sperimentale; ogni giorno gli studenti effettuano così una diversa sperimentazione. In base alla metodologia didattica adottata, i discenti sono lasciati liberi di utilizzare le strumentazioni fornite, sperimentare e compilare la scheda di laboratorio in maniera autonoma, seppure sempre supportati dalla presenza dei docenti, pronti a fornire le spiegazioni richieste. Le schede sono proposte in modo da dare quante più indicazioni agli studenti per renderli quanto più autonomi nell'osservare, misurare e proporre ipotesi, coerentemente con la metodologia della didattica laboratoriale che pone il docente come guida che lascia il discente libero di sperimentare e apprendere secondo i propri schemi cognitivi mettendo in atto strategie e potenzialità personali. Al termine delle attività, i ragazzi si confrontano, presentando a gruppi le sperimentazioni effettuate e i risultati ottenuti.

In tale ambito ho dunque unito alla fase formale di sperimentazione qualitativa ed anche quantitativa della polarizzazione della luce tramite un banco ottico del laboratorio didattico di ottica del Dipartimento (Figura 37) una fase informale, con exhibit hands-on della mostra. Lo scopo finale dell'attività è la misura dell'indice di Malus (in Materiale supplementare S 5 vi è la scheda di laboratorio che ho prodotto come guida agli studenti) ma, per introdurre gli studenti a tale attività, che per le sue caratteristiche possiamo definire formale, ho utilizzato anche alcuni DivertiEsperimenti.



Figura 37

Foto dell'attività di laboratorio durante la SEF 2015. I ragazzi sperimentano le proprietà della luce polarizzata col banco ottico (da sinistra a destra: fonte di luce bianca, due filtri polarizzatori di cui uno rotante e fornito di goniometro, rilevatore di luminosità).

Accanto alle strumentazioni ed alla scheda di laboratorio fornite ai discenti per la misura dell'indice di Malus, ho infatti reso fruibili alcuni exhibit, quali varie molle Slinky e l'exhibit "Luce polarizzata". Con il loro ausilio ho potenziato la fase di Engage dell'Inquiry sulla polarizzazione. I ragazzi sono stati lasciati liberi di manipolare a loro piacimento le molle, osservando le differenti modalità di propagazione della perturbazione a seconda delle condizioni iniziali. In Figura 38 vi è la foto di un momento di tale fase.



Figura 38

Foto di una fase di Engage durante il laboratorio della SEF 2015. I ragazzi sperimentano le proprietà delle onde usando una molla "slinky" in maniera informale.

Il percorso hands-on è continuato con l'exhibit "Luce polarizzata"; esso è una versione, originale nella forma, di analoghi exhibit già ideati per altre mostre, a partire dall'Exploratorium di S. Francisco così come a Città della Scienza di Napoli. Si tratta di un pannello luminoso, dinanzi alla quale si posizionano due dischi polarizzatori (con diametro di circa 50 cm) che possono ruotare e/o essere tolti e rimessi a piacimento. Il primo filtro lascia passare la luce con una polarizzazione in una data direzione-, cosicché l'intensità della luce dopo il passaggio attraverso il secondo filtro dipende fortemente dalla rotazione reciproca di un polarizzatore rispetto all'altro. Ciò consente di visualizzare la capacità dei polarizzatori di filtrare la direzione di oscillazione del campo elettromagnetico associato alla radiazione luminosa, il che dà la possibilità di introdurre alla fenomenologia della natura ondulatoria della luce. Nello spirito dell'Inquiry e di TEMI, questo è un perfetto esempio di come si possa creare un mistero da cui partire per ingaggiare un'indagine scientifica.



Figura 39

Foto dell' Exhibit "Luce polarizzata" della mostra DivertiEsperimenti del Dipartimento "E. R. Caianiello": vi sono due dischi di plexiglass, che possono entrambi ruotare, su cui sono apposti dei filtri polarizzatori. Il pannello che li sostiene si illumina tramite una fonte di luce bianca, ed è così possibile sperimentare l'effetto sulla luce di un filtro, e della rotazione di un secondo filtro rispetto ad esso.

Questo exhibit consente di incuriosire e attivare grande attenzione con effetti molto scenografici. Con un coup de théâtre che stupisce sempre il pubblico, inserendo fra i due polarizzatori un terzo disco di materiale otticamente neutro (va bene il plexiglass trasparente) sul quale siano stati apposti degli strati di scotch, compaiono infatti "dal

nulla” (in corrispondenza dello scotch) dei bellissimi e variegati colori! Inoltre, al ruotare di uno dei tre dischi, i colori cambiano creando inaspettati giochi cromatici. Lo scotch è infatti un materiale che possiede la proprietà ottica della birifrangenza. Quando il disco di plastica trasparente coperto di pezzi di scotch viene inserito tra i due polarizzatori, esso è investito dalla luce polarizzata che proviene dal primo polarizzatore. Lo scotch fa ruotare la polarizzazione della luce, in modo diverso per i vari colori contenuti nella luce bianca e per le varie orientazioni dei pezzi di nastro adesivo. Il risultato è che dal secondo polarizzatore può passare della luce, colorata in modo diverso a seconda dell’orientazione e dello spessore dello scotch, ed il cui colore cambia se il polarizzatore o il disco trasparente vengono ruotati. Tale fenomeno consente di introdurre con giochi sulla luce ed i colori argomenti complessi anche dalla non semplice formalizzazione, che vanno dall’ottica geometrica a quella ondulatoria, fino alla quantizzazione della luce. La fase di Extend della sperimentazione può essere svolta in molti modi, dall’utilizzo di luce monocromatica piuttosto che bianca, all’interposizione di scotch con diverso spessore o di vari altri materiali. Nella Figura 40 vi è una foto dell’*exhibit* allorché dello scotch viene interposto fra i due filtri polarizzatori.



Figura 40

Foto dell’ Exhibit “Luce polarizzata”: tra i due dischi polarizzatori è interposto un terzo disco con dei pezzi di scotch che, “magicamente”, si colorano.



Figura 41

*Schema dei tre dischi dell’*exhibit*: lo scotch, mezzo birifrangente, si colora se interposto fra i due dischi con i filtri polarizzatori*

Essendo stato realizzato in versione trasportabile, è stato con agevolezza utilizzato in numerose occasioni di divulgazione (manifestazioni scientifiche, open day, progetti di varia natura presso diversi istituti del territorio, manifestazioni cittadine).



Figura 42

I filtri possono essere facilmente trasportati ed usati in classe dagli studenti. Nelle foto la fase di Explore and Engage: i ragazzi sono liberi di sperimentare le varie combinazioni filtri-disco fra loro e rispetto allo scotch, di porsi delle domande ed ipotizzare soluzioni.

Questo exhibit, per la sua “misteriosa” e spettacolare performance, per gli interessanti argomenti che introduce e la possibilità di *Elaborate* e *Extend* che possiede, risulta sempre un momento centrale nelle occasioni di orientamento per le scuole. L'exhibit ben rappresenta lo spirito hands-on della mostra, in quanto è completamente manipolabile, in autonomia, dai fruitori. Sia in termini di utilizzabilità, che per il gradimento da parte del pubblico, è tra gli exhibit di maggior successo della mostra. L'esperimento può essere fruito a differenti livelli, consentendo la costruzione di interpretazioni differenziate per livello scolastico: dalla caratterizzazione della polarizzazione come proprietà della luce filtrata da un Polaroid si può guidare alla formalizzazione della fenomenologia fino a “trovare” le leggi empiriche di Malus, Brewster e di trasmittività.

L'Inquiry svolta durante la SEF è stata di tipo guidata e/o strutturata. La proposta didattica associata all'exhibit è stata studiata in modo da poter essere evidenziare la polarizzazione nella quotidianità e consentire di riconoscerla operativamente come proprietà della luce, ma anche attraverso esperimenti semiquantitativi o quantitativi funzionali al riconoscimento delle leggi fenomenologiche, che descrivono l'interazione tra luce polarizzata e materia.

Dai questionari di gradimento in uscita l'attività è risultata di interesse per la quasi totalità dei corsisti: su 28 risposte, il 50% ha dichiarato di averla trovata abbastanza interessante ed il 37% molto interessante. Anche in termini di apprendimento risulta efficace, in quanto il compito richiesto ai ragazzi nelle schede è stato portato a termine, seppure con variegata spiegazioni, che costituiscono interessante spunto di indagine ma non rientrano nell'interesse specifico di questo lavoro. L'interesse di tale percorso Inquiry risiede anche nel fatto che si possa riprodurre a scuola, con materiali abbastanza facilmente reperibili e riproducibili (Michelini et al, 1995), (Michelini et al., 2002), (Cobal et al. 2002).

Attività 3: nella edizione 2016 della SEF ho attivato il percorso “*Sperimentiamo i DivertiEsperimenti*”. I ragazzi sono stati coinvolti in un tipico percorso hands-on su gran parte degli exhibit della mostra, e guidati secondo la metodologia IBSE a proporre ipotesi esplicative sulla fenomenologia osservata e a discutere (anche estendendo ad altri fenomeni) le idee proposte. Nelle foto riportate in Figura 43 vi sono alcuni momenti della sperimentazione della mostra da parte dei ragazzi della SEF.

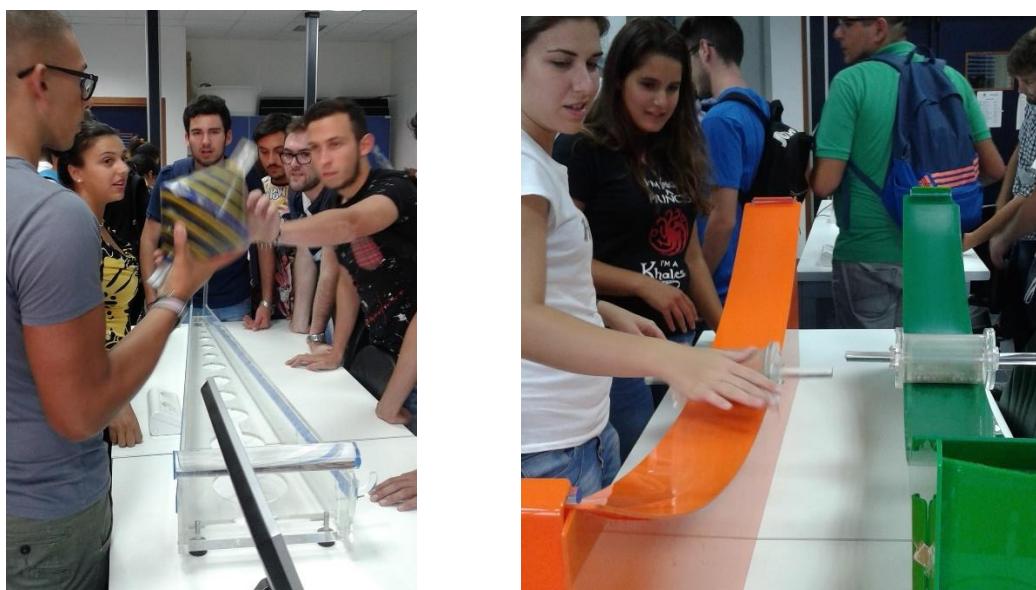


figura 43

Due foto del percorso “Sperimentiamo i DivertiEsperimenti” svolto durante la edizione 2016 della SEF. I ragazzi sono coinvolti nelle attività hands-on con gli exhibit della mostra del Dipartimento “E. R. Caianiello”

Tale ultima attività non fa che utilizzare i DivertiEsperimenti per ciò che essi sono, ossia exhibit di modalità hands-on per l'apprendimento informale e divertente di taluni fenomeni della fisica. Nella sua essenzialità questo percorso, svolto facendo fruire i DivertiEsperimenti

agli studenti della SEF è dunque particolarmente significativo e mi piace concludere con esso. Nel paragrafo successivo, dedicato ai risultati, sono riportati alcuni commenti dei ragazzi al termine di tale attività, che testimoniano quanto essi si siano entusiasmatisi, incuriositi, siano stati invogliati in definitiva dalla mostra ad approfondire la conoscenza della realtà che li circonda.

6 Risultati e sviluppi futuri

...come una bambina in un parco giochi... ogni piccolo risultato che poteva avvicinarsi a quelli che otteniamo poi dalle formule... ed averlo là dal vivo (con i DivertiespErimenti n.d.r.) anche un piccolo risultato, mi sembrava un regalo grande!

Chiara (studentessa di IV liceo scientifico)

6.1 Risultati ottenuti

Il nostro lavoro di disseminazione dell'IBSE, sperimentata con diverse modalità ed anche in sinergia con altri gruppi di ricerca, conferma che tale metodologia può entrare concretamente nella pratica scolastica, dando buoni risultati.

La metodologia IBSE è considerata infatti dalla didattica delle scienze come uno dei principali vettori d'innovazione, ma le sue potenzialità sono recepite ancora in misura modesta dalla scuola e dagli insegnanti, poiché molteplici fattori ne ostacolano la diffusione e l'utilizzo.

Con questo lavoro penso di aver dato un contributo originale in termini di buone pratiche che implementino nella didattica scolastica i risultati della ricerca in didattica della fisica, realizzando laboratori con materiali poveri, kit e soprattutto con gli exhibit della mostra DivertiEsperimenti del Dipartimento "E. R. Caianiello". Sono state poi sperimentate estensioni a laboratori più formali, utilizzando le strumentazioni universitarie. I risultati sono stati dei percorsi interattivi che, partendo dai fenomeni più famigliari, guidano attraverso l'approccio informale, fino alla scoperta anche formale, di taluni fenomeni della fisica classica e moderna.

In parallelo abbiamo lavorato affinché la mostra DivertiEsperimenti possa essere un nuovo riferimento per la divulgazione scientifica, l'orientamento e la diffusione verso le scuole delle nuove metodologie basate sulla didattica laboratoriale (l'IBSE in particolare) e sull'uso delle nuove tecnologie nella didattica delle scienze.

Considerato che è del tutto assente una struttura analoga in tale ambito in tutta la nostra provincia, riteniamo che questa creata presso l'Università di Salerno sia una valida proposta per la diffusione della cultura tecnico-scientifica.

Le attività svolte durante il dottorato sono state presentate nelle maggiori Conferenze nazionali ed internazionali sulla didattica della fisica, e sono state validate dal buon esito della valutazione dell'idea progettuale da parte della commissione per la diffusione cultura, e dalle manifestazioni di apprezzamento da parte di Città della Scienza di Napoli. Come ulteriore risultato, l'idea della mostra è stata accettata per una comunicazione scientifica alla Conferenza annuale dell'Ecsite (European Collaborative for Science and Technology Exhibitions)⁸⁷, la più grande e più vitale associazione europea di science centre ed esposizioni scientifiche. Il nostro progetto è stato infatti approvato con l'abstract "Divertiesperimenti": a mini Science

⁸⁷ Si terrà a Porto, Portogallo, dal 15 al 17 giugno 2017

Center blossomed in a University”. Il fatto che l’Annual Conference Programme Committee (ACPC) abbia revisionato ed accettato la nostra proposta è un importante risultato sulla validità della nostra idea.

Ma, al di sopra di tutto, il risultato certo ed incoraggiante è l’entusiasmo, nonché la curiosità ad apprendere mostrati (con commenti spontanei, o risposte ad interviste e a questionari di gradimento mirati) dai ragazzi e dai docenti durante tutte le sperimentazioni.

Riporto come testimonianza esemplare una intervista ad una studentessa di quarto anno del liceo scientifico al termine di una giornata della *scuola estiva di fisica SEF* 2016, conclusasi con il mio percorso dedicato ai DivertiEsperimenti:

- Cosa ti resta di questa esperienza presso i laboratori didattici del Dipartimento di fisica?

- *Non avevo mai affrontato esperienze...appunto mettere le mani sulla fisica... ed è stato emozionante per me!*

- Ma ti riferisci a DivertiEsperimenti o in generale anche agli altri laboratori?

- *In generale, sì...Anche perché noi, diciamo, siamo una sede distaccata del Liceo scientifico... non abbiamo grandi laboratori*

- Tu pensi che per fare laboratorio a scuola ci sia bisogno di un luogo deputato?

- *No, non penso, se si ha la voglia lo può fare ovunque... ma... non ci hanno mai fatto vedere...*

- Riguardo l’esperienza che hai appena avuto esplorando i DivertiEsperimenti, che puoi dirmi?

- *Veramente (mi sono sentita ndr) come una bambina in un parco giochi. Ogni veramente piccolo risultato che poteva avvicinarsi a quei risultati che otteniamo poi dalle formule... ed averlo là dal vivo...anche un piccolo risultato mi sembrava un regalo grande!*

- Che consigli daresti per migliorare ancora la proposta?

- *Cambiare orario, non alla fine della giornata (della scuola estiva SEF ndr), ma è stato il lato divertente della fisica!*

- Ma cosa pensi si possa migliorare, o vada bene in generale per i ragazzi a prescindere della SEF? Cosa insomma ti è piaciuto e pensi vada bene?

- *A me è piaciuto perciò penso vada bene così, però forse: avere ancora più cose da maneggiare, diciamo così!*

- Quale esperimento ti è piaciuto di più?

• *Mi ha colpito l'esperimento riguardante i filtri ottici (polarizzatori ndr) e lo scotch: è stato veramente bello vedere come lo scotch... i filtri cambiassero realmente il colore de...come fosse modificata la realtà!*

In Materiale supplementare S 6 vi sono alcuni grafici con l'analisi delle risposte fornite al termine di alcune attività guidate con la mostra.

Alcuni degli exhibit della mostra sono stata fra l'altro utilizzati a Scienze della formazione Primaria dell'Università del Molise nel laboratorio di didattica della fisica durante l'ultima lezione dedicata a luce e colore. Al termine del percorso proposto alla domanda "Avevi mai prima d'ora mai utilizzato una modalità laboratoriale come discente e/o come insegnante?" Solo il 10% circa ha risposto di sì. Alla domanda:

"Dopo l'esperienza con i DivertiEsperimenti" ritieni che una metodologia Inquiry e l'uso di esperimenti "Hands-on" diano valore aggiunto all'insegnamento?"

Delle risposte date, tutti coloro che hanno risposto hanno affermato di sì (il 30% non ha risposto). Nel motivare il perché hanno dato varie risposte, tra cui le più rappresentative sono:

- *"Si apprende giocando"*
- *"Attraverso la pratica si comprende meglio la teoria"*
- *"Aumenta la motivazione con la curiosità e la voglia di scoprire"*
- *"Fare con le proprie mani aiuta a fissare i concetti nella mente"*
- *"I bambini costruiscono in maniera attiva il loro apprendimento "mettono le mani" su quello che poi interiorizzano"*
- *"Consentono al bambino di entrare in contatto con fenomeni anche più complessi"*
- *"Fa toccare con mano ciò che sembrerebbe astratto"*
- *"Fanno divertire e vengono ricordati di più"*
- *"Attivano l'attenzione, invogliando allo studio"*
- *"Può essere un'esperienza multidisciplinare che invoglia all'apprendimento"*
- *"Fanno interiorizzare i concetti piuttosto che memorizzarli"*

Ci sembra, questo, un risultato che incoraggia a continuare l'opera di disseminazione intrapresa.

6.2 Possibili sviluppi futuri

La mostra DivertiEsperimenti è un piccolo ma originale e versatile patrimonio dell'Università di Salerno e, come tale, va utilizzata e valorizzata.

Le richieste da parte delle scuole di secondo grado sia per la formazione dei docenti, ma anche per i propri Open Day o per utilizzare i DivertiEsperimenti presso il Dipartimento sono numerose, e dunque in futuro spero ci possa essere una organizzazione che consenta di rendere stabile e pervasiva la mostra, consentendone una fruizione regolare e programmatica anche negli anni futuri.

Per quanto riguarda la divulgazione, potrà continuare ad essere attivata per eventi al grande pubblico scolastico quali "UnisaOrienta" (il grande evento di orientamento universitario della nostra Università) o per la gara di II livello delle Olimpiadi della fisica AIF, ma anche per manifestazioni pubbliche in sede o itineranti per sensibilizzare il pubblico generico ai temi e ai problemi scientifici.

Una idea progettuale sviluppabile in futuro è la creazione di un gruppo di animatori qualificati all'interno del Dipartimento, magari utilizzando i Grant di "Young Minds" della Società Europea di Fisica, così come fanno in altre parti d'Europa. Tale iniziativa di International networking mira al coinvolgimento di giovani ricercatori con la comunità scientifica, ed alla promozione della scienza tra le comunità locali. I giovani scienziati - da studenti fino ai ricercatori post-dottorato - sono incoraggiati ad organizzare sezioni che collaborano per lo sviluppo scientifico, networking e attività di sensibilizzazione.

È auspicabile infine la piena realizzazione dell'idea progettuale "DivertieEsperimenti, sperimentiamo la fisica moderna" e dunque la creazione di "un polo di riferimento per le attività di diffusione della cultura scientifica ed in particolare della fisica moderna sul territorio, favorendo la sinergia tra scuola ed Università", continuando ad utilizzare l'IBSE o anche altre valide metodologie come veicolo metodologico.

Conclusioni

Raccomandazione di un vecchio ai giovani: non perdetevi mai la benedetta curiosità.

(Albert Einstein)

La rivoluzione culturale in atto riguardo i processi sia di insegnamento che di apprendimento richiede di mettere i giovani in grado non solo di coniugare in modo efficace il “sapere” con il “saper fare”, ma anche di individuare soluzioni alternative ad uno stesso problema in modo critico e costruttivo. I protagonisti di tale sfida per una didattica delle competenze sono senz’altro i docenti, come mediatori del processo didattico e come supporto all’organizzazione di percorsi cognitivi coerenti rispetto al contenuto, alle tecniche di indagine ed esplorazione, alle teorie di riferimento; ma lo sono anche gli alunni, come attori di un processo esplorativo, che parte dalle loro conoscenze e dalle loro curiosità.

Il tale contesto, nella scuola italiana è in atto un cambiamento normativo che riconosce come necessarie nuove forme comunicative, in sintonia con i modelli pedagogici attuali, ed in questo sforzo i centri di ricerca e le Università sono chiamate ad essere riferimenti di correttezza scientifica dei processi educativi.

Sulla spinta delle esigenze, evidenziate dalla ricerca pedagogica, di migliorare conoscenze e competenze relative all’insegnamento-apprendimento delle discipline scientifiche in una scuola che sta cambiando e, in particolare, sulla necessità di ricercare metodologie e strategie per un insegnamento più efficace, le domande di partenza nella elaborazione della presente tesi, sono state:

- o con quali sperimentazioni l’Università (nella fattispecie il Dipartimento di Fisica di Salerno) può rispondere, utilizzando le proprie risorse, alle esigenze formative della scuola attuale, alla luce anche della più recente normativa?
- o che contributo può fornire un laboratorio di ricerca didattica centrato su un mini Science Center universitario, che parta dall’utilizzo dell’apprendimento informale delle scienze, per la costruzione anche di saperi formali per studenti e docenti?

La risposta data con questo lavoro è stata la sperimentazione effettuata tramite:

1. la mostra del Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello” *“DivertiEsperimenti”* quale *laboratorio vivo di ricerca e sperimentazione per l’apprendimento*, che mette in comunicazione il mondo degli exhibit con il mondo della scuola, raccordando gli aspetti efficaci dell’insegnamento informale e non formale con il curriculum degli studenti;
2. l’applicazione della metodologia IBSE sia a brevi corsi di formazione rivolti a gruppi di insegnanti della scuola secondaria di secondo grado, sia a percorsi didattici rivolti agli studenti della scuola dello stesso ordine.

Tramite la mostra “DivertiEsperimenti” mi è stato possibile effettuare una sperimentazione di alcune delle nuove metodologie e strategie didattiche, svolta mettendo in gioco le competenze precedentemente acquisite come docente con decennale esperienza nella scuola secondaria, ma anche di progettista di esperimenti didattici. La finalità ultima è stata costruire un ponte tra sapere formale e informale, tra Università e Scuola, tra ricerca e pratica didattica per quanto riguarda la dimensione sperimentale della fisica, dall’interno di una istituzione, l’Università, con caratteristiche nettamente formali. Essendosi sviluppato all’interno di un Dipartimento di Fisica universitario piuttosto che in uno “Science Center” tradizionale, il progetto didattico collegato alla mostra ha dimostrato di poter offrire la possibilità di ampliare l’approccio percettivo a diversi livelli, formali oltre che informali.

La mostra “DivertiEsperimenti”, con le diverse attività ad essa collegate, ha mostrato potenzialità educative che possono dare un contributo all’innovazione della didattica. La mostra non si può definire di certo né un museo, né uno Science Center, sia per le limitate dimensioni e perché, a tutt’oggi, non ne ha le caratteristiche formali e organizzative; nondimeno, essa sta svolgendo sul territorio, pur tra non poche difficoltà, un ruolo importante di riferimento per la divulgazione della cultura scientifica.

La ricerca su come accompagnare, nella pratica scolastica, i nostri studenti verso un apprendimento che li conduca alle competenze desiderate, così come gli insegnanti verso una formazione migliore, è un campo vasto e articolato, e per sua natura sempre aperto. La complessità dell’argomento di ricerca e le difficoltà di applicarlo nella realtà didattica è tale che questo lavoro non possa aspirare ad essere completo ed esaustivo. Ciò che è stato tentato di fare è dare un contributo alla ricerca in didattica della fisica partendo dalla descrizione delle principali problematiche, nonché delle potenzialità legate all’attuale situazione anche normativa dell’insegnamento della fisica nella scuola secondaria di secondo grado. Abbiamo sperimentato talune soluzioni in termini di metodologie psico-pedagogiche e, soprattutto, sono stati proposti alcuni modelli originali di buone pratiche.

Il presente lavoro di ricerca, inoltre, è stata una ulteriore verifica che ciò che teorizza la ricerca sulla metodologia Inquiry è effettivamente proponibile nella pratica didattica.

Le proposte sulla fisica moderna (relative ad alcuni aspetti dell'effetto tunnel) e le altre esperienze non del tutto "percettive" sono una concreta sperimentazione di aspetti meno divertenti e semplici della scienza: il messaggio che ho voluto mediare è che, pure nell'affrontare temi complessi e modellizzabili solo con l'ausilio di strumenti matematici avanzati, il divertimento e la creatività restano ingredienti necessari per un apprendimento di successo nella comprensione della fisica classica e moderna. La creatività nell'insegnamento e nell'apprendimento è uno strumento indispensabile per creare un ponte fra informale e formale, e gli exhibit, i kit, i materiali poveri, così come la tecnologia, sono tutti strumenti "hands-on" utilissimi nella pratica didattica.

Perché «La fisica può essere bella ed entusiasmante, e pervade in ogni istante il mondo attorno a noi; dobbiamo solo imparare a vederla» (Lewin, 2013) e, possiamo concludere, dobbiamo insegnare a vederla nella sua entusiasmante bellezza.

Bibliografia

- Antiseri, D. (2000). *Epistemologia e didattica delle scienze*, Armando Editore
- AA.VV (1991). *Atlante di pedagogia - Le didattiche* diretto da Laeng M. Tecnodid Napoli
- Appari P. *La didattica laboratoriale per imparare la complessità della società odierna* da L'Educatore – Anno LVI- n. 11
- Arons A. B. (2003). *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli
- Astone P. ed al. (1993). "Long-term operation of the Rome "Explorer" cryogenic gravitational wave detector", *Phys. Rev. D* 47 362
- Bachelard G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris.
- Bacon F., (1975) *Nuovo Organo*, in *Scritti filosofici*, a cura di P. Rossi, UTET, Torino
- Balzano E., Barone A.M; Majone L; Bazzocchi A; Caputano R. I. (2006). *Laboratorio di Progettazione Didattica di Scienze* Luciano Ed. Napoli
- Balzano E., Gagliardi M. (1990). *Facciamo un Esperimento*, Cuen, Napoli
- Barone A. (1992). *Principles and applications of superconducting quantum interference devices*, Antonio Barone, Singapore-London, World Scientific
- Barbieri S R, Carpineti M, Giliberti M. (2016). "Guess the colour!" a mystery to approach the vision of the colour, *Chemistry in action!* 107, p.42.
- Barbieri S, Giliberti M. (2014). *Magnetic vector potential at high school. A teachers' path*. In: *ICPE-EPEC 2013-The International Conference on Physics Education: Active learning in a changing world of new technologies*. p. 417-423, PRAGA: MATFYZPRESS, ISBN: 978-80-7378-266-5, PRAHA, CZECH.
- Barbieri S. R., Carpineti M., Giliberti M., Rigon E., Stellato M., and Tamborini M. (2015). "Good vibrations" a workshop on oscillations and normal modes. *Il Nuovo Cimento C*, 38
- Barbieri S., Carpineti M. and Giliberti M. (2014). *The European TEMI project involves Italian teachers: first outcomes*. In: *Proceeding GIREP-MPTL (2014) International Conference: Teaching/Learning Physics: Integrating research into practice* p. 759, Università degli Studi di Palermo, ISBN: 978-88-907460-7-9.
- Barbieri S., Cavinato M. and Giliberti M. (2013). *An educational path for the magnetic vector potential and its physical implications*, *Eur. J. Phys.* 34 1209–1219.
- Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel E. (1982). *Tunneling through a controllable vacuum gap*, in *Applied Physics Letters*, vol. 40, n° 2, pp. 178-180
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives, handbook I: The cognitive domain.*,
- Bobba F., D.Roditchev, R. Lamy, E.-M. Choi, H.-J. Kim, W. Kang, V. Ferrando, C. Ferdeghini, F. Giubileo, W. Sacks et al. (2003). *Superconduct. Sci. Technol.*16, 167

- Bosatta G., Bosia M., Bosio S., Candussio G., Capocchiani V., Ceccolin D., De Zorzi P., Marcolini L., Mazzadi M.C., Michelini M., Michelutti G.L., Pugliese Jona S., Santi L., Sartori C., Scillia M.L., Stefanel A. (1998). GEI: una mostra per realizzare un ponte tra lo sperimentare quotidiano e l'attività scolastica, *La Fisica nella Scuola XXXI*, 1 Suppl
- Bottani N., Benadusi L. (2006). *Uguaglianza e equità nella scuola* Ed. Erickson, Trento
- Bruner J. (1969). Eye, hand and mind, in D. Elkind, J.H. Flavell (eds.), *Studies in cognitive development: Essays in honor of Jean Piaget*, Oxford University Press, New York
- Bybee, R., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson, J., Westbrook, A., Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Colorado Springs, CO: BSCS.
- Capone R., D'Acunto I., De Luca R., De Santis A., Faella O., Fiore O. (2015). "TYL: la scuola estiva del Dipartimento di Fisica di Salerno (SEF), le attività di laboratorio" *Quaderni di Fisica - Associazione Insegnanti di Fisica*, Atti del LIV convegno ISSN 1120-6527
- Capone R., Tortoriello F. S., Del Regno F., D'Acunto I., Del Sorbo M. R. (2016). "Action Research: a New Perspective in Math and Science Education" Atti Convegno "New Perspectives in Science Education, Conference Proceedings ISBN 8862927053 Libreria Universitaria Edizioni
- Cassidy A. et al. (2013). "Learning 'to do' and learning 'about' Inquiry at the same time: different outcomes in valuing the importance of various intellectual tasks in planning, enacting, and evaluating an Inquiry curriculum". *Instr.Sci.* 41, Pag. 521-537.
- Cerreta P. (2005). "Putting the phenomena of nature in the hands of children", in M. Michelini, S. Pugliese Jona (eds.), *Physics Teaching and Learning*, Forum, Udine, p.195-201
- Cerreta P. (2002). "How science centers and museums can serve the formal learning in the schools", in M. Michelini, M. Cobal (Eds.), *Developing Formal Thinking in Physics*, First International Girep Seminar 2001, Forum, Udine, p.228-233
- Cerreta P. (2004). Maffucci A., Togliola C.L., *Scienza Viva e Interattiva*, Tip. Pannisco Calitri
- Cerreta P. (2015). Frank Oppenheimer, il fondatore dell'Exploratorium *Giornale di Fisica SIF Roma*
- Chevallard Y. (1986). La Transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné *Revue française de pédagogie Année Volume 76 Numéro 1*
- Clark D.B. (2006). Longitudinal conceptual change in students' understanding of thermal equilibrium: An examination of the process of conceptual restructuring. *Journal of the Learning Sciences*, 24(4), 467-563.
- Cobal M., Corni F., Michelini M. (2002). Thinking on vectors and formal description of the light polarization for a new educational approach, in M. Michelini, M. Cobal eds, *Developing Formal Thinking in Physics*, Forum, Udine, pp. 310-319.

- Col K.C. (2009). *Something Incredibly Wonderful Happens: Frank Oppenheimer and the World He Made Up*, Houghton Mifflin Harcourt
- Collins, A., Wenning, J. S. and Holum, A. (1991). *Cognitive apprenticeship: making thinking visible*. American Educator
- Croce B. (1908). *Il risveglio filosofico e la cultura italiana*, n. 6
- Crommie M.F., Lutz C.P., Eigler D.M. (1993). *Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface*. Science 262 (5131): 218–20.
- D'Acunto I., Pace S. (2005). *La mostra "Divertiesperimenti" del Dipartimento di Fisica "E.R. Caianiello". Quaderni di Fisica –AIF Associazione Insegnanti di Fisica*, pag 80-82, settembre
- D'Acunto I., Pace S. (2016). *"Divertiesperimenti: exhibits and activities to help teaching science" – ICERI Proceedings ISBN: 978-84-617-5895-1 2016*
- D'Acunto I., R. De Luca, R. Capone (2015). *"A teaching proposal: Mechanical analog of an over-damped Josephson junction" European Physical Society - GIREP Physics Education Division (EPS PED) University of Breslavia (PL) ISBN 978-83-913497-1-7 pag 25-29*
- D'Acunto I., De Luca R., Capone R. (2016). *Didattica per competenze: gli effetti ottici nelle colonne dei templi di Paestum SIF atti congresso ISBN 978-88-7438-106-7*
- D'Acunto I., De Martini G., De Masi E., Guadagni C., Molisso G., Serra M., Strolin P. (2014). *"Insegnamento della fisica moderna: collaborazione tra università e scuole campane". Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LIII convegno ISSN 1120-6527*
- D'Acunto I., De Luca R., Capone R. (2015). *Analogo meccanico di una giunzione Josephson sovrasmorzata. SIF atti convegno ISBN 978-88-7438-095-4*
- D'Acunto I., Bobba F., Noce C. Frallicciardi P., Saggese A. (2015). *Un 'tunnel' fra PLS docenti e PLS studenti Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, pag 41-48 Atti del LIV convegno ISSN 1120-6527*
- D'Acunto I., Capone R., Giliberti M., Barbieri S. Carpineti M. (2016). *Inquiry Based Teaching: an experience with TEMI E.U. Proceeding del WCPE, S Paulo, Brasile*
- D'Acunto I., R. Capone R., Vegliante, M. Giliberti S. Barbieri, M. Carpineti (2016). *"L'Inquiry Based Science Education: il caso-studio salernitano" atti di convegno Congresso SIRD Milano*
- Davies P. (1993). *Mind of God: The Scientific Basis for a Rational World* (No. 124). Simon and Schuster.
- D'Amore B., Fandino Pinilla M. I., Marazzani I., Sbaragli S. (2008). *La didattica e le difficoltà in matematica*, Erickson, Gardolo (TN).
- Dewey J. (1938). *Esperienza e educazione*, Firenze, La Nuova Italia, 1949.
- De Bartolomeis F. (1978). *Il sistema dei laboratori, per una scuola nuova necessaria e possibile*", Feltrinelli
- De Luca R., Giordano A., D'Acunto I. (2015). *"Mechanical analog of an over-damped Josephson junction" IOP Publishing Ltd • European Journal of Physics, Volume 36, Number 5*

- Doherty P., Rathjen D. (1996). Gli esperimenti dell'Exploratorium a cura di Piero Cerretta Zanichelli Ed. Bologna.
- Driver R., Leach J., Millar R., Scott P. (1996). Young People's Images of Science. Buckingham, UK: Open University Press.
- Driver R. (1985). "The pupil as scientist?". Open University Press
- Elbaz F. (1984). Teacher Thinking: A Study of Practical Knowledge Review by: Mark Johnson Curriculum Inquiry Vol. 14, No. 4, pp. 465-468 Published by: Taylor & Francis, Ltd.
- Frabboni F. (2004). Il laboratorio, Laterza, Bari
- Galliani L. (2013). Buona università per la buona scuola Giornale Italiano della Ricerca Educativa | Italiana 11, Journal of Educational Research 12
- Gardner H. (1991). The Unschooled Mind. How children think and how schools should teach. New York, Basic Books.
- Giliberti M., Stellato M., Barbieri S., Cavinato M. & Tamborini M. (2014). Detecting anharmonicity at a glance, Eur. J. Phys, 35 (6) 065012, doi:10.1088/0143-0807/35/6/065012.
- Godstein-Jackson K., (1976). Esperimenti con le cose di tutti i giorni, Bologna, Zanichelli
- Guilford J. P. (1954). Psychometric methods, NY, US: McGraw-Hill
- Hein H., (1990) The Exploratorium, The Museum as Laboratory, Smith. Inst. Press, Washington,
- Halliday D., Resnik R., Walker J. (2002). *Fondamenti di fisica. Fisica moderna*, Zanichelli, Bo
- Ianniello M. G., Vicentini M. (1996). La storia come strumento didattico, in Vicentini M., Mayer M. (a cura di), op. citata, pp. 287-299. IPS Group.
- Joshua S., Dupin J. J. (1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques, Parigi, PUF.
- Karplus, R. (1980). Teaching for the development of reasoning. Research in Science Education, 10(1), 1-9.
- Kuhn T. S. (1985). "Tradizioni matematiche e tradizioni sperimentali nello sviluppo delle scienze fisiche", in *La tensione essenziale* (Einaudi Paperbacks, Torino)
- Kuhn, T. S. (1970). Book and film reviews: Revolutionary View of the History of Science: The Structure of Scientific Revolutions. *The Physics Teacher*, 8(2), 96-98.
- Leve J., Wenger E. (1991). Situated learning: Legitimate peripheral participation (Cambridge University press).
- Lewin W. (2013). Per amore della fisica-Dall'arcobaleno ai confini del tempo. Dedalo Ed.

- Meirieu P. (1990). *Imparare... Ma come?* Cappelli Ed
- Meirieu P. (2015). *Fare la Scuola, fare scuola. Democrazia e pedagogia*, Franco Angeli ed.
- Merzagora M., Rodari P. (2007). *La scienza in mostra: musei, science centre e comunicazione* Pearson Italia S.p.a.
- Michelini M. (1995). *Giochi, Esperimenti, Idee - Dal materiale povero al computer online: 120 esperimenti da fare, non solo da guardare*, Catalogo della mostra GEI, Università di Udine - Arti Grafiche Friulane.
- Michelini M. C., Startori, (1998). *Esperienze di laboratorio didattico in una struttura di raccordo scuola-università*, Università e Scuola, III, 1/R
- Michelini M. (2002). *Innovazione nella didattica universitaria per la formazione in fisica dei futuri insegnanti elementari e supporto del web-* Formare n. 16, Ed Erickson
- Michelini M. (2006). *The Learning Challenge: A Bridge between Everyday Experience and scientific Knowledge -Informal Learning and Public Understanding of Physics* GIREP book of Selected contributions of the Third International GIREP Seminar University of Ljubljana Slovenia ISBN -10 961-6619-01 -2
- Michelini M., Santi L., Stefanel S. (2015). *La formazione degli insegnanti in fisica come sfida di ricerca: problematiche, modelli, pratiche*. *Giornale Italiano della Ricerca Educativa –Italian Journal of Educational Research* © Pensa MultiMedia Editore srl –ISSN 2038-9736
- Michelini M., Stefanel A., Santi L. (2002). *Un percorso di esperimenti con sensori on-line in ottica fisica*, in *Nuovi obiettivi, curricoli e metodologie nella didattica della matematica e delle scienze*, V Dileo, R Fazio, G Leoci eds, ADT, Bari, p.146
- Morin E. (1996). *La transdiplinarità. Manifeste*. Basarab Nicolescu Éditions Du Rocher - Bertrand. Editeur.
- Morin E. (2000). *La testa ben fatta, Riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero nel tempo della globalizzazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano
- Oppenheimer F. (1973). *Teaching and Learning* AJP, Vol. 41, 1312
- Pellerey M. (1998). *L'agire educativo*. LAS, Roma
- Pellerey M. (2003). *Le competenze individuali e il portfolio* (La Nuova Italia, Firenze)
- Polacek K. (2005). *“Stili cognitivi e stili di apprendimento: rapporto e utilizzazione”*, Orientamenti pedagogici
- Redish E. (2012). *F. Teaching Physics with the Physics Suite* WILEY
- Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Wahlberg-Henriksson H., Hemmo V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. European Commission,

- Salmi H. (1993). Science Centre Education. Motivation and Learning in Informal Education. Research Report 119. Department of Teacher Education, University of Helsinki.,
- Sherborne T. (2014). Enquiry & TEMI CPD www.teachingmysteries.eu/wp-content/uploads/2013/12/Enquiry-CPD.pdf.
- Schroeder-Gudehus B. (1997). La Société industrielles et ses musées. Demande sociale et choix politiques 1890-1990, Editions des archives contemporaines, Gordon and Breach Science Publisher, La Villette, Paris, 1992
- Swartz C., The Variety of Learning Experiences, The Physics Teacher, vol 35, editorial, p. 6-7
- Shulman L. S. (1986). "Those who understand: Knowledge growth in teaching." Educational Researcher 4-14. (AERA Presidential Address).
- Swezey K. (ed. orig.1952). Esperimenti per l'anno dopo, Bologna, Zanichelli, 1973
- Tessaro F. (2002). Metodologia e didattica dell'insegnamento secondario Armando Ed.
- Trilling, B., & Fadel, C. (2009). 21st century skills: Learning for life in our times. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Vicentini M. (1998). Le accelerazioni del presente, ITER, 1, pp. 39-46.
- Vicentini M., Mayer M. (1996). Didattica della Fisica, La Nuova Italia Editrice,
- Vicentini M., Mayer M. (1968). Introduzione alla scienza fisica, corso sperimentale di chimica e fisica per le scuole medie superiori, Bologna, Zanichelli.
- Vigotskij L. K. (1978). Psicologia e pedagogia Edit. Riuniti pag. 222.
- Walker J. (1975). Il luna park della fisica, Bologna, Zanichelli.
- Wellington J. (1990). Formal and informal learning in science: the role of the interactive centres, Phys. Educ. 25, pp. 247-252.
- Wieman C. (2012). Applying new research to improve science education. Issues in science and technology, 29(1), 25-32.
- Windschitl M., Thompson J., Braaten M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigation. Science Education. 92, 941-967
- Williams F. (1994). TCD: Test della creatività e del pensiero divergente Erikson Ed.
- Zanetti V. (1980). Gli esperimenti facili: fisica di base, Padova, Franco Muzzio.
- .

Pubblicazioni su riviste (e/o atti di convegno) del triennio 2013-2016

1. I. D'Acunto, R. De Luca, R. Capone, "A teaching proposal: Mechanical analog of an over-damped Josephson junction" European Physical Society - GIREP 2015 Physics Education Division (EPS PED) University of Breslavia (PL) ISBN 978-83-913497-1-7 pag 25-29
2. R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca, O. Faella, O. Fiore, A. Saggese, "The Role of Symmetry in Finding the Equivalent Resistance of Regular Networks" European Physical Society - Physics Education Division (EPS PED) University of Breslavia (PL) GIREP 2015 atti di convegno
3. R De Luca, A Giordano, I. D'Acunto, "Mechanical analog of an over-damped Josephson junction" © 2015 IOP Publishing Ltd • European Journal of Physics, Volume 36, Number 5
4. I. D'Acunto, G. De Martini, E. De Masi, C. Guadagni, G. Molisso, M. Serra, P. Strolin, "Insegnamento della fisica moderna: collaborazione tra università e scuole campane". Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LIII convegno 2014 ISSN 1120-6527
5. I. D'Acunto, R. De Luca, R. Capone, "Analogo meccanico di una giunzione Josephson sovrasmorzata" SIF atti convegno 2015 ISBN 978-88-7438-095-4
6. R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca; A. De Santis; O. Faella, O. Fiore, "TYL: la scuola estiva del Dipartimento di Fisica di Salerno (SEF), le attività di laboratorio" Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LIV convegno 2015 ISSN 1120-6527
7. I. D'Acunto, F. Bobba, C. Noce P. Frallicciardi A. Saggese Un 'tunnel' fra PLS docenti e PLS studenti Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, pag 41-48 Atti del LIV convegno 2015 ISSN 1120-6527
8. R. Capone, D'Acunto I., Dello Iacono U., Del Regno F. "Brownian motion: an interdisciplinary teaching proposal" "New Perspectives in Science Education, Conference Proceedings 2016" ISBN 8862927053 Libreria Universitaria Edizioni.
9. R Capone, F Saverio Tortoriello, F Del Regno, I D'Acunto, M R Del Sorbo, "Action Research: a New Perspective in Math and Science Education" Atti Convegno "New Perspectives in Science Education, Conference Proceedings 2016" ISBN 8862927053 Libreria Universitaria Edizioni
10. V. Bozza, R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca, "Lezioni stellari: un percorso didattico per gli studenti della Scuola Secondaria di II grado" - in pubblicazione su Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LV convegno 2016 ISSN 1120-6527
11. R Capone, I D'Acunto, M R Del Sorbo, O. Fiore, The Light Prefers the Shortest Physics and Geometry about Shortest Path Problems from Heron to Fermat - History and Pedagogy of Mathematics, Jul 2016, Montpellier, France
12. I. D'Acunto, R. Capone, M. Giliberti et al Inquiry Based Teaching: an experience with TEMI E.U. Project proceeding del WCPE 2016, S Paulo, Brasile

13. I. D'Acunto, R. De Luca, R. Capone Didattica per competenze: gli effetti ottici nelle colonne dei templi di Paestum SIF atti congresso 2016 ISBN 978-88-7438-106-7
14. Capone R., D'Acunto I., Del Sorbo M.R., Tortoriello F.S La fisica del Liceo Matematico. SIF atti congresso 2016 ISBN 978-88-7438-106-7
15. I. D'Acunto, S. Pace “Divertiesperimenti”: un mini science center universitario per collegare didattica informale e formale- in pubblicazione su Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LV convegno 2016 ISSN 1120-6527
16. R. Capone, I. D'Acunto, R. De Luca; A. De Santis; O. Faella, O. Fiore “la scuola estiva del Dipartimento di Fisica di Salerno (SEF) 2016” in pubblicazione su Quaderni di Fisica -Associazione Insegnanti di Fisica, Atti del LV convegno 2016 ISSN 1120-6527
17. I. D'Acunto, R. Capone A teacher training: physics Inquiry from university to high school –ICERI2016 Proceedings ISBN: 978-84-617-5895-1
18. I. D'Acunto, S. Pace “Divertiesperimenti: exhibits and activities to help teaching science” - ICERI2016 Proceedings ISBN: 978-84-617-5895-1
19. I. D'Acunto, R. Capone R.Vegliante, M. Giliberti S.Barbieri, M. Carpineti “L’Inquiry Based Science Education: il caso-studio salernitano” atti Convegno SIRD “Didattica e saperi disciplinari“, Milano Bicocca 2016 ·

n.b. Laddove il lavoro è stato presentato a Convegni, la sottolineatura indica l'autore che ha effettuato la comunicazione.



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

Le schede dei

"DivertiEsperimenti"



Mostra interattiva di esperimenti di fisica

A cura di Immacolata D'Acunto

Finalità

La mostra “Divertiesperimenti” è stata realizzata presso il Dipartimento “Caianiello”, a partire dal 2002, con il progetto “Diffusione cultura”. I suoi exhibit, quasi tutti progettati e costruiti ad hoc, sono basati, come nei più moderni Science Center, sul modello interattivo “hands-on”, secondo il quale l’apprendimento viene costruito attraverso la sperimentazione personale e diretta.

Oltre alle schede che guidano all’esplorazione individuale ed informale, la presenza di animatori esperti e la possibilità di utilizzare all’occorrenza strumentazioni dei laboratori di ricerca universitari, permette approfondimenti a diversi livelli dei fenomeni proposti.

Pur senza pretese di completezza, la nostra mostra, che ha anche la possibilità di ampliare l’esplorazione alla fisica moderna, ha la finalità di creare un riferimento che parta dall’educazione informale per la diffusione della cultura scientifica, ed in particolare per rinforzare il legame fra il Corso di Laurea in Fisica e la Scuola Secondaria di II grado del territorio.

Utilizzando la mostra come un punto di partenza per attività divulgative e formative si intende:

1. *Promuovere attività di divulgazione della cultura scientifica sul territorio*
2. *Favorire la sinergia tra Scuola ed Università*
3. *Produrre formazione per docenti e studenti del territorio*
4. *Attivare collaborazioni con altre realtà della divulgazione della cultura scientifica*

La mostra è stata utilizzata per innumerevoli attività con gruppi di studenti e docenti (sia presso laboratori del dipartimento che presso le scuole), ed anche per numerose manifestazioni scientifiche rivolte al largo pubblico, coinvolgendo migliaia di partecipanti. Oltre che in manifestazioni pubbliche in vari comuni della regione, è stata attivata ad esempio in sette edizioni della Manifestazione annuale per la scuola “*Exposcuola*” della Provincia di Salerno; per *Futuro Remoto* di Città della Scienza di Napoli nel 2014 e nel 2017; è stata data in prestito alla stessa *Città della Scienza* per attivare la riapertura nel 2013 dopo l’incendio, ha partecipato a numerose manifestazioni scientifiche durante la Settimana della cultura Scientifica nonché in molti Open Day scolastici per l’orientamento, riscuotendo sempre un successo entusiastico da parte del pubblico coinvolto.

Le immagini e le foto (se non indicato diversamente) sono di Immacolata D’Acunto

La mostra è in continuo divenire, e raccoglie al momento circa 30 exhibit (oltre ad una raccolta di immagini) che riportiamo di seguito in elenco con le schede esplicative e che riguardano indicativamente le tematiche:

Elenco degli EXHIBITS

I. Equilibrio e moto

1. Perché le ruote sono rotonde
2. Salire in discesa (versione grande/piccola)
3. Stesso peso diverso moto
4. Caduta libera
5. Le piroette del pattinatore
6. La ruota "galleggiante"
7. La pallina fluttuante
8. Il disco volante
9. Il mulino ad acqua
10. La parabola liquida
11. Sabbia e polenta

II. Fenomeni ondulatori

12. Visualizzazione di onde sull'acqua
13. Le figure di Chladni
14. Onde con la molla Slinky
15. La luce polarizzata

III. Visione e percezione

16. Quale pesa di più?

La percezione visiva

17. Linee dritte o convergenti?
18. Il "coffee wall"
19. Galleria di immagini sulla percezione

La fisica della visione

20. Il modello di occhio
21. Giochi di luce
22. Le ombre colorate
23. Il disco di Newton
24. Il miraggio
25. L'effetto Moire

IV. Elettricità e magnetismo

26. "Scocca" la scintilla
27. Il potere dispersivo delle punte
28. La sfera a plasma
29. La pila "a mani"
30. Linee di campo

V. Criogenia e superconduttività

31. Esperimenti con la fisica delle basse temperature
32. Transizione superconduttiva
Levitazione magnetica

LE SCHEDE DEGLI EXHIBITS

“se ascolto dimentico, se leggo ricordo, se faccio imparo”



Moto ed equilibrio



Figura 1 Salire in discesa

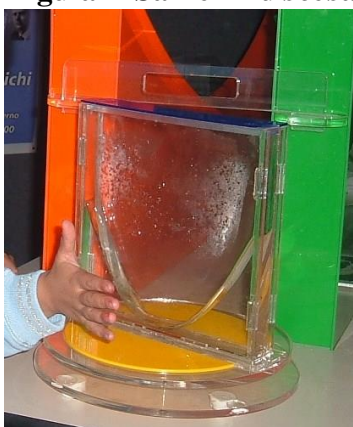


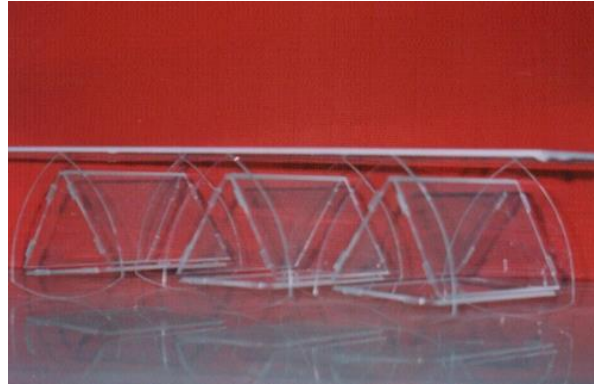
Figura 2 La parabola liquida



Figura 3 Stesso peso diverso moto durante Exposcuola 2004

1 PERCHÉ LE RUOTE SONO ROTONDE?

Diverti Esperimenti



La figura geometrica più comune, che ruota mantenendo sempre la stessa ampiezza, è il cerchio. Ci sono tuttavia altre figure aventi la stessa proprietà e che si costruiscono adoperando riga e compasso. Una di queste è il "Triangolo di Reuleaux": si tratta di un triangolo equilatero che ha per lati archi di circonferenza.

- **SPERIMENTA**

Costruiti due o più rulli identici, si mettono su una superficie piana e si appoggia sopra di essi una lastra rigida e la si fa scorrere delicatamente da un lato all'altro del piano. I rulli, nonostante non siano circolari, ruotano senza alcun intoppo e la piastra che vi è appoggiata si mantiene sempre allo stesso livello.

- **COSA ACCADE?**

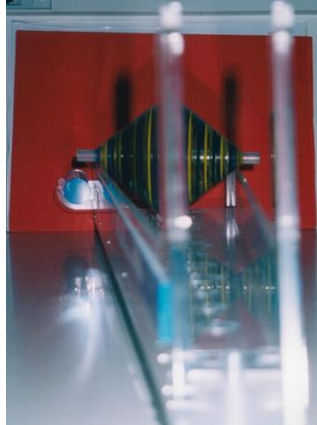
Il rullo si appoggia sempre (o sopra o sotto) su uno dei vertici del "triangolo" e la distanza di quel vertice dall'altro punto di contatto è sempre la stessa, uguale al raggio degli archi di cerchio disegnati.

- **INOLTRE**

Perché allora siamo abituati a concepire solo ruote circolari? Mentre per il cerchio il centro geometrico della figura corrisponde al baricentro anche durante la rotazione, per tali rulli il baricentro varia secondo il punto di contatto col suolo, descrivendo una traiettoria che va su e giù. *Nei rulli non circolari non vi è nessun punto che si muova ad altezza costante rispetto al suolo, per cui sarebbe impossibile fissare l'asse di tali ruote!* (la piastra mantiene una traiettoria rettilinea ma non è vincolata ai rulli, bensì varia con periodicità il punto di contatto con essi)

Diverti Esperimenti

2 SALIRE... IN DISCESA



Ti è mai capitato di vedere un corpo risalire spontaneamente lungo una discesa? Questo exhibit ti mostrerà come, sotto opportune condizioni, ciò sia possibile, anzi inevitabile...

- **SPERIMENTA**

Le guide dell'exhibit sono in pendenza. Poni alla loro sommità il cilindro di plexiglas e lo vedrai scendere fino all'altro estremo e qui fermarsi, così come ti aspetti. Posiziona ora alla sommità delle guide il doppio cono e lascialo libero di scendere. Dopo aver percorso parte delle guide, il cilindro si fermerà e comincerà a risalire

COSA ACCADE?

Ciascun corpo si muove in modo da portare il proprio baricentro nella posizione più stabile, e dunque verso il basso. Il baricentro del cilindro, che ha una forma omogenea, corrisponde in ogni punto del percorso con il centro geometrico del corpo. Nel caso del doppio cono, essendo le guide non parallele ma convergenti, il baricentro dipende dal punto di contatto del solido con le guide. Esse sono costruite in modo che, da un certo punto in poi, il baricentro del doppio cono si abbassa laddove esse si allargano, seppure ciò possa accadere in salita.

3 STESSO PESO DIVERSO MOTO



Possono due corpi con uguali forma geometrica e massa avere un differente moto sullo stesso percorso?

- **SPERIMENTA**

L'exhibit è costituito da due guide paraboliche e da due uguali cilindri di plexiglass contenenti la stessa quantità di sfere metalliche, che possono però essere più o meno compresse da appositi pistoncini. **Poni alla sommità di ciascuna guida un cilindro. Lasciali contemporaneamente liberi di scendere, e osservane il moto.**

- **COSA ACCADE?**

I due cilindri inizieranno ad oscillare su e giù lungo la guida finchè le forze di attrito non ne arresteranno il moto. Osserva che, se hai posizionato i pistoncini dei due cilindri in diverse posizioni, uno dei due cilindri si arresta molto prima dell'altro.

A far muovere i cilindri dalla sommità delle guide è la forza peso: essendo i due cilindri della stessa forma e con la stessa massa, la forza peso che agisce su essi è la stessa. Perché allora uno dei due si ferma sempre prima dell'altro? L'unica caratteristica che distingue i due cilindri è la differente distribuzione al loro interno delle sfere: in uno sono compattate al centro, nell'altro sono libere di muoversi al suo interno. È proprio la dissipazione di energia connessa al moto relativo delle parti interne che, a parità di massa, fa sì che il cilindro al cui interno le sfere sono libere di muoversi si fermi prima. Compattando le sfere all'interno del cilindro, esso si comporta come un corpo rigido. Su di esso intervengono durante l'oscillazione due effetti dissipativi: la resistenza dell'aria e l'attrito volvente che si genera tra cilindro e guida nel loro punto di contatto. Le sfere libere, invece, inducono con il loro moto relativo un terzo effetto di dissipazione che arresta in tempi più brevi il movimento del cilindro.

4 CADUTA LIBERA

Diverti Esperimenti

Nel XVII secolo Galileo Galilei compì i suoi famosi esperimenti sulla caduta dei gravi e, con l'ausilio del suo genio, ne dedusse la legge della caduta libera. Con questo exhibit puoi provare che aveva ragione!



• SPERIMENTA

In ciascuno dei due tubi sono posti un oggetto più pesante ed uno più leggero. In uno solo dei tubi è stata eliminata l'aria e praticato il vuoto. Gli oggetti sono poggiati sul fondo; ruota lentamente i tubi di 180 gradi in modo da poter osservare gli oggetti cadere; nel tubo con l'aria vedrai arrivare prima, come comunemente accade, l'oggetto più pesante. Nel tubo in cui si è generato il vuoto i due corpi arrivano insieme!

COSA ACCADE?

Nel tubo in cui non vi è aria l'unica forza a cui sono soggetti i due corpi è quella di gravità, che dipende dalla massa dei corpi. L'accelerazione con cui essi cadono, se soggetti alla sola forza peso, è però una costante, l'accelerazione di gravità g , che non dipende dalla massa. Alla presenza dell'aria invece intervengono anche le forze d'attrito, che aumentano con la velocità di caduta.

• INOLTRE...

Quando la resistenza offerta alla caduta dall'aria eguaglia la forza di gravità, i gravi raggiungono la cosiddetta *velocità limite*, che rimane costante durante la caduta: nonostante il campo gravitazionale, l'accelerazione risultante è nulla.

5 LE PIROETTE DEL PATTINATORE

Diverti Esperimenti

Come fanno pattinatori, tuffatori e ginnasti a eseguire improvvise giravolte e sorprendenti capriole?



- **SPERIMENTA**

Siediti sullo sgabello girevole e, tenendo in ciascuna mano un peso da allenamento, distendi le braccia. Se si fa ruotare lo sgabello, e se con un movimento rapido avvicini le braccia (e dunque i pesi) al corpo, la velocità di rotazione aumenterà istantaneamente, mentre diminuirà riaprendo le braccia.

Sempre stando seduto sullo sgabello tieni ben stretta la ruota di bicicletta dai manici e falla mettere in rotazione da qualcuno. Ora prova ad inclinare la ruota: sentirai la ruota opporsi al cambiamento di posizione, ed il suo movimento sarà poi accompagnato dalla rotazione in verso opposto dello sgabello.

COSA ACCADE?

Tu, la sedia rotante e la ruota (o i pesi) costituite un sistema che obbedisce al **principio della conservazione del momento angolare**: tale grandezza ha un valore, una direzione ed un verso che dipendono dal prodotto della velocità di rotazione per il momento di inerzia dei corpi che ruotano, che a sua volta dipende sia dalla massa del corpo che da come è distribuita in esso. Avvicinando ed allontanando i pesi dal corpo non fai che variare il valore del momento di inerzia, e la velocità angolare è costretta a variare in modo tale da compensare tale variazione del sistema: per questo motivo anche tu cominci a girare. Inclinando la ruota, invece, quel che varia è la direzione del momento angolare e la ruota risponde esercitando su di te una coppia di forze eguale ed opposta, che ti costringe a girare.

6 RUOTA “GALLEGGIANTE”



Diverti Esperimenti

Quale è il segreto dell'equilibrio delle biciclette? Perché è più facile rimanere in equilibrio durante il movimento piuttosto che da fermi?

- **SPERIMENTA**

Solleva dall'impugnatura libera la ruota sospesa alla catena, posizionandola con l'asse parallelo al pavimento. Con l'altra mano imprimi una rotazione alla ruota, e dopo qualche secondo lasciala.

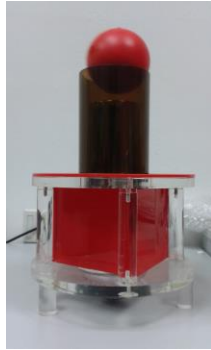
- **COSA ACCADE?**

La ruota non cade, come succederebbe se non ruotasse, ma ruota lentamente intorno al gancio di appoggio, mentre il suo asse rimane orizzontale.

- **PERCHE'?**

Il momento angolare è una grandezza (vettoriale, caratterizzata cioè sia da un valore numerico che da una direzione ed un verso) associata ad ogni corpo in rotazione, e dipende dalla velocità di tale rotazione, dalla massa del corpo e da come essa è distribuita in esso. Nei sistemi isolati il **momento angolare si conserva**: possono variare momento di o velocità angolare, ma sempre in modo tale da bilanciarsi. È quello che accade se reggi una ruota in rotazione mentre sei seduto su uno sgabello rotante. Anche in questo caso, la ruota messa in rapida rotazione, rispettando la legge di conservazione del momento angolare, resiste a qualsiasi sforzo si eserciti su di essa per spostare l'inclinazione del suo asse; questo le consente di rimanere in equilibrio anche sospesa nell'aria (finché gli attriti lo consentono). La forza peso tende a portare in verticale l'asse di rotazione, ma l'effetto combinato con la rotazione della ruota attorno al proprio asse è quello di lasciare inalterata la posizione di tale asse, provocando una rotazione anche intorno al punto di sospensione.

7 PALLINA “FLUTTUANTE”



Una pallina leggera può essere tenuta in equilibrio da un flusso di aria. Questo semplice esperimento evidenzia fenomeni di grande interesse, che ci aiutano a capire come sia possibile volare.

• SPERIMENTA

Aziona il getto d'aria rivolto verso l'alto e metti al suo centro la pallina. Essa rimane in equilibrio, anche se provi a spostarla. Puoi incanalare l'aria in tubi diversi e vederne l'effetto sull'equilibrio della pallina.

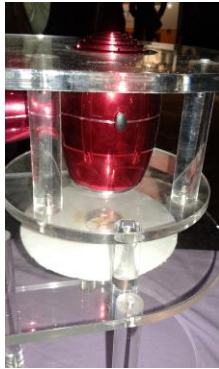
COSA ACCADE?

L'aria del phon diretta verso l'alto, urta contro la pallina e rallenta, generando una regione a più alta pressione. In tale zona, al centro del getto, l'aria si incurva attorno alla pallina e può mantenerla sollevata contro l'azione della gravità, in un equilibrio abbastanza stabile. Spostando di lato la palla, l'aria laterale, a pressione maggiore, tende a riportarla verso l'interno.

INOLTRE

Perché l'aria “avvolge” la pallina? Quando i fluidi investono un corpo solido, che è impenetrabile, le linee di flusso devono adattarsi alla sua presenza. Se il corpo è asimmetrico (come accade per l'ala di un aereo) le linee di flusso si addensano laddove si ha maggiore curvatura, perché è come se incontrassero una strozzatura. Per l'effetto Venturi, dove la sezione diminuisce la velocità del fluido aumenta e la pressione diminuisce. Dunque, in prossimità delle zone più curve si ha una pressione minore rispetto alle parti opposte; tale differenza di pressione produce una forza risultante. Nel caso degli aerei il lato dell'ala a curvatura maggiore è naturalmente quella superiore, in modo che la spinta (detta portanza) che deriva dalla differenza di pressione sia verso l'alto.

8 DISCO VOLANTE



Saresti sicuro nell'affermare che un getto d'aria (o di un altro fluido) spinge sempre i corpi nel verso opposto? Prima di scommetterci, prova questo exhibit...

- **SPERIMENTA** Aziona il phon; esso è orientato in modo da produrre un getto d'aria verso il basso che passa attraverso un foro. Introduci il disco di polistirolo sotto il getto;
- **COSA ACCADE?** vedrai che, man mano che lo avvicini al foro, invece di essere soffiato in basso esso è risucchiato. L'aria che fluisce verso il basso mantiene in equilibrio il disco.
- **PERCHE'?** L'aria che passa attraverso il foro urta il disco e si comprime. Se l'ostacolo (nell'esperimento, il disco) è sufficientemente leggero, l'aria devia la sua traiettoria seguendo il profilo del disco. Espandendosi la pressione dell'aria diminuisce. Dunque l'aria che fluisce fra il foro ed il disco esercita una pressione inferiore a quella data dall'aria ferma, che è sotto il disco. Il risultato complessivo è che il disco risente di una spinta verso l'alto capace di vincere la forza di gravità. La legge, valida per tutti i fluidi, per cui un'accelerazione produce una diminuzione di pressione, è una conseguenza del principio di Bernoulli.
- **INOLTRE**
Secondo tale principio funzionano i nebulizzatori premendo si spinge l'aria in un tubicino immerso nel liquido. L'aria immessa è accelerata e, dunque, ha una pressione minore dell'aria esterna. La pressione atmosferica spinge allora dal basso verso l'alto il liquido, forzandolo a risalire il tubicino e ad uscire. Per questo stesso effetto l'aria che scorre tra due treni in corsa ha una pressione minore di quella all'interno dei treni, e quindi dai finestrini aperti si avverte un risucchio verso l'esterno.

9 MULINO AD ACQUA

Fin dall'antichità l'uomo si è rapportato con gli elementi della natura ricavandone forme di energie indispensabili alla propria sussistenza. Con l'exhibit proposto sperimentiamo come si possa ottenere energia a partire da questi elementi, traendo spunto per riflettere sull'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

- **SPERIMENTA**

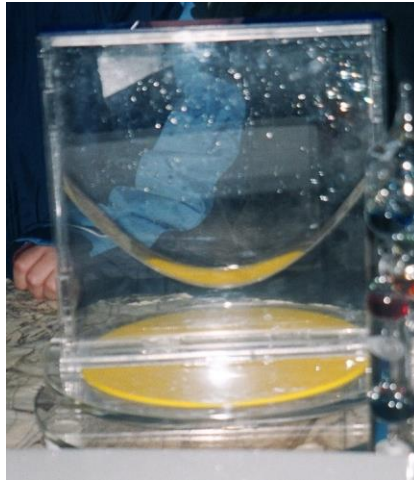
Apri il rubinetto collegato al modellino di mulino ad acqua e consenti all'acqua contenuta nell'apposito serbatoio di cadere sulle pale del mulino: vedrai che la ruota del mulino si metterà in moto e corrispondentemente la lancetta del voltmetro ad essa collegato segnalerà la presenza di una differenza di potenziale. Tale tensione elettrica varia a seconda della velocità e della massa di acqua che scende.

COSA ACCADE?

una massa di acqua in movimento possiede energia cinetica, e quindi tale energia è contenuta nell'acqua dei fiumi, dei torrenti e del mare; essa dipende dalla velocità e dalla massa dell'acqua in movimento. Le macchine idrauliche trasformano in energia meccanica il movimento dell'acqua. Da questa energia meccanica è poi semplice ottenere energia elettrica..

INOLTRE...

Già Greci e Romani usavano dei mulini ad acqua per macinare il grano; in Europa, però, lo sfruttamento dell'energia idraulica per ricavare lavoro meccanico si diffuse solo nei secoli XII e XIII. Il principale utilizzo riguardava il settore agricolo e quindi la macinazione. Seppure molto meno diffusi dei mulini, tra il '500 e il '600 sono stati realizzati altri macchinari alimentati dalla corrente dei ruscelli. Uno dei più prolifici inventori di queste macchine fu proprio Leonardo da Vinci! Un progresso tecnico di enorme portata si è avuto in seguito all'evoluzione della ruota idraulica nella turbina (dalla fine dell'Ottocento), un apparecchio capace di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica. Su tale tecnologia si basano gli impianti idroelettrici, che trasformano l'energia potenziale di una massa di acqua in quiete e/o l'energia cinetica di una corrente di acqua in energia meccanica; successivamente questa energia meccanica verrà trasformata in energia elettrica



La superficie di un liquido messa in rotazione tende ad assumere un profilo che in sezione è descritto da una parabola

- **SPERIMENTA**

Metti in rotazione la vaschetta trasparente. Osserva l'acqua: a riposo il pelo libero è orizzontale, mentre durante la rotazione assume un profilo parabolico.

COSA ACCADE?

Mentre la vaschetta gira, l'acqua tende a muoversi in linea retta, lungo la tangente alla traiettoria circolare, ma trova le pareti a fermarla, ed ad imprimerle la loro stessa rotazione. Più si trova in prossimità del bordo, più l'acqua ruota velocemente insieme alla vaschetta.

Le particelle di liquido subiscono un'*accelerazione centrifuga* proporzionale alla velocità di rotazione ed alla loro distanza dal centro.

La *forza centripeta* necessaria a compensare quella centrifuga per mantenere il liquido in rotazione, pertanto, è maggiore nelle zone periferiche.

11 SABBIA E POLENTA: LE FRANE



La frana è uno dei fenomeni naturali più frequenti. Esso è un fenomeno fisico che ha delle leggi ben precise, cerchiamo di capirne le cause.

SPERIMENTA

Come si possono separare due tipi di grani senza un setaccio? Immetti la sabbia e la polenta, mischiate, nel contenitore trasparente tramite un imbuto. I mezzi granulari possono presentare comportamenti inaspettati, che spiegano la nascita delle frane. Si potrebbe pensare che versare in un contenitore, ruotare o scuotere un sistema composto da due tipi di grani provochi l'aumento del disordine nel sistema, miscelandoli ulteriormente.

COSA ACCADE

In realtà una mistura di grani agitata tende a separarsi, aumentando lo stato di ordine. La miscela di grani di natura e dimensioni diverse si separa quando è versata, formando un cumulo di strati sovrapposti. A seconda dell'attrito che i grani esercitano fra loro, essi si disporranno formando un cono. Maggiore è l'attrito, più il cono è alto: la pendenza massima (prima che crolli) del fianco del cono definisce il cosiddetto *angolo limite*, oltre il quale la forza di gravità fa franare i materiali "incoerenti" (ossia formati da granuli non cementati, al contrario ad esempio delle rocce) vincendo l'attrito che li ha stratificati. Tale angolo, di attrito appunto, è caratteristico dei singoli materiali e dipende anche dal grado di umidità: le frane (come le valanghe) avvengono o quando la stratificazione supera l'angolo limite, o se sopravvengono condizioni climatiche che fanno variare tale angolo (ad esempio abbondanti piogge)

INOLTRE...

Questo fenomeno può avere importanti conseguenze in natura, con le frane appunto. Ma anche in svariati altri settori, ad esempio nell'industria, dove bisogna tener conto che un sistema ben mescolato in origine non è detto che resti tale anche dopo il trasporto, ed in particolare nell'industria farmaceutica, dove il corretto mescolamento delle sostanze può essere d'importanza critica.

Fenomeni ondulatori

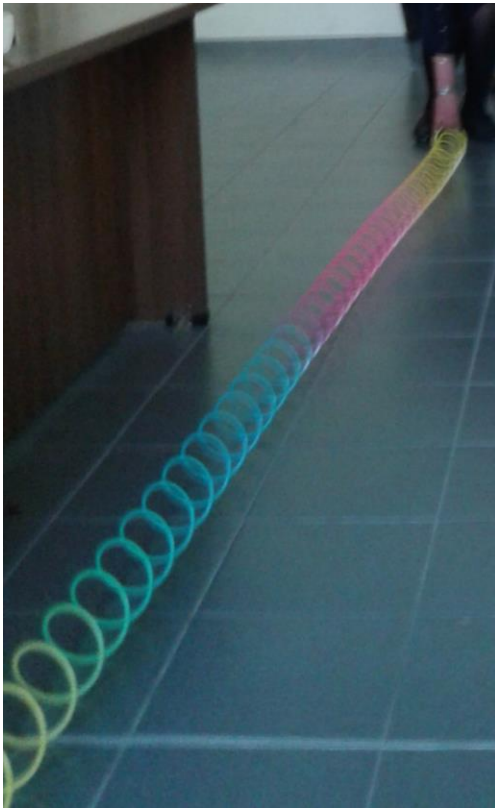


Figura 4 Figure di Chladi su piastra di rame vibrante



Figura 5 Visualizzazione di figure di interferenza con onde circolari sull'acqua

12 ONDE CON LA MOLLA SLINKY



Un pendolo che oscilla o una lamina che vibra, producono uno spostamento d'aria, che crea un'onda longitudinale nella quale le particelle del mezzo si muovono avanti e indietro nella stessa direzione di propagazione. Quando il moto del mezzo è perpendicolare alla direzione in cui si propaga l'onda, questa è detta onda trasversale.

SPERIMENTA

Muovi tenendola da un estremo (con l'altro fisso) la lunga molla a spire lasse, detta Slinky.

COSA ACCADE?

Scuotendo su e giù l'estremo libero di una Slinky, si può generare un'onda trasversale. Scuotendo avanti e indietro, si può generare un'onda longitudinale in questo caso, si può osservare che il mezzo oscilla nella direzione di trasmissione di energia.

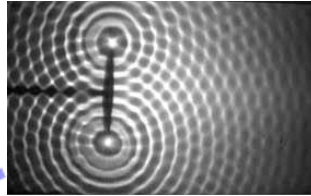
La perturbazione che tu produci con la mano si propaga in maniera oscillatoria lungo la molla, sotto forma di un'onda caratterizzata da una sua lunghezza d'onda ed una frequenza di oscillazione

INOLTRE

Entrambe le onde trasportano energia da sinistra a destra. Quali altre onde conosci? Sai distinguere se sono trasversali o longitudinali?

13 VISUALIZZAZIONE DELLE ONDE SULL'ACQUA

Diverti Esperi menti



Tutti conosciamo le onde circolari prodotte lanciando un sasso in uno specchio d'acqua. Quando due di queste onde s'incontrano si formano delle figure. Quest'esperimento ben introduce allo studio dei fenomeni ondulatori in generale ed all'interferenza in particolare

- **SPERIMENTA**

Quest'apparecchio, detto ondoscopio, visualizza il comportamento delle onde emesse perturbando una superficie liquida (acqua).

Ti appaiono due onde circolari che propagandosi s'incontrano e si sovrappongono, creando un gioco di chiaro e scuro che dipende dalla frequenza della perturbazione.

- **COSA ACCADE?**

Quando due o più onde di eguale frequenza si sovrappongono, danno luogo a particolari figure dette "figure di interferenza". Le figure d'interferenza che vedi sono date dalla sovrapposizione delle onde generate da una coppia di punte che colpiscono periodicamente la superficie dell'acqua, illuminata dall'alto con una luce stroboscopica. Uno specchio proietta tali figure sul pannello. Le zone maggiormente illuminate sono il frutto della sovrapposizione di due creste (altezza massima delle onde) o due gole (altezza minima) delle onde: si parla d'interferenza costruttiva. Le zone scure, sono la sovrapposizione di creste con gole: si parla di interferenza distruttiva. Nota che in alcune zone (evidenziate in bianco) arriva la perturbazione ondulatoria e l'acqua si muove; in altre l'acqua rimane ferma (zone evidenziate in nero).

Lungo le zone scure, l'acqua non si muove; se mettessimo ad esempio un tappo di sughero lo vedremmo rimanere immobile, perché soggetto all'azione di una cresta che tende ad innalzarlo ed una gola che tende ad abbassarlo della stessa quantità. Nelle zone chiare il sughero invece oscillerebbe con un'ampiezza doppia di quella che avrebbe se sottoposto ad una sola onda.

Diverti Esperimenti

14 FIGURE DI CHLADNJ

E' possibile visualizzare le linee nodali di vibrazione di una piastra elastica cospargendola di materiale granulare

- **SPERIMENTA**

Dopo aver messo della sabbia sulla piastra di metallo, colpisci quest'ultima con il martello gommato.

Noterai che la sabbia si dispone secondo un disegno ben preciso sulla piastra, formando quelle che si dicono *figure di Chladni*.

- **COSA ACCADE?**

La martellata fa vibrare la piastra metallica: le vibrazioni avranno le proprie ampiezze massime e minime disposte sul piano a secondo dalla forma che esso ha e da dove non può vibrare a causa del sostegno. Mentre la piastra vibra la sabbia è spinta verso i punti privi di vibrazioni (detti nodi), e così le zone dove si dispone rappresentano proprio la distribuzione spaziale delle vibrazioni.

- **INOLTRE...**

Utilizzando piani vibranti di diversa forma geometrica, o sospingendoli per differenti punti o utilizzando granelli di dimensioni diverse si possono ottenere varie *figure di Chladni*. Questa tecnica fu ideata dal fisico E. F. F. Chladni (1756 - 1827) e, dal punto di vista operativo, appare in forte analogia con il metodo con cui Faraday, ricorrendo alla limatura di ferro, visualizzò pochi decenni dopo il campo magnetico.

Diverti Esperimenti

15 LA LUCE POLARIZZATA



Questo exhibit invita all'esplorazione di cosa accade alla luce quando passa attraverso dei filtri polarizzatori, del tipo di quelli usati negli occhiali Polaroid.

- **SPERIMENTA**

Tra il materiale trasparente dei due dischi sono stati interposti due filtri polarizzatori. Il primo disco è fisso, mentre il secondo è libero di ruotare. Dal fondo della scatola proviene una normale luce da illuminazione. facendo ruotare (con la mano o accendendo il motorino) il disco mobile e nota come periodicamente ti apparirà chiaro o scuro passando per tutti i toni intermedi.

- **COSA ACCADE??** Normalmente la luce non è polarizzata: è composta d'onde che vibrano in tutte le direzioni. I filtri polarizzatori polarizzano la luce, cioè fanno sì che tutte le onde che la compongono vibrino nella stessa direzione, lasciando passare le onde luminose che vibrano in tale direzione e assorbendo tutte le altre.

Quando i filtri sono in posizione relativa tale che abbiano la stessa direzione di propagazione, la luce che attraversa il primo filtro attraversa tutta anche il secondo, giungendo integra al tuo occhio: il filtro mobile ti appare chiaro. Quando ruoti di un angolo retto il filtro mobile rispetto alla situazione precedente, esso blocca tutta la luce che è riuscita a passare attraverso il primo filtro, e ti appare scuro.

Tutte le altre situazioni sono intermedie alle due precedenti, e si ripetono periodicamente. Per capire meglio, puoi considerare un'onda luminosa come una corda vibrante che passa attraverso gli spazi di una palizzata, vale a dire una corda che oscilla solo in verticale.

Se facessi passare questa corda attraverso una fenditura orizzontale essa urterebbe contro i lati superiore e inferiore della fenditura e smetterebbe subito di vibrare. Tuttavia, se inserissi un'altra fenditura - subito dopo la palizzata e in diagonale rispetto ad essa - qualcosa del movimento ondulatorio riuscirebbe a passarvi. E poiché la corda vibrante in diagonale ha una componente orizzontale che può passare attraverso una fenditura orizzontale, in definitiva, qualcosa del movimento ondulatorio originario finirebbe per trasmettersi oltre la fenditura orizzontale.

- **SPERIMENTA**

prendi uno dei dischi su cui è attaccato del normale scotch adesivo ed interponilo fra i due dischi con i filtri. Potrai ammirare il prodursi di una varietà di colori, che cambiano se fai ruotare uno dei dischi.

COSA ACCADE?

La lunghezza d'onda della luce, cioè la distanza da una cresta all'altra dell'onda, determina il colore della luce. La lunghezza d'onda della luce blu, per esempio, è "corta". Quella della luce rossa è più lunga. La luce bianca è composta di molte differenti lunghezze d'onde e, quindi, di differenti colori.

Un prisma o una goccia di pioggia scompone la luce e la ordina secondo le sue lunghezze d'onda, vale a dire secondo i colori che la compongono. L'arcobaleno si produce in questo modo. Qui, però, si tratta di una "scomposizione" diversa.

La luce bianca, dopo aver attraversato il filtro, è polarizzata, in altre parole tutte le onde che la compongono vibrano nella stessa direzione. Quando questa luce passa attraverso il cellophane del nastro adesivo o attraverso l'acqua zuccherata, le vibrazioni delle onde cambiano direzione.

L'angolo di cui variano le direzioni di vibrazione delle onde dipende dalle rispettive lunghezze d'onda. La variazione subita dalla luce blu, ad esempio, è maggiore di quella subita dalla luce rossa. In definitiva, quando la luce riemerge dal materiale trasparente, i colori non stanno più vibrando tutti nella stessa direzione.

Il filtro polarizzante, attraverso il quale stai guardando, blocca alcuni colori e ne fa passare altri. E, a mano a mano che tu ruoti il filtro, puoi distinguerli.

I colori che vedi nella plastica dipendono dagli sforzi che sono stati indotti nel materiale quando l'oggetto è stato prodotto. Gli sforzi alterano la struttura della plastica, dalla quale dipende la velocità di propagazione delle onde. Le regioni in cui le strisce di colore sono più strette e più fitte sono quelle in cui lo sforzo è stato maggiore.

La percezione

Questa sezione è dedicata alla “percezione della realtà”: ciò che percepiamo è ciò che è o ciò che appare? Dietro molti sorprendenti effetti si sono talvolta “inganni “ sensoriali interpretabili con la fisiologia e la psicologia, ma spesso è solo fisica! Attraverso diversi exhibit sperimentiamo come talune “distorsioni” della realtà siano dovute ad effetti fisici, spiegabili e misurabili con l’OTTICA GEOMETRICA, mentre altri derivino dalla PERCEZIONE che la nostra mente elabora.

16 QUALE PESA DI PIÙ?

Questo exhibit dà idea di come la percezione della realtà venga condizionata da innumerevoli fattori, perdendo carattere di oggettività

- **SPERIMENTA**

Solleva lentamente solo il cilindro più piccolo, rimettilo a posto e poi solleva entrambi i cilindri. Immaginando di doverli pesare a mano, che tipo di valutazione saresti tentato di dare in base a ciò che hai percepito?

Se non ci fosse la ragione ad impedirlo, saremmo tentati di dire che i due cilindri insieme pesano meno del solo cilindro minore.

- **COSA ACCADE?**

In realtà tale cilindro, pur avendo altezza minore (circa la metà), è più pesante dell’altro, semplicemente perché è pieno mentre il più lungo è cavo all’interno. Poiché siamo in grado di percepire solo la differenza di dimensioni, siamo portati a prevedere che se il cilindro piccolo ha un tale peso, insieme all’altro il peso totale dovrebbe all’incirca triplicare. Partendo da questa convinzione, nel sollevarli entrambi percepiamo una maggiore “leggerezza”, apparentemente rispetto alla pesata precedente, in realtà rispetto al peso che mentalmente siamo predisposti a registrare!

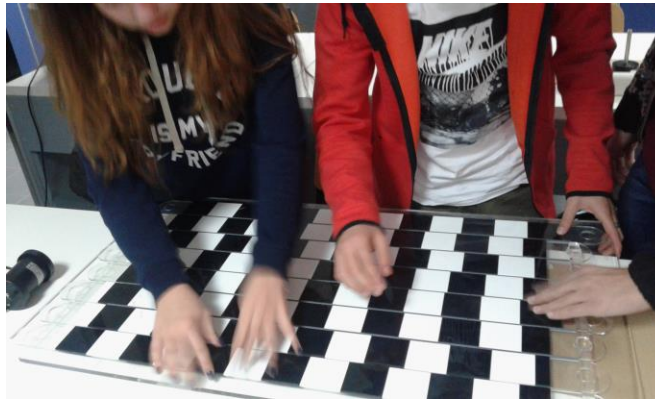
- **INOLTRE...**

In tale esperimento si ha esempio di come le nostre azioni e percezioni si rifacciano a dei modelli di noi stessi e del mondo che ci circonda che inconsapevolmente possediamo ed usiamo.

La percezione visiva

Diverti Esperimenti

Una collezione di exhibit e di quadri, senza pretese di completezza, visualizzano allo spettatore come “percepire” il mondo sia sempre un’attività interpretativa e come spesso i nostri sensi siano ingannevoli, incostanti o debbano sottostare a dei limiti sia fisiologici che psicologici.



Il “Muro del caffè” le linee sono dritte o storte?

Una delle caratteristiche della percezione visiva è quella di andare oltre l’informazione data, ovvero di trascendere l’oggetto dello stimolo sensoriale.

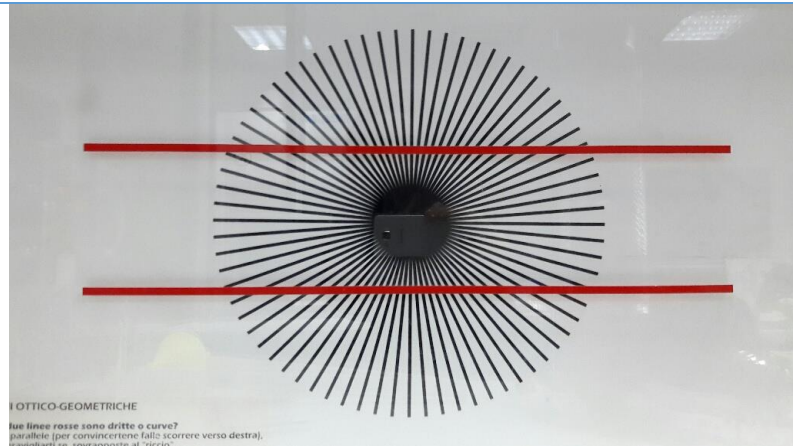
Nel processo di percezione, il sistema ottico va oltre tale informazione in quanto esso non è mai una registrazione passiva dello stimolo sulla retina, ma elaborazione e organizzazione dei dati sensoriali: si può parlare di interpolazione dei dati percettivi.

In virtù di tali operazioni il sistema visivo trascende le cose viste, realizzando fenomeni di completamento, di integrazione, di riempimento di lacune visive ecc., pur restando sempre l’oggettività elementi essenziali dei processi della visione.

le illusioni ottiche sono da considerare alterazioni della percezione visiva, devianze dal modo corrente in cui il nostro apparato visivo “interpreta” le immagini della realtà fisica e sensoriale, causate da fenomeni cui la nostra mente non riesce a dare un’interpretazione logica e tali da mettere in crisi la relazione tra l’occhio che raccoglie l’informazione visiva e il cervello che, basandosi sulle precedenti esperienze, la elabora.

Si tratta di inganni ottici, inganni dei sensi, dai quali discendono però rappresentazioni di impeccabile logica visiva, che sembrano generate da premesse vere e che portano invece a risultati paradossali.

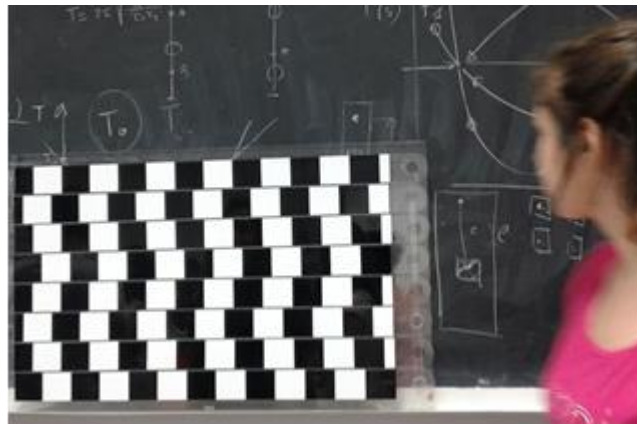
17 IL RICCIO



le due linee rosse sono dritte o curve?

Sono rette parallele (per convincertene puoi farle scorrere verso destra), ma non meravigliarti se, sovrapposte al “riccio”, ti appaiono allontanarsi fra loro in corrispondenza del centro del fascio di rette: si tratta di un tipico effetto di distruzione del parallelismo dovuto ad una illusione ottico-geometrica.

18 “IL MURO DEL CAFFE”

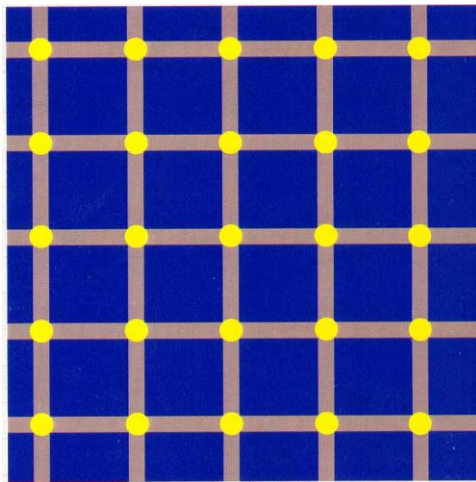


Come sono le linee della scacchiera, dritto o storte? Muovile facendole scorrere in orizzontale e potrai vedere che, se le disponi regolarmente appaiono (così come sono!) dritte, mentre le percepiamo decisamente storte se le disallineiamo, come ad esempio nella foto. Questo effetto è stato notato per la prima volta su i mattoncini di un muro di un bar, da qui il nome.

19 GALLERIA DI IMMAGINI

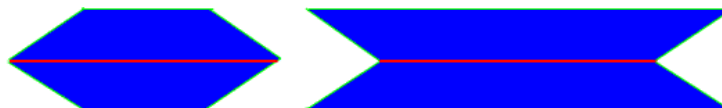
La griglia di Hermann

Nell'immagine puoi notare delle piccole macchie di colore apparire anche nelle intersezioni bianche. Tale effetto è causato da particolari recettori specializzati alla trasmissione dei segnali luminosi e si ha nelle zone con un forte contrasto di colore. Basta fissare per un tempo più prolungato tali spazi, dando il tempo necessario ai recettori di lavorare correttamente, ed "il pallino" non appare.



Quale fra i due segmenti rossi è più lungo? Illusione di Muller-Lyer (1889)

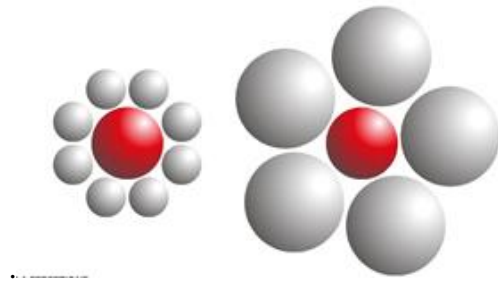
In quest'altra famosa immagine c'è una netta discrepanza fra lunghezza percepita e lunghezza reale: i due segmenti rossi sono uguali ma quello a destra viene percepito come più lungo. In tale illusione intervengono la concavità e la convessità delle figure nella stimolazione della nostra mente nella lettura dell'immagine.



Quale pallina rossa è più grande?

Siamo portati a "vedere" la pallina rossa a destra, circondata dai cerchi di raggio maggiore come più piccola rispetto all'altra a sinistra, circondata dalle palline bianche più piccole.

In realtà sono uguali: la percezione di grande o piccolo è condizionata dalla grandezza degli enti prossimi a ciò che osserviamo



Illusione di Ebbingaus

Perché talvolta la luna appare più grande? Dipende dal confronto relativo con gli oggetti di sfondo.

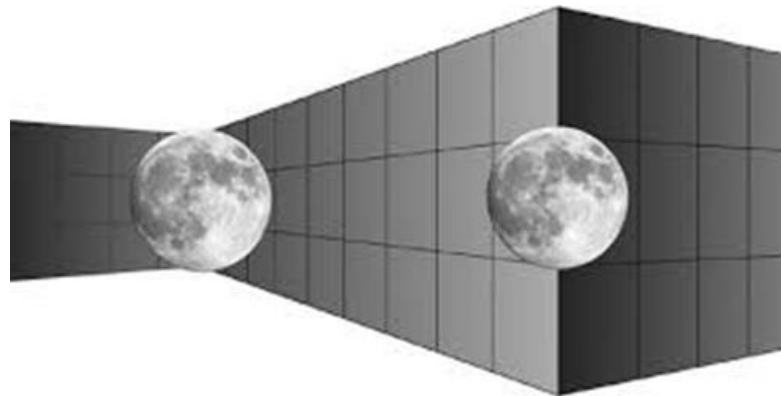
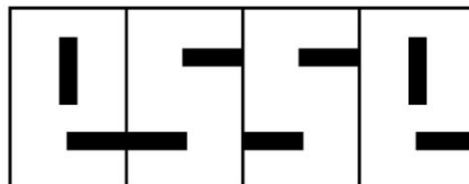


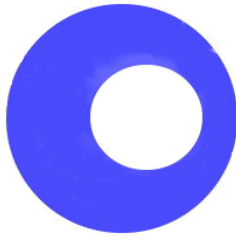
Figura-sfondo: cosa vedi?

Segni neri su sfondo bianco o lettere bianche su fondo nero? Di solito non è facile decifrare a prima vista la scritta contenuta in tale immagine perché siamo abituati a considerare il bianco come sfondo ed il nero come figura. Se invece ci sforziamo di vedere il nero come sfondo, ecco che apparirà evidente la scritta “esse”.

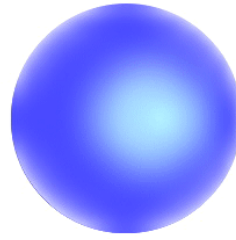


Illusione di tridimensionalità

Per avere l'illusione della tridimensionalità su un disegno basta sfumarne opportunamente il colore. Nell'immagine i cerchi, quanto più sono disomogenei nella colorazione, tanto più appaiono sferici.



sfera "piatta"

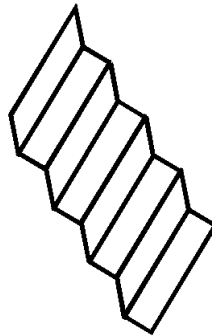


sfera "tridimensionale"

La scala reversibile

Il processo di organizzazione percettiva in questo caso è dinamico: possiamo percepire una scala e quella ad essa inversa, ossia ciascun elemento della scala può essere sia il piano che la pedata

Questa ambiguità è stata resa celebre da M.C.Escher nei suoi paesaggi fantastici, dove spesso persone che percorrono una scala nella stessa direzione appaiono indifferentemente nell'atto di salire o di scendere.



ILLUSIONI OTTICO-GEOMETRICHE

Illusione di Zoellner

Si tratta di una tipica illusione ottico-geometrica, in cui i lati del quadrato vengono percepiti come convergenti, mentre quelli dell'esagono come spezzate per l'azione esercitata sul nostro cervello dalle figure contigue.

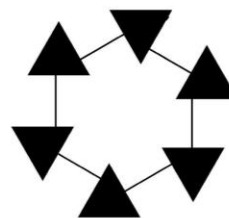
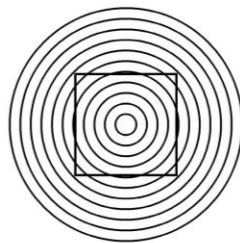
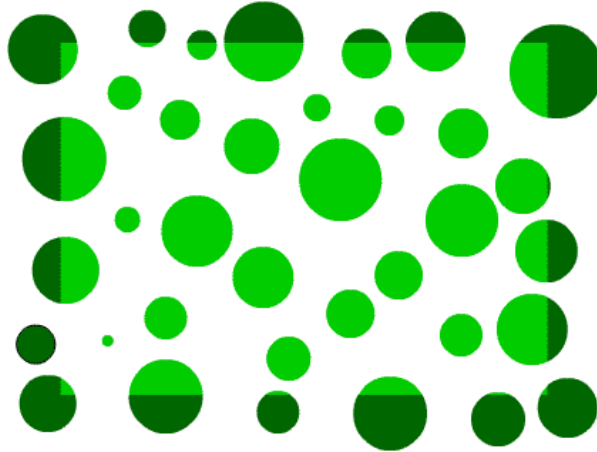


FIGURE INCOMPLETE

Rettangolo fantasma (Kanizsa, 1980)

In questa immagine siamo di fronte alla creazione di quella che possiamo definire come una *figura di interposizione trasparente*. Pur non essendoci dei contorni

delimitati, la zona quadrata centrale si evidenzia nettamente rispetto al resto semplicemente a causa della diversa intensità di tono del colore fra i dischi verdi.



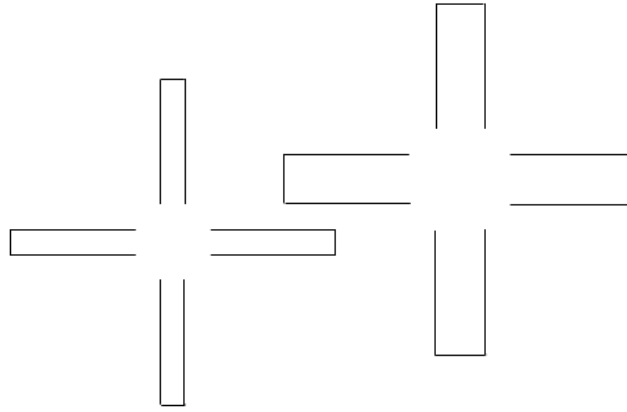
In tali immagini, pur essendo l'intera superficie ricoperta in modo omogeneo rispetto al colore dai dischi verdi, la zona quadrata centrale non solo si differenzia nettamente dal resto, ma appare più chiara dello sfondo. Il contrario avviene nella figura a destra, ove si staglia un quadrato centrale che appare più scuro del resto, e viene percepito come sfondo (è il contorno in questo caso che fa da figura). La differenza tra le due immagini è solo nel fatto che nella prima i dischi incompleti che delimitano il quadrato interno sono all'esterno di quest'ultimo, mentre nell'immagine a destra tali dischi incompleti sono all'interno.

In questi esempi una trasformazione dell'organizzazione delle figure comporta anche una trasformazione cromatica (il cosiddetto effetto "trasformazione di chiarezza").

Quadrato e cerchio fantasma (Sabin, 1974)

Guardando queste immagini la maggior parte degli osservatori "vedranno" rispettivamente un cerchio ed un quadrato sovrapposti alle croci incomplete: risulta naturale immaginare le croci come strutture complete parzialmente nascoste da altre superfici "opache".

Perché in un caso percepiamo un cerchio e nell'altro un quadrato? Si tratta del fenomeno degli "angoli anomali", che sono quelli delle superfici opache e che dipendono dalla resistenza che i bracci della croce oppongono all'invasione della superficie stessa. Per questo, restringendo la distanza fra i bracci il quadrato fantasma si trasforma in un cerchio.

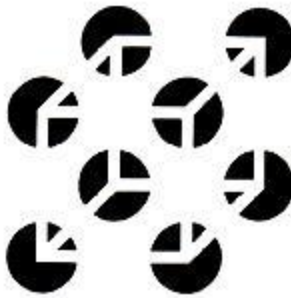


Cubo di Necker

Vedere e pensare sono due differenti attività: nella figura a destra i pezzi accostati possono far pensare ad un cubo, ma non farlo vedere.

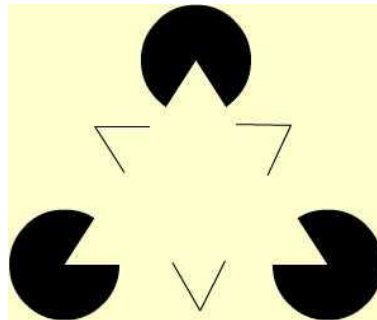
Basterà eliminare opportunamente alcuni segmenti dai “pezzi” della fig. a destra che da tale figura incompleta si genererà un cubo percettivamente presente.

Il sistema ottico va infatti oltre l'informazione oggettiva, tendendo a *colmare le lacune*, mediante quella che possiamo definire come una *interpolazione visiva*.



Triangolo di Kanizsa (Trieste, 1913)

Lo psicologo noto per i suoi studi sulla percezione evidenzia il cosiddetto effetto del “rendimento fenomenico”: disponendo nel piano i sei elementi a destra con la simmetria che vediamo a sinistra, ci appare un triangolo bianco con margini non delineati, appoggiato su tre dischi neri e su un altro triangolo con contorno nero.



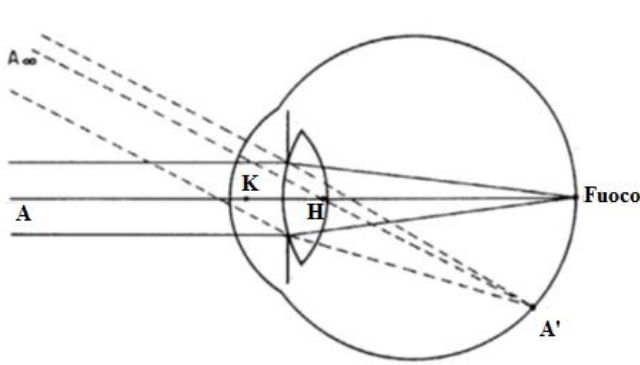
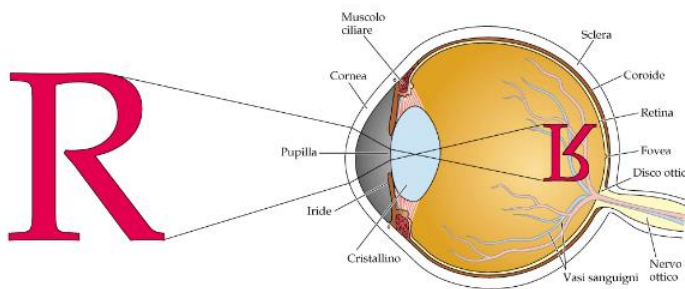
La Fisica della visione

Molti effetti strabilianti che sembrano misteriosi sono invece spiegabili con le leggi dell'ottica geometrica, unite al funzionamento dell'occhio umano che è, appunto, uno strumento ottico.



20 L'OCCHIO UMANO

L'occhio umano è un sistema ottico capace di formare un'immagine degli oggetti esterni e di proiettarla sulla retina. Tale immagine è reale, rovesciata, rimpiccolita, come si può vedere in figura 1.



SPERIMENTA

- Simuliamo il funzionamento di un occhio, e dei difetti di miopia e ipermetropia;

¹ Fonte immagine: <http://docplayer.it/15333218-Programma-lezioni-di-recupero-e-sostegno-psicologia-fisiologica-v-o.html>

Appendice A - Le schede dei DivertiEsperimenti

- Simuliamo la correzione di questi difetti dell'occhio umano.

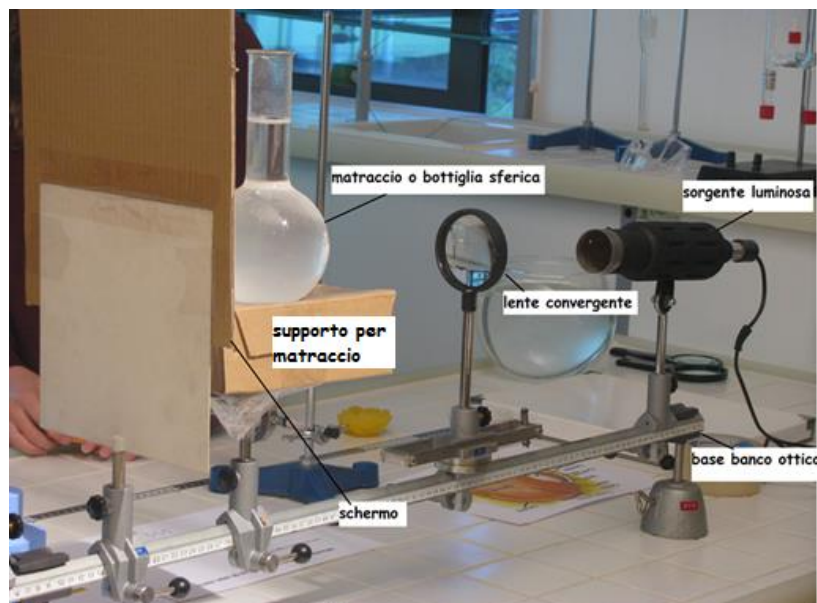
Cosa ti serve?

- Banco ottico;
- lente convergente;
- sorgente;
- matraccio o una bottiglia sferica da 500 cc;
- scatola o altro sostegno per appoggiare il matraccio;
- talco;
- set di lenti convergenti e divergenti (lenti per occhiali con potenza sferica pari a + 2 o + 3 D e - 3 D che si possono recuperare presso un negozio di ottica);
- schermo per visualizzare l'immagine.



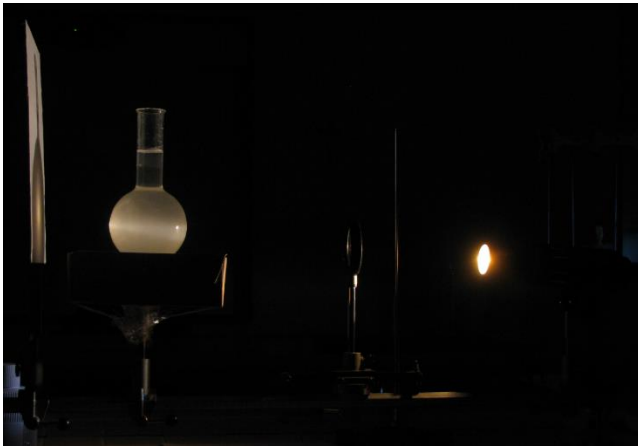
Riempi d'acqua la bottiglia, inserisci in essa un po' di talco e agita in modo da ottenere una sospensione opaca che renda visibile il passaggio di un eventuale fascio di luce.

Assembla sul banco ottico i materiali come mostrato in figura.



Oscura l'ambiente e, spostando il matraccio sul supporto (scatola), puoi simulare ciò che accade a:

- un occhio miope: si allontana la bottiglia dalla lente convergente e i raggi, provenienti dalla sorgente luminosa, dopo aver attraversato la lente convergente, convergono all'interno della bottiglia
- un occhio ipermetrope: si avvicina la bottiglia dalla lente convergente e i raggi provenienti dalla sorgente luminosa, dopo aver attraversato la lente convergente, convergono oltre la bottiglia.



Puoi ora simulare la correzione della miopia: basta porre davanti alla bottiglia lenti divergenti; per correggere la ipermetropia servono lenti convergenti. Prova!

COSA ACCADE?

Se l'occhio sta fissando un oggetto puntiforme A a grande distanza, si può ipotizzare che i raggi arrivino all'occhio pressoché paralleli. I mezzi trasparenti dell'occhio fanno convergere tali raggi nel fuoco, come farebbe una qualunque lente convergente.

Se l'occhio fissa il punto A posto sul suo asse ottico, la sua immagine cade sulla fovea; l'immagine di un altro punto A_{∞} , distante da A , cade su un altro punto A' , distante dalla fovea, ma sempre sulla retina. Si forma, dunque, sulla retina un'immagine fedele del mondo esterno: tale immagine viene analizzata dalle cellule sensibili della retina e poi elaborata dai centri nervosi.

L'occhio funziona, in definitiva, come una macchina fotografica con una notevole differenza: nella macchina fotografica la messa a fuoco dell'immagine avviene avvicinando e allontanando il sistema ottico della macchina alla pellicola con movimenti meccanici, nell'occhio il cristallino, costituito da tessuti molli, si deforma grazie all'azione di muscoli presenti nel corpo ciliare.

Questo meccanismo di messa a fuoco dell'occhio viene detto "accomodazione".

In condizioni di riposo, senza l'intervento dei muscoli oculari, l'occhio è accomodato all'infinito, ciò significa che l'occhio vede, senza fatica, oggetti la cui distanza dall'occhio supera un metro (una distanza si considera, in questo caso, infinita quanto è molto più grande della focale del sistema ottico).

Quando invece si fissa un oggetto vicino, per la messa a fuoco, è necessario accomodare l'occhio per avere l'immagine nitida sulla retina e quindi è necessario modificare la forma del cristallino: questo meccanismo entra in gioco di solito in maniera del tutto automatica.

La distanza massima di messa a fuoco corretta (punto remoto) per un occhio normale è allora l'infinito; la distanza minima (punto prossimo) dipende da fattori individuali, in particolare dall'età. Per un occhio normale, il punto prossimo è a 10 cm dall'occhio a 20 anni, a 14 cm a 30 anni, a 30 cm a 40 anni, a 50 cm a 50 anni, a 4 metri a 60 anni. Questa progressiva perdita del potere di accomodazione con l'età si chiama presbiopia: una persona presbite, se non ha altri difetti di vista, vede bene da lontano, ma non vede a fuoco gli oggetti prossimi al suo occhio.

INOLTRE

difetti della vista Un occhio normale viene definito emmetrope, un occhio in cui vi sia un difetto di convergenza dei mezzi trasparenti si chiama ametrope.

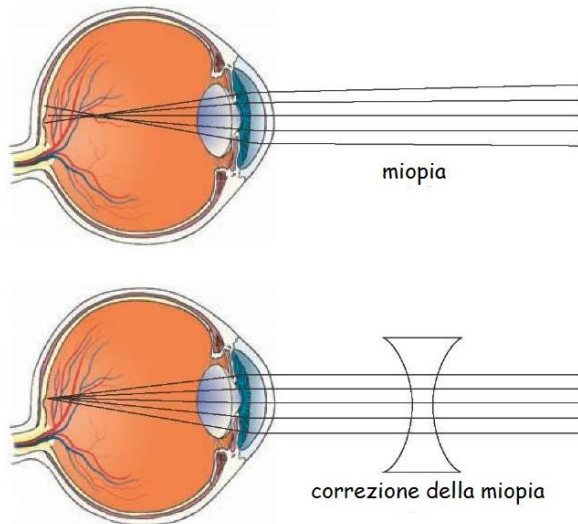
Si possono distinguere due forme di ametropia correggibili con lenti sferiche: miopia e ipermetropia.

In un occhio miope i raggi provenienti da un oggetto lontano convergono in un punto prima della retina: la potenza² dei mezzi convergenti dell'occhio miope (cornea e cristallino) è troppo elevata in confronto alla lunghezza del bulbo.

La miopia si corregge con lenti divergenti come mostrato in figura.

² La potenza o potere convergente di una lente è una misura della sua capacità di modificare le direzioni dei raggi di luce entranti per focalizzarli e formarne un'immagine, si misura in diottrie; il numero di diottrie di una lente o, più in generale, di un sistema ottico è pari all'inverso della distanza focale espressa in metri, si misura dunque in m^{-1} e si indica con D

Appendice A - Le schede dei DivertiEsperimenti



In un occhio ipermetrope l'immagine di un oggetto lontano si forma oltre la retina: l'immagine retinica è sfuocata per insufficiente potenza delle lenti dell'occhio o per insufficiente lunghezza del bulbo. La persona vede sfuocato da lontano ed ancor più per oggetti vicini. L'ipermetrope deve indossare lenti convergenti, come si vede in figura.

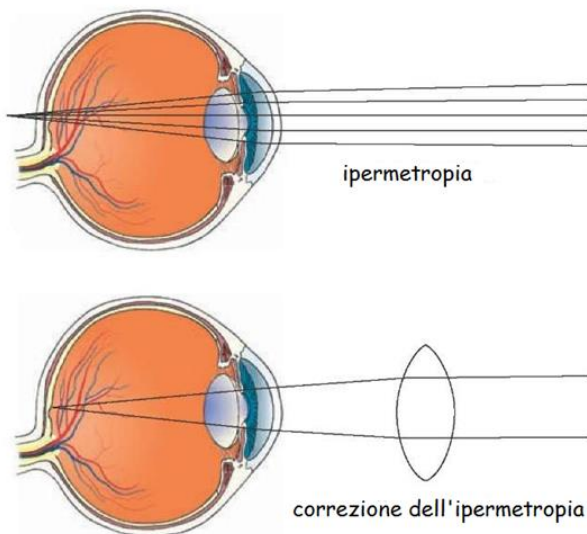


Foto e immagini da <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/>

21 GIOCHI DI LUCE (RIFRAZIONE, LENTI)

Disegnare una freccia su un foglio e a guardala attraverso un recipiente di varie forme, sia vuoto che pieno di acqua. In talune situazioni, vedrai dei cambiamenti “misteriosi” nella figura.

SPERIMENTA

Metti la freccetta dietro recipienti di varie forme (a sezione curva, ad esempio un bicchiere cilindrico, o a sezione rettangolare, un barattolo a facce quadrate) con e senza acqua e a differenti distanze. Cosa osservi? Con opportune combinazioni vedrai la freccia invertire il proprio verso! Ma non sempre...



figura 1 a) Freccia disegnata su un foglio b) la stessa freccia appare invertita se vista attraverso un contenitore cilindrico pieno d'acqua



figura 2 la stessa freccia NON appare invertita se vista attraverso un contenitore a sezione quadrata anche se pieno d'acqua

PERCHE'?

La freccia cambia verso se c'è l'effetto “lente d'acqua” dovuto all'azione combinata della rifrazione della luce tra aria e acqua e dalla forma cilindrica del contenitore: attraverso il cilindro vuoto ed anche attraverso il barattolo a sezione quadrata, anche se pieno d'acqua, il verso del disegno infatti non cambia.

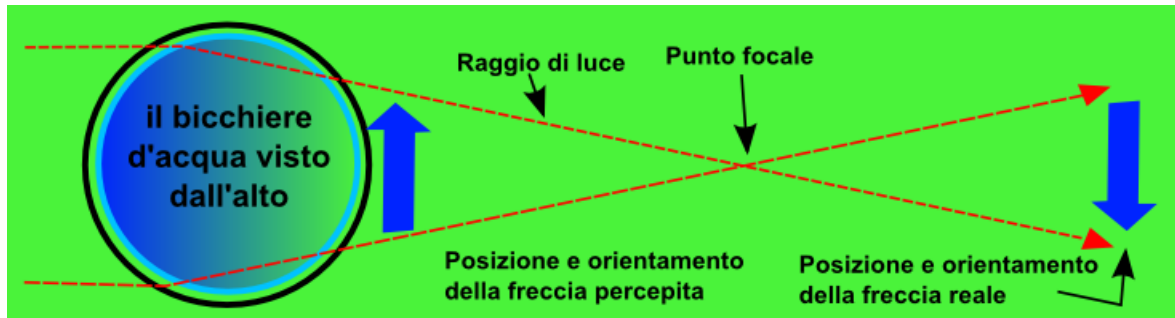


Immagine in rete

- **INOLTRE...**

Prova con altri tipi di disegni, magari colorati: potrai cercare le condizioni geometriche per vedere degli effetti molto scenografici, come nelle foto che abbiamo fatto noi!

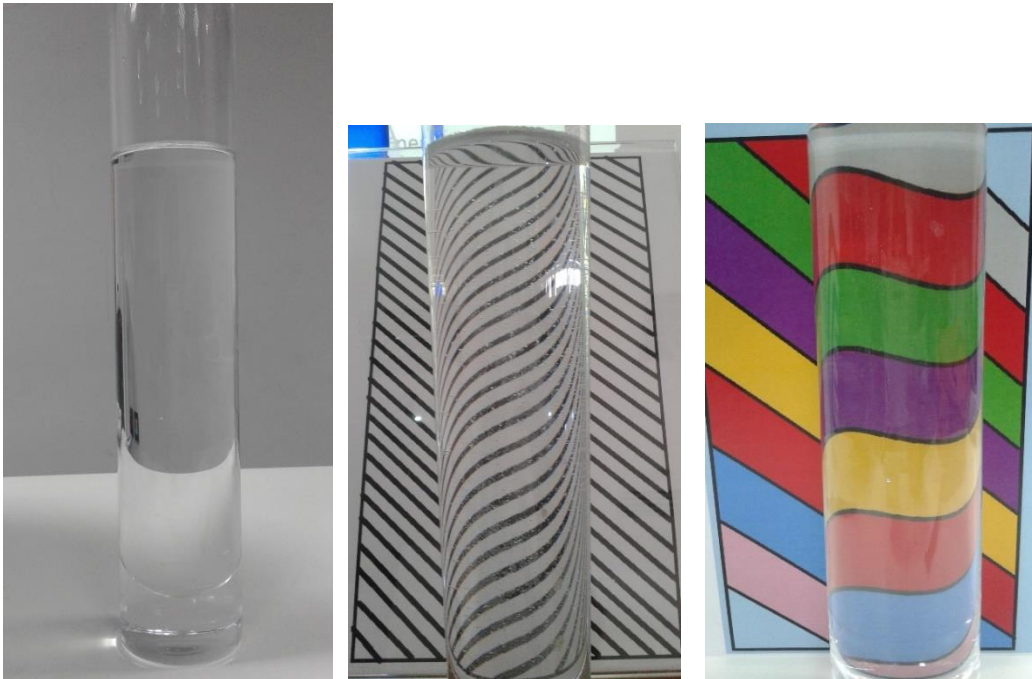
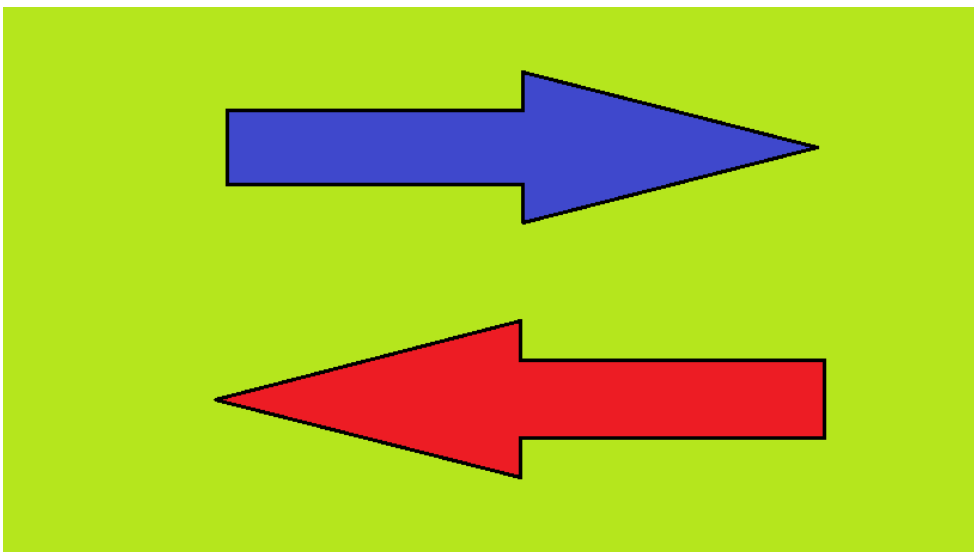
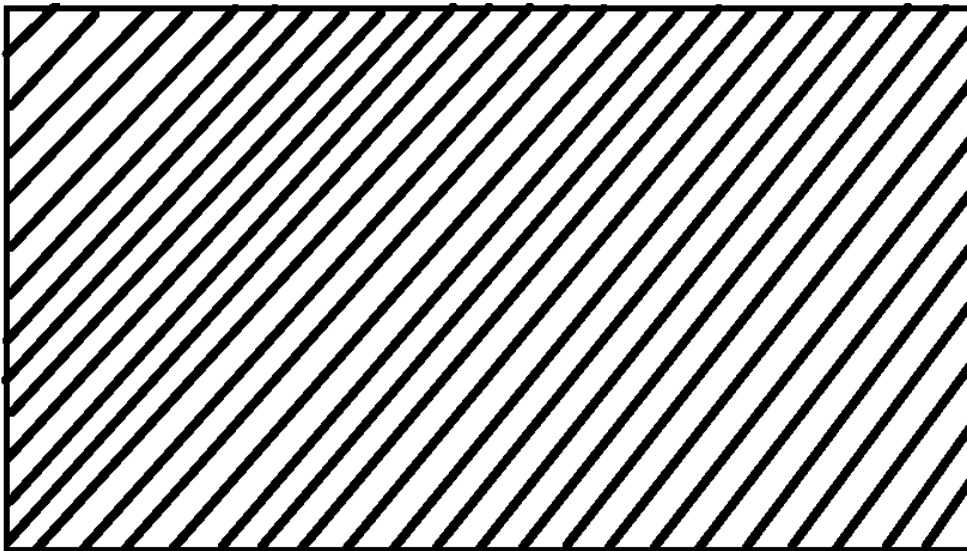


Fig 3 a) un contenitore cilindrico pieno d'acqua b) e c) l'effetto della rifrazione e della lente produce distorsioni ottiche sui reticoli regolari sullo sfondo (le cui linee sono tutte parallele)

Immagini dei DivertiEsperimenti da stampare per riprodurre l'esperimento.



E che ne dici di mettere i pesciolini rossi nella boccia?



Figura 4
I pesciolini sul foglio e visti attraverso il cilindro vuoto



Figura 5
Foto dei pesciolini visti dal cilindro contenente acqua, da due diverse angolazioni.

Puoi anche provare: cosa accade se al posto dell'acqua vi è un altro liquido, ad esempio olio?

22 LE OMBRE COLORATE

Diverti Esperimenti

Non è detto affatto che l'ombra sia scura

SPERIMENTA

Utilizza tre lampade colorate (o tre proiettori con tre diapositive costituite da filtri, ritagliati da gelatine utilizzate per le luci dei teatri) nei cosiddetti colori primari ossia, ROSSO, VERDE E BLU. Accendi una luce (un proiettore) alla volta, poi due a due, infine tutti e tre insieme. Osserva caso per caso i colori che si formano sullo schermo. Interponi ora un oggetto lungo il cammino della luce. Osserverai ombre colorate rosse, verdi, blu, gialle, ciano, magenta, nere.

COSA ACCADE?

La retina dell'occhio umano ha (solo) tre tipi di recettori luminosi, sensibili rispettivamente alla luce rossa, a quella verde ed a quella blu, ecco perché essi per la visione umana risultano i colori primari (RGB): dalla loro combinazione (sintesi additiva) si ottengono tutti gli altri colori.

Se proiettiamo contemporaneamente la luce rossa e quella blu, sullo schermo vediamo formarsi il colore magenta (che corrisponde alla stimolazione dei recettori del rosso e del blu)

Se proiettiamo contemporaneamente la luce verde e quella blu, sullo schermo vediamo formarsi il colore ciano (che corrisponde alla stimolazione dei recettori del verde e del blu)

Se proiettiamo contemporaneamente la luce verde e quella rossa, sullo schermo vediamo formarsi il colore giallo (che corrisponde alla stimolazione dei recettori del verde e del rosso).

Quando proiettiamo le tre luci contemporaneamente, i tre tipi di recettori sono stimolati nella stessa misura e sullo schermo vediamo il colore bianco.

La possibilità di vedere tutti i colori è una conseguenza della combinazione degli stimoli ricevuti dai recettori luminosi. Ad esempio la luce gialla stimola i recettori del verde e del

Appendice A - Le schede dei DivertiEsperimenti

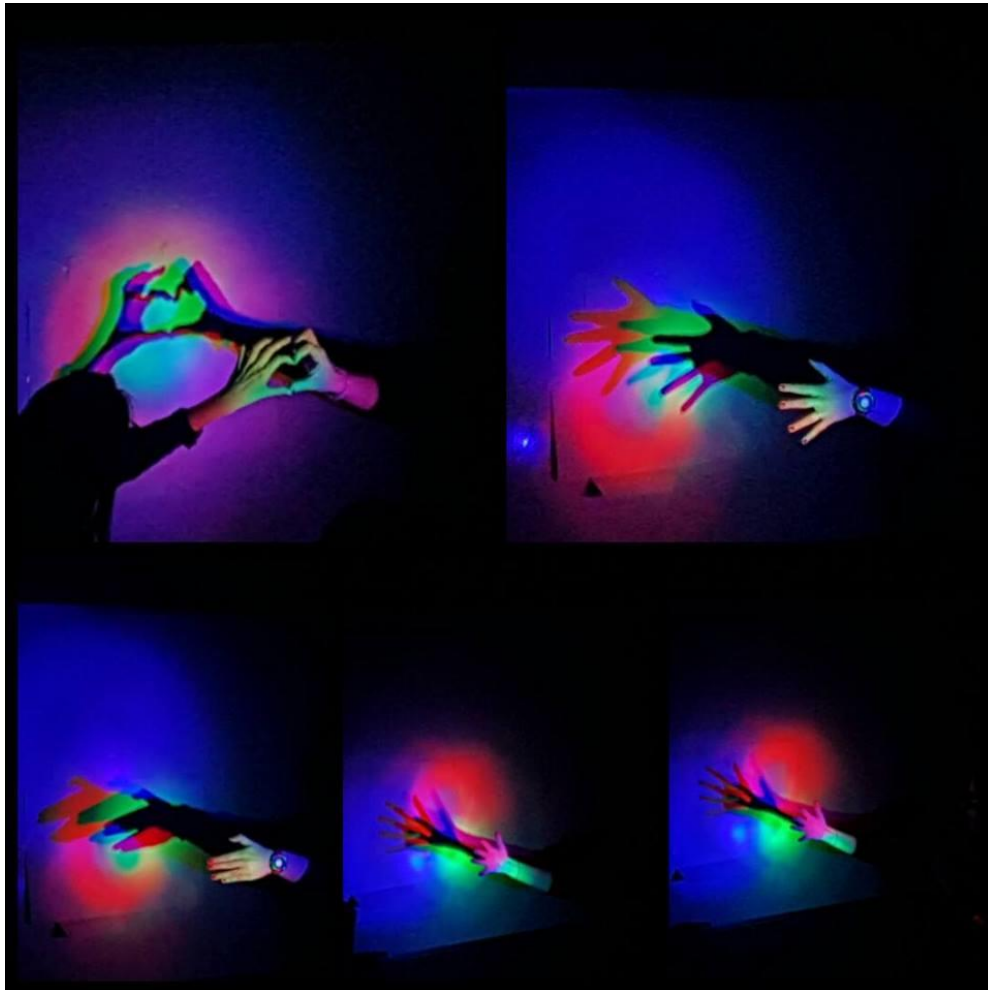
rosso, esattamente come se la retina fosse stimolata contemporaneamente da una luce verde e una luce rossa.

Il colore delle ombre prodotte dall'oggetto interposto lungo il cammino della luce è dato dalle luci che, non venendo assorbite dall'oggetto, raggiungono lo schermo che le riflette, facendole arrivare ai nostri occhi.

Metti davanti alle sorgenti di luce un ostacolo, ad esempio la mano fra luci: se vedrai l'ombra magenta (rossa + blu) significa che la mano ha assorbito la luce verde.

Se l'ombra è giallo (verde + rossa) significa che la mano ha assorbito la luce blu e così via.

Se c'è l'ombra nera significa che allo schermo non arriva alcuna luce.



INOLTE

Perché le ombre prodotte dalla luce solare appaiono nere anche se la luce del Sole contiene tutti i colori?

23 DISCO NEWTON

Diverti Esperimenti



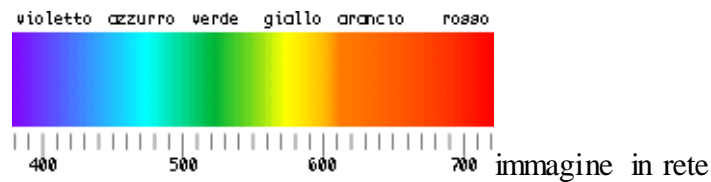
Nel XVII sec. lo scienziato inglese I. Newton mostrò che un sottile raggio di luce bianca, allorché attraversa un prisma di vetro, si decompone producendo la gamma dei colori dell'arcobaleno. Il disco cromatico di Newton mostra l'effetto inverso: come i colori si compongono tra loro.

• SPERIMENTA

Aziona la macchina per porre il disco cromatico in rotazione. Osserva come i colori si miscelano dando luogo ad un unico colore, prossimo al bianco. Varia la velocità di rotazione e l'illuminazione del disco e osserva come il risultato varia.

COSA ACCADE?

Newton non si è occupato in realtà del problema della percezione dei colori: il primo a parlare dei tre colori primari e della loro sintesi nel nostro occhio fu, più di un secolo dopo, T. Young, medico. Newton ha invece mostrato in modo inequivocabile - tramite la *dispersione del prisma* - che la luce bianca è semplicemente la sovrapposizione di tante componenti cromatiche diverse, quelle che costituiscono lo spettro dell'iride. L'arcobaleno non è altro che la scomposizione della luce da parte delle goccioline d'acqua disperse nell'aria dopo la pioggia. Se si osserva l'arcobaleno, pur intuendo che la gamma dei colori dal rosso al violetto è continua e infinita, come oggi sappiamo, si contano bene soltanto sette colori principali: rosso, arancione, giallo, verde, blu, indaco, violetto; Newton li dispose a spicchi sul suo famoso disco.



Con l'esperimento del disco di Newton avviene il fenomeno inverso: la luce si ricompone a partire dai colori dai colori principali e torna ad essere bianca.

Il colore bianco si ottiene soltanto per sintesi additiva, ossia sommando i colori principali dell'iride. Se invece si ricorre alla sintesi sottrattiva (ossia mischiando vernici o inchiostri), non si otterrà mai il bianco, in quanto il bianco contiene tutte le componenti cromatiche della luce solare, mentre nella sintesi sottrattiva, come dice il nome, ad essa vengono sottratte delle componenti cromatiche. Così si avrà il nero laddove in additiva si otteneva il bianco. Il sistema del disco rotante è una via intermedia, in quanto si basa su colori dipinti e quindi non somma luci a luci, ma sfrutta la persistenza delle immagini sulla retina per arrivare a una pseudo-sintesi additiva. Invece del bianco si arriverà sempre a un risultato sì acromatico, ma grigio, di tonalità varia.

COSA E' IL COLORE?

Prima di Newton era opinione comune che la luce fosse una entità omogenea, non composta. Modificata da rifrazioni e riflessioni, la luce generava le diverse sensazioni di colore (questo punto di vista è detto "modificazionismo").

Negli esperimenti che condusse dal 1666, Newton aveva invece osservato che la luce del sole, fatta passare attraverso un prisma, si scompone in una serie di colori (è il fenomeno della "dispersione della luce. Newton chiama questa serie di colori "spettro", dal latino "specere"= apparire e spiega il fenomeno ipotizzando che nella luce del sole siano contenuti raggi diversi, che hanno diverse rifrattività e che producono la sensazione di vari colori se osservati separatamente. Quando questi diversi raggi sono mescolati, l'apparato visivo ne ha una sensazione diversa da quella che ognuno di essi singolarmente produrrebbe. Il colore quindi è una sensazione soggettiva, causata da uno stimolo fisico oggettivo, la luce.

Anche Cartesio pensava che il colore fosse una sensazione, ma spetta a Newton il merito di averlo affermato chiaramente e senza equivoci. La colorimetria (oggi considerata una parte della psicofisica) è lo studio di questa sensazione, con riferimento allo stimolo luminoso che la produce.

Più in generale *la scienza del colore*, oltre alla colorimetria, comprende la parte di ottica che ha a che fare con i colori, la psicologia del vedere (a colori), la fisiologia dell'occhio,

la neurobiologia e neurofisiologia relative alla visione (a colori) e le teorie della visione. La scienza del colore è quindi una tipica scienza interdisciplinare.

La doppia natura corpuscolare ed ondulatoria della luce.

R. Hooke, che fu per tutta la vita rivale scientifico di Newton, propose l'idea che la *propagazione della luce nell'etere avvenisse con un moto ondulatorio*, in perfetta analogia con il suono.

Newton, da parte sua, negò la natura ondulatoria della luce, sostenendo che la luce, al contrario dei suoni, non ha la capacità di aggirare gli ostacoli, e quindi doveva essere costituita da minuscole particelle, dei corpuscoli, emessi dalla sorgente luminosa (che era quello che i filosofi pitagorici già pensavano nel 400 a. C.). La battaglia che si scatenò tra i sostenitori della teoria ondulatoria e quelli della teoria corpuscolare vide prevalere, grazie soprattutto al contributo di Newton, il modello corpuscolare. Altri scienziati svilupparono invece l'idea di Hooke; tra essi C. Huygens, oggi considerato il fondatore della *teoria ondulatoria della luce*, che riuscì a spiegare diversi fenomeni ottici (riflessione, rifrazione) sulla base di quest'ipotesi. Col nuovo secolo (e con gli esperimenti di diffrazione e d'interferenza) fu poi definitivamente dimostrata la natura ondulatoria della luce.

Il colore è una sensazione provocata dalla luce che colpisce la retina dell'occhio. Ogni superficie assorbe la luce e ne riflette solo una parte. Partendo dai tre colori fondamentali (RGB), detti primari perché non si possono ottenere mescolando altri colori, si può ottenere per combinazione qualsiasi tinta.

La colorazione degli oggetti che non emettono luce propria è legata alla loro capacità di riflettere in modo maggiore o minore le varie componenti cromatiche contenute nella luce con cui sono illuminate. Considerando dunque la luce come un'onda elettromagnetica, possiamo affermare che il colore degli oggetti dipende dall'interazione della materia con le diverse lunghezze d'onda della radiazione luminosa.

Così un oggetto bianco, riflette tutte le radiazioni luminose. Un oggetto verde, ad esempio una foglia, ha un massimo di efficacia nella riflessione che cade appunto nel verde, risultando un cattivo riflettore sia sul versante rosso-giallo che su quello blu-violetto. Quando una foglia si secca, le proprietà chimiche e ottiche delle fibre che la costituiscono vengono ad alterarsi, e la massima efficacia di riflessione si sposta nel giallo (o nel marrone, che è cromaticamente eguale al giallo, ma meno luminoso). Tali differenze sono legate alla struttura dei livelli di energia per gli elettroni del materiale in considerazione.

Si può dire che *ad ogni sensazione cromatica corrisponde una diversa lunghezza d'onda della luce*, tale grandezza essendo correlata (inversamente) alla frequenza di oscillazione della sorgente. In tal senso, quindi, la sensazione di colore percepita dipende anche dalla luce stessa o, meglio, dalla sorgente *che la emette*.

INOLTRE...

Puoi usare delle lampade colorate per sperimentare altri effetti con i colori, ad esempio proiettandole su uno schermo e giocando a sovrapporle, o vedendo il diverso effetto delle singole luci colorate su dei cartoncini di diverso colore.

Diverti Esperimenti

24 MIRAGGIO



Sei mai stato spettatore di un vero miraggio? Se non credi che sia possibile, prova a prendere l'oggetto che vedi sulla sommità della scatola curva dinanzi a te...

SPERIMENTA

Posizionati avanti alla "scatola", in modo da vedere bene sulla sua sommità un piccolo oggetto. Non devi far altro che prenderlo. In realtà ti sarà impossibile, a meno che...

COSA ACCADE?

...non sollevi il coperchio e lo prendi sul fondo della scatola, laddove in effetti è. Perché ci appare allora sulla sommità?

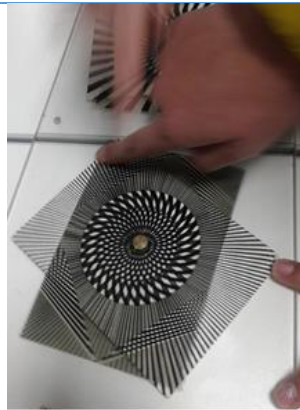
La scatola del miraggio è composta da due metà all'interno di ciascuna delle quali vi è uno specchio concavo. La curvatura degli specchi è tale che l'oggetto posto al centro dello specchio inferiore si viene a trovare nel fuoco dello specchio superiore. La parte superiore ha un foro al centro, in corrispondenza del fuoco; posizionando un oggetto sul fondo della metà inferiore, il gioco di specchi farà dunque comparire un'immagine virtualmente identica all'originale in corrispondenza del foro.

I raggi di luce provenienti dall'oggetto si riflettono sullo specchio superiore e tornano indietro parallelamente all'asse dello specchio. Tali raggi vengono nuovamente riflessi dallo specchio inferiore e si ricongiungono nel suo fuoco. Il risultato è che, dopo due riflessioni, i raggi provenienti dai vari punti dell'oggetto posto nel fondo si riuniscono nel fuoco (ossia nel foro) formando un'immagine dell'oggetto.

- **INOLTRE...**

In tal caso non siamo di fronte ad un inganno percettivo ma ad un vero effetto fisico, spiegabile con l'ottica geometrica: un'immagine in ottica si dice reale quando i raggi di luce che percepiamo provengono dall'immagine stessa, ed è dunque formata da raggi di luce convergenti; altrimenti si dice virtuale. I miraggi sono la manifestazione di un fenomeno scientifico detto "immagine reale tridimensionale", che si ha quando un raggio di luce subisce una **riflessione totale**. Di solito, quando la luce passa da un mezzo ad un altro, ad es. dall'aria all'acqua, viene parzialmente riflesso e parzialmente rifratto. Per ogni coppia di mezzi esiste il cosiddetto angolo limite, valore dell'angolo di incidenza del raggio tale che da esso in poi non si ha più rifrazione ma solo riflessione. Il tipico miraggio del deserto è dovuto alla presenza, in prossimità del suolo, di strati di aria più calda, e dunque meno densi, di quelli superiori. Si può avere dunque riflessione totale dei raggi solari fra gli strati d'aria, dando la sensazione di superficie speculare, quale uno specchio d'acqua.

25 EFFETTO MOIRE



Questo effetto è facilmente osservabile in molti oggetti con struttura reticolare, come reti di recinzione, cancellate e tessuti; infatti, il nome “Moire” deriva da un tipo di seta in cui questo fenomeno è particolarmente evidente. Basta un piccolo spostamento di uno di questi oggetti a generare cambiamenti in tutta la figura.

SPERIMENTA

Questo exhibit è costituito da due pannelli, uno fisso ed uno trasparente mobile, su cui sono riprodotti dei disegni che, sovrapposti, coincidono.

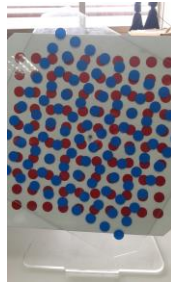
Sposta leggermente la figura mobile e nota come dalla sovrapposizione dei due reticoli si generino delle imprevedibili figure: il disegno che ti appare all'improvviso è chiamato moiré. Nota la rapidità del movimento del moiré: la scala del moiré cambia man mano che cambi la distanza tra le due figure.

COSA ACCADE?

L'effetto moiré appare ogniqualvolta si sovrappongono due oggetti simmetrici o a struttura reticolare e la loro coincidenza non è perfetta. Basta un piccolo spostamento di uno di questi oggetti a generare cambiamenti in tutta la figura.

Figure di tal tipo sono analoghe a quelle che si ottengono quando la luce attraversa due fenditure; lungo le cosiddette linee nodali, le creste delle onde provenienti da una fenditura e le valli delle onde provenienti dall'altra si sovrappongono e si annullano reciprocamente, e si hanno le zone scure. Facendo scorrere una figura sull'altra, le linee nodali si avvicinano, ed accade quello che si ha nell'allontanare le due fenditure nei fenomeni di *interferenza*, dovuta alla *natura ondulatoria della luce*

INOLTRE... I moiré sorprendono perché guizzano da disegni che sembrano banali, ma la loro importanza va oltre la curiosità che provocano. Essendo *figure d'interferenza*, danno effetto visibile di cosa accade quando s'incontrano le creste e le valli di due onde. Poiché un piccolo spostamento provoca un effetto su tutta la figura, i moirè sono utili per evidenziare differenze, anche minime, in strutture ordinate, ad esempio per verificare il perfetto allineamento delle linee di un reticolo di diffrazione.



Sovrapponendo due pattern con stampati dei dischi regolari (al di sotto, fisso, un reticolo di dischi rossi e sopra, ruotante rispetto al centro, un reticolo di dischi blu) si percepiscono forme diverse a seconda di come si fa ruotare un piano rispetto all'altro.

Elettricità e magnetismo



Figure 6



Figure 7



26 SCOCCA LA SCINTILLA

Cosa è una scintilla elettrica? Come si può provocare? Ed un fulmine come si produce?

SPERIMENTA Fai girare i dischi tramite la manovella. Potrai osservare il prodursi di una scarica elettrica fra le due sferette. Sperimenta cosa accade variando la distanza fra le sfere.

COSA ACCADE? L'apparato che hai dinanzi è una copia della famosa **macchina elettrostatica di Wimshurst**. Si tratta di un dispositivo ad induzione inventato dall'omonimo scienziato nel 1882. Con tale generatore si è in grado di produrre delle scintille tra due elettrodi costituiti da bacchette o da sfere collegati a due armature di un condensatore. Si verifica in pratica una scarica del condensatore tramite formazione di arco voltaico la cui dimensione ed il cui tempo di vita dipendono dalla carica immagazzinata e dalla distanza a cui sono posti gli elettrodi.

INOLTRE

Sono innumerevoli gli effetti delle scariche elettrostatiche, ad esempio i fulmini. Con tale macchina puoi fare altri esperimenti

27 IL POTERE DISPERSIVO DELLE PUNTE

Tutti sanno che durante un temporale non è consigliabile ripararsi sotto un albero. Ma perché?

- **SPERIMENTA**

Posiziona nelle diverse configurazioni la manopola che simula la superficie al suolo durante un temporale e fai scoccare la scintilla.

COSA ACCADE? Questo exhibit mette in evidenza l'aspetto aleatorio della scarica del fulmine. Se si posiziona una superficie piana sotto la "nuvola" si osserva che il fulmine si abbatte a caso sui vari punti della superficie.

Posizionando invece una superficie dove vi è anche una punta, si nota che il fulmine si abbatte sempre su di essa. Se si posizionano due punte si nota che è la punta più alta ad attrarre il fulmine.

28 LA SFERA AL PLASMA

Un fenomeno simile al fulmine, riprodotto in questa sfera in cui un nucleo ad alto potenziale elettrico, immerso in un gas inerte, produce scariche elettriche chiaramente visibili

SPERIMENTA

Se si alimenta il dispositivo, all'interno della sfera si formano molti "filamenti luminosi".

Si possono facilmente osservare alcuni fenomeni interessanti tra cui:

- a) i filamenti si spostano lentamente verso l'alto;
- b) avvicinando un dito alla sfera questi filamenti tendono ad addensarsi verso esso e, se si sposta il dito, tendono a seguirlo;

Il fenomeno viene modulato da vibrazioni sonore (voce, musica, rumori...), variazioni nella temperatura, provocate toccando la superficie della sfera.

COSA ACCADE?

la sfera ha un involucro di vetro all'interno del quale è contenuto un *gas inerte* a bassa pressione, che ha la proprietà di essere facilmente ionizzato (ovvero uno o più elettroni vengono strappati alle sue molecole, che quindi diventano ioni positivi). Al centro della sfera vi è un elettrodo. Il basamento su cui è appoggiata la sfera contiene un circuito oscillante tramite il quale viene alimentato l'elettrodo centrale a tensioni molto alte.

Le molecole così eccitate riemettono energia sotto forma di onde elettromagnetiche anche nel campo del visibile. a) I filamenti tendono a spostarsi verso l'alto perché essendo questi a temperatura assai elevata, la loro densità risulta minore. b) I filamenti si addensano verso il dito perché esso si trova al potenziale di terra, cioè 0 volt e quindi la differenza di potenziale fra elettrodo centrale e dito è molto più grande di quella fra elettrodo centrale e qualsiasi altro punto della sfera.

Il campo elettrico è dunque più intenso in questa direzione e di conseguenza si assiste ad un maggior numero di fenomeni di ionizzazione.

INOLTRE

Avvicina un tubo a scarica alla sfera di plasma. Per effetto del campo elettrico associato alle onde elettromagnetiche il tubo si illumina. Se si interpone tra la sfera e il tubo un foglio di alluminio, il tubo non si accende, perché le onde elettromagnetiche vengono schermate

Nel suo famoso esperimento del 1800, Alessandro Volta utilizzò una soluzione di acido solforico come elettrolita per accumulare cariche elettriche ai capi della pila di rame e zinco. In questa esperienza ne utilizzeremo uno molto meno pericoloso e più facilmente reperibile: l'acidità della pelle delle nostre mani!

SPERIMENTA

Appoggia una mano su una piastra di zinco ed una su quella di rame; osserva la lancetta dello strumento che misura il passaggio di corrente (amperometro).

Vedrai che lo strumento misura il passaggio di una (pur debole) corrente. Puoi divertirti a confrontare la corrente che passa quando sei tu a poggiare le mani o quando le poggiano altre persone, o tenendoti per mano con altre persone, o se ti inumidisci le mani (ad esempio alitando su di esse) ecc. Cosa sperimenti poi se si poggia una coppia di mani su ciascuna coppia di piastre rame-zinco?

COSA ACCADE?

La nostra pelle ha un certo grado di acidità: quando tocchi le due piastre di metallo, il tuo corpo funge da elettrolita fra lo zinco ed il rame. La mano "strappa" delle cariche negative (gli elettroni) dalla piastra di rame, lasciandola carica positivamente, e contemporaneamente cede elettroni alla piastra di zinco, facendolo caricare negativamente. A questo punto vi è una differenza di carica e dunque di tensione fra le due piastre: gli elettroni (che sono le cariche mobili) in eccesso fluiscono dalla piastra di zinco verso quella di rame passando, attraverso il tuo corpo ed i cavi che chiudono il circuito, per l'amperometro.

Il corpo umano oppone una notevole resistenza alla circolazione della corrente elettrica, ed è proprio la pelle ad offrire la maggior parte di tale resistenza; ecco perché inumidendo la pelle circola una corrente maggiore. Tenendo invece per mano altre persone la resistenza aumenta e la corrente circola meno.

INOLTRE

A casa puoi provare ad usare il succo di limone come elettrolita, per ottenere una pila in grado di alimentare un led. Puoi provare a cambiare i due metalli: la corrente ottenuta è direttamente proporzionale alla loro differenza di potenziale elettrico intrinseco (elettronegatività).

Diverti Esperimenti

30 LINEE DI CAMPO MAGNETICO

-
- **SPERIMENTA**
 1. **In una dimensione: la scatola con gli aghi magnetici**

muovi le calamite sulla scatola contenente gli aghi. Osserva come cambia il loro orientamento.
 2. **Nello spazio: il cilindro con la limatura di ferro**

Con la limatura di ferro puoi sperimentare come si dispongono le linee del campo magnetico in prossimità di una calamita. Puoi usare calamite di forma diversa, di differente magnetizzazione, combinare in vario modo le loro polarità. La polvere di ferro si dispone, secondo i casi, in precise geometrie all'interno del contenitore.
- **COSA ACCADE??**

Gli aghi (che sono piccoli magneti liberi di ruotare intorno al proprio asse) e la polvere di ferro, come ogni altro materiale di tipo ferromagnetico, risentono del campo magnetico prodotto dalle calamite. Le linee secondo cui si dispone il campo magnetico danno indicazione sia sull'intensità del campo stesso (addensandosi proporzionalmente a tale intensità) che sulla sua direzione. Gli aghi e la polvere di ferro si dispongono proprio lungo tali linee, visualizzandole.

Gli aghi in assenza di calamite si orientano indicando il nord magnetico terrestre (sono in pratica delle bussole). Le calamite, se sufficientemente vicine agli aghi, li fanno ruotare in modo che le polarità nord degli aghi si affaccino ai poli sud delle calamite e viceversa.

Nel contenitore cilindrico, la limatura di ferro in presenza del campo magnetico delle calamite visualizza le linee di campo in tre dimensioni.

31 ESPERIMENTI CON LA FISICA DELLE BASSE TEMPERATURE

Utilizzando l'azoto liquido è possibile fare alcune divertenti osservazioni sul comportamento dei materiali a basse temperature, e su alcuni cambiamenti di stato, non osservabili in condizioni normali.



• SPERIMENTA

Nella vaschetta di polistirolo vi è l'azoto liquido: puoi osservare che il liquido bolle, ed il "vapore" sprigionato scende verso il basso: esso infatti ha una temperatura molto inferiore rispetto alla temperatura dell'ambiente. A conferma di ciò puoi far cadere nella vaschetta alcune gocce d'acqua, che si congeleranno all'istante.

Utilizzando le apposite pinze (o un pezzo di spago) con cautela immergi un palloncino nell'azoto liquido e osserva cosa accade.

A bassissime temperature gli oggetti perdono completamente la loro elasticità, e non sono più in grado di ammortizzare gli urti: immergi un palloncino gonfio: vedrai che si affloscia.

Immergi poi, reggendolo per il gambo, un fiore nell'azoto liquido. Una volta estratto se colpisci il fiore rapidamente esso andrà in frantumi, come se fosse di vetro.

COSA ACCADE?

L'azoto liquido, ha il punto di ebollizione a circa $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poiché si produce industrialmente a costi ragionevoli, è molto utilizzato per il raffreddamento di apparecchiature scientifiche, la crioconservazione di campioni biologici e vari altri

processi nei quali è necessario ottenere o conservare temperature estremamente basse. In numerosi campi della ricerca scientifica è necessario operare a basse temperature ed in particolare è usato per studiare il comportamento dei materiali superconduttori ad alte temperature critiche e in tutte le loro applicazioni (SQUID, NMR, acceleratori di particelle, ecc.).

INOLTRE...

Può essere divertente osservare il comportamento di vari materiali, una volta immersi nell'azoto liquido, per esempio elastici o palline di gomma. Cosa accade una volta tornati a temperatura ambiente?

L'azoto liquido viene usato anche in campo medico (crioterapia).

32 TRANSIZIONE SUPERCONDUTTIVA - LEVITAZIONE DIAMAGNETICA



SPERIMENTA

Dopo aver raffreddato in azoto una pasticca di YBCO_3 , se poni su essa un piccolo magnete vedrai avvenire un fenomeno molto particolare: la calamitina leviterà sospesa in aria, in una condizione di equilibrio abbastanza stabile finchè il superconduttore è a temperatura dell'azoto liquido.

COSA ACCADE?

³ L'ossido di ittrio bario e rame è il composto chimico di formula $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Il nome è comunemente abbreviato come YBCO. In condizioni normali è un solido nero insolubile in acqua, ma è molto importante essendo stato il primo materiale a mostrare proprietà di superconduttore ad una temperatura superiore a quella di ebollizione dell'azoto liquido

La superconduttività è un fenomeno fisico che avviene in alcuni materiali al di sotto di una caratteristica temperatura critica. Tale proprietà fu scoperta per la prima volta nel 1911 da Heike Kamerlingh Onnes. Tale fenomeno non è spiegabile mediante la fisica classica, ma solo mediante la meccanica quantistica. L'effetto Meissner-Ochsenfeld, cioè il fatto che tali materiali espellono il campo magnetico presente al loro interno quando al diminuire della temperatura passano nello stato superconduttore, non può essere spiegato infatti immaginando il superconduttore come un perfetto conduttore della fisica classica. Un perfetto conduttore classico espelle per la legge di Faraday un campo magnetico se posto in un campo magnetico: ma nella transizione non vi è nessuna variazione del campo applicato ed il campo magnetico viene espulso.. Quando un superconduttore viene immerso in un campo magnetico di intensità inferiore ad un certo valore critico, esso manifesta infatti un diamagnetismo perfetto, espellendo il campo magnetico dal suo interno; ciò avviene tramite la generazione di correnti superficiali che inducono, all'interno del superconduttore, un campo magnetico opposto a quello applicato. Si genera così una repulsione con il magnete che rende possibile la levitazione.

INOLTRE

Su questo principio puoi sperimentare anche il prototipo di treno a levitazione magnetica. Prova a far “viaggiare” la pasticca di YBCO lungo la pista magnetica realizzata. Su tale principio si basano i treni a levitazione magnetica realmente funzionanti in alcuni paesi.



Un uso tipico dei superconduttori è per costruire bobine di magneti: l'uso di cavi superconduttori ne riduce di molto le dimensioni, il peso e il consumo di energia a parità

di intensità di campo magnetico. Ovviamente la costruzione e il funzionamento di un magnete superconduttore è molto più costosa, richiedendo che sia mantenuto ad una temperatura inferiore a quella critica. Una tipica applicazione di questo tipo riguarda la realizzazione dei grandi toroidi dei sistemi clinici di risonanza magnetica nucleare.

I superconduttori sono stati usati in condizioni sperimentali anche su grande scala in grandi macchine come gli acceleratori del CERN, sono utilizzati in cavi conduttori del LEP o dell'LHC dove sono in gioco enormi flussi di corrente ed enormi campi magnetici.

Michelini M, Stefanel A, Santi L (2014) High school students analyzing the phenomenology of superconductivity and constructing model of the Meissner effect, in Tasar M. F. ed., Proceedings of The WCPE 2012, Istanbul: Pegem Akademi, 1253-1266

Materiale supplementare S 1

Mini-intervista al Dirigente Tecnico Miur Massimo Esposito¹

Gent.mo Ispettore Esposito,

siamo in un momento di cambiamento per la scuola italiana. Vorremmo rivolgerLe due domande per raccogliere il suo parere su argomenti di grande attualità per l'insegnamento della fisica nella scuola secondaria di secondo grado.

Lei, fra i vari impegni che la vedono in prima linea sui cambiamenti normativi e sulla loro applicabilità nella didattica, ha partecipato al tavolo tecnico² che ha definito il Quadro di Riferimento della II prova di Fisica dell'esame di Stato per i Licei Scientifici, ed è referente delle relative conferenze di servizio con le scuole per gli USR. Per la fisica in particolare, lo spirito dell'innovazione sul modo di insegnare ed apprendere si concretizza forse proprio nella nuova seconda prova scritta del liceo scientifico. Attualmente, Lei è impegnato con il Ministero (mi sembra sempre mantenendo il contatto diretto con la realtà scolastica e con i docenti stessi³), in tale processo di cambiamento, che naturalmente non riguarda la sola prova finale ma tutto il processo di apprendimento di cui l'esame di stato non è che il momento conclusivo. Cosa vuole dirci a riguardo?

- *Il DM 10 del 2015 ha stabilito per lo scientifico che la seconda prova possa essere anche di fisica in alternanza con quella, storica, di matematica (e per gli indirizzi scienze applicate di scienze). La struttura della prova resta sostanzialmente ancora invariata, ma nel prossimo futuro cambierà anch'essa, col superamento della logica disciplinare. Il nuovo decreto all'esame del Parlamento parla infatti di una nuova prova, di impianto scientifico, che vada oltre la logica delle singole discipline, in coerenza con la didattica per competenze alla base del nuovo modo di far scuola. Inoltre, verrà abbattuto anche il riferimento ai*

¹ della Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici e la Valutazione del Sistema Nazionale di Istruzione

² D.D. n. 1103 del 23/10/2015

³ Con nota n. 10730 del 26 settembre 2016 il MIUR ha promosso nell'ambito del progetto LS-OSA (<http://ls-osa.uniroma3.it/pages/posts/1>) una serie di conferenze di servizio regionali destinate a docenti di Matematica e Fisica dei Licei Scientifici. L'obiettivo di tali conferenze di servizio regionali, strutturate in modalità seminariale, è quello di mettere a disposizione delle scuole alcuni strumenti di lavoro finalizzati all'individuazione di strategie risolutive della seconda prova scritta di Fisica e alla sua valutazione. Il programma dei seminari, che saranno svolti su tutto il territorio nazionale, prevede interventi sui seguenti argomenti:

- Il Quadro di Riferimento per la seconda prova di Fisica.
- La valutazione della Competenza in Fisica al termine del percorso liceale secondo le Indicazioni Nazionali
- Analisi di un esempio di seconda prova.
- Svolgimento e valutazione. Uso di opportune griglie di valutazione.
- Discussione sulle strategie risolutive e sugli approcci didattici in classe.

Materiale supplementare S 1

contenuti dell'ultimo anno, che risulta essere una camicia troppo stretta. Viene infatti attualmente imposto di limitarsi ad una prova su ciò che si è svolto nell'ultimo anno, nonostante si tratti della prova a conclusione di un percorso pluriennale.

Quel che comunque è certo è che per la fisica non si torna indietro, anzi si amplia ancora più lo spettro delle possibilità per quanto riguarda le prove di esame.

- *Altro tema di grande interesse sul quale vorremmo il suo parere è la didattica laboratoriale...*
- *Si, è un tema a cui la Legge 107 fa subito riferimento, possiamo dire anzi che ne è il tema centrale per quanto riguarda gli aspetti didattici.*

Nella maggior parte delle nostre scuole la nuova prova d'esame ha creato agitazione e scontento, e uno dei motivi principali ritengo che derivi proprio dal fatto che nelle nostre scuole non si fa abbastanza didattica laboratoriale né si lavora abitualmente sui problemi; in realtà purtroppo spesso siamo ad uno stadio ancora precedente, si fa quella che io chiamo la "fisica raccontata". Stiamo lavorando soprattutto a trasmettere il messaggio che la didattica laboratoriale non necessita di un vero e proprio laboratorio, si può anche raccogliendo un repertorio di esperimenti da fare con materiali poveri. Il messaggio sotteso che stiamo veicolando è che non è tanto necessario dotarsi di strumenti e strutture (che pure aiutano, naturalmente!), ma piuttosto effettuare un sostanziale cambio di mentalità nella didattica della fisica: basarsi sulla comprensione dei fenomeni piuttosto che sull'imparare delle formule. Il laboratorio non è dunque che la pratica del guardarsi criticamente intorno e, didatticamente, significa imparare a esplorare la natura; non ha sufficiente valenza andare in un laboratorio ove ci sia un tecnico preposto che mostri degli esperimenti preparati, quanto coinvolgere i ragazzi in un approccio scientifico all'osservazione della realtà. Fare esperimenti anche con materiali poveri serve certamente in tal senso agli studenti più che ascoltare passivamente una lezione ex cathedra.

Intervista telefonica raccolta a gennaio 2017.



Dipartimento di Fisica

"E.R. Caianiello"

PRINCIPALI ATTIVITA' CONDOTTE CON I DIVERTIESPERIMENTI nel triennio 2014-2016

MOSTRA INTERATTIVA DI ESPERIMENTI DI FISICA



Data e luogo	Attività	destinatari
Marzo 2014 1. ITI S Giorgio del Sannio (BN) 2. liceo di Atripalda (Av) 3. liceo di Solofra (Av)	Percorso 3 ore sui fenomeni elettromagnetici con i Divertiesperimenti	60 alunni 5 docenti 58 alunni, 4 docenti 71 alunni, 5 docenti
3-5 novembre 2014 Dipartimento di Fisica e di Matematica Università di Salerno	Nell'ambito di Futuro Remoto di Città della Scienza NA attività sperimentali con scuole superiori del territorio. classe 4 e 5 http://www.cittadellascienza.it/futuroremoto/2014/event/visita-al-dipartimento-di-fisica-e-r-caianiello-universita-degli-studi-di-salerno/?instance_id=571	Liceo scientifico Labriola Napoli 60 studenti 3 docenti Liceo scientifico da Procida Salerno 56 studenti 3 docenti Liceo Artistico Sabatini -Menna 70 studenti 4 docenti
16/1/2015 Liceo Classico e Scientifico La Mura Angri (Sa)	Evento nazionale «La notte del Liceo classico». I Divertiesperimenti in mostra ed esperimenti di Superconduttività e Criogenia -	Docenti e alunni dell'Istituto, aperto a studenti e pubblico del territorio.
Febbraio-maggio 2015 Liceo Classico e Scientifico De Sanctis (Sa)	Progetto "L'anno mondiale della Luce" Nequēunt sine luce esse colores". ciclo di cinque lezioni di due ore: attività didattiche, laboratoriali e seminariali svolte sull'ottica geometrica e ondulatoria con esperimenti reali e virtuali e Conferenze: Prof Roberto De Luca "Il futuro avrà una luce antica?" Prof. Massimo Blasone "Caos e determinismo" del Dipartimento Caianiello UniSA	30 alunni classi quarta e quinta corso B Liceo De Sanctis 6 docenti (tre matematica e fisica, tre inglese, filosofia e greco).
22-23/8/2015 Avellino	Manifestazione "in centro per il centro" - stand divulgativo con i Divertiesperimenti http://www.orticalab.it/C-entro-per-il-Centro-il-programma	Pubblico della manifestazione
13/12/2015 del Liceo Classico e Scientifico De Sanctis (Sa)	Open Day - Formazione di docenti e alunni per l'animazione di alcuni exhibit . – utilizzo di alcuni Divertiesperimenti	30 alunni e 3 docenti dell'istituto, Pubblico dell'Open Day
13/12/2015 Liceo Scientifico Severi (Sa).	Open Day utilizzo di alcuni Divertiesperimenti	30 alunni e 3 docenti dell'istituto, Pubblico dell'Open Day
A.s. 2015/2016 LICEI MATEMATICI 1. Liceo Gatto- Agropoli (Sa) 2. Liceo di Atripalda (Av) 3. Liceo Mancini – Avellino	10 ore in ciascuna scuola con utilizzo di exhibit sulla luce nell'ambito di lezioni dei moduli di fisica –	75 alunni e 3 docenti

Marzo 2016 Dipartimento di Fisica Università di Salerno	2 ore di percorso con la mostra con gli studenti del LICEO MATEMATICO Liceo Gatto- Agropoli (Sa)	48 alunni 2 docenti
Febbraio 2015 Dipartimento di Fisica Università di Salerno	Visita classe del LICEO CLASSICO DE SANCTIS -attività didattiche sulla Luce e la superconduttività con exhibit dei Divertiesperimenti di Salerno e esperimenti sulla criogenia	30 alunni 2 docenti
14/5/2015 Dipartimento di Fisica Università di Salerno	LICEO CLASSICO SCIENTIFICO LA MURA Angri (Sa) lezione frontale e multimediale (con esperimenti, video e presentazioni) dai divertiesperimenti alla meccanica quantistica ed in particolare l'effetto TUNNEL (in connessione con il PLS docenti e studenti) - visita guidata ai laboratori di ricerca (Superconduttività non convenzionale, Scanning Probe Microscopy)	25 alunni 2 docenti
A.A. 2015-2016 Università del Molise	Uso dei Divertiesperimenti per il Laboratorio di fisica a Scienze della Formazione	100 studenti-futuri docenti
3-7-settembre 2015 II SEF- scuola estiva Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno	Lezione interattiva e attività di laboratorio con i Divertiesperimenti nella prima giornata della scuola – alunni 4 e 5 liceo	50 alunni
4 marzo 2016 Città della Scienza Napoli	Stand con attività con i Divertiesperimenti all'inaugurazione nuovo edificio "corporea" a Città delle Scienza	Pubblico della manifestazione
A.S. 2015-2016 1. Liceo Sc Mancini Avellino 2. Liceo Sc Imbriani Avellino 3. Liceo Artistico Sabatini Salerno 4. Liceo Scientifico Caro Sarno SA 5. Liceo Alfano I Sa	Attività nell'ambito dell'"Enquiry Lab". Nell'ambito del Progetto europeo TEMI (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated) sono state implementate delle lezioni nelle classi con metodologia IBSE (Inquiry Based Science Education) anche con i DivertEsperimenti.	140 alunni 12 docenti
28-30/8/2016 Fisciano (Sa)	Manifestazione sull'ambiente - laboratori di riciclo creativo – stand divulgativo dei divertiesperimenti	Pubblico della manifestazione
7-11 settembre 2016 III SEF scuola estiva Dipartimento di Fisica Università di Salerno	Lezione interattiva e attività di laboratorio con i Divertiesperimenti nella terza giornata della scuola alunni 4 e 5 liceo https://www.fisica.unisa.it/index.php/it/scuola-estiva-di-fisica	35 studenti

A.A. 2016-2017 Università del Molise	Uso dei Divertiesperimenti per il Laboratorio di fisica a Scienze della Formazione	50 studenti-futuri docenti
Febbraio 2017 Dipartimento di Fisica e di Matematica Università di Salerno	2 ore di percorso con la mostra con gli studenti del LICEO MATEMATICO Liceo Gatto- Agropoli (Sa)	50 studenti, 2 docenti
A.A. 2016-2017 1. Liceo Scient Gatto Agropoli (SA) 2. Liceo Scientifico Severi Salerno	Uso dei Divertiesperimenti per il Laboratorio di fisica del Liceo Matematico	75 studenti 2 docenti
A.s. 2016-2017 Dipartimento di Fisica Università di Salerno	Partenariato con l'uso dei Divertiesperimenti nel progetto MIUR "Laboratori per i licei scientifici"	100 docenti scuola secondaria di primo e secondo grado

Legenda:

con lo sfondo celeste sono riportate le attività svolte presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno;


con lo sfondo arancio le manifestazioni aperte al pubblico generico;

con lo sfondo bianco le attività in classe, presso le scuole.

Schema riassuntivo delle principali attività svolte nel triennio 2014-2016 con la mostra "Divertiesperimenti"			
attività	quantità	Numero indicativo di studenti partecipanti	Numero indicativo di docenti partecipanti
Manifestazioni scientifiche per il vasto pubblico	6	Ordine delle migliaia (anche pubblico generico)	
Visite di studenti/docenti presso UniSa	8	400	100
Attività presso le scuole ed altri enti	16	700	100

Materiale supplementare S 3

Scheda del progetto “Nequēunt sine luce esse colores” - Comunicazione “Light: what a mystery!” alla Conferenza "Inquiry based learning and Creativity in Science Education", Atene 2015

				
ACTIVITIES	TOPICS	EDUCATIONAL STRATEGY	VENUE	Time (h)
<i>VISIT to the Research Laboratories of the Physics Department of Salerno</i>	Visit to Astronomic Observatory Seminar “Searching for Extra solar planets” Visit to Research Labs <ul style="list-style-type: none"> • Scanner Tunnel Microscopy (STM) • Superconductivity fabrication and characterization 	<ul style="list-style-type: none"> • Inquiry based learning • Discussion • Problem solving 	<i>Physics Department of Salerno</i>	4
<i>Natural phenomena Modelling</i> <ul style="list-style-type: none"> • Inquiry based Learning • From the experiments to phenomenological hypothesis 	Geometrical Optic <ul style="list-style-type: none"> • Reflection- refraction Wave structure of the Light <ul style="list-style-type: none"> • diffraction and interference 	<ul style="list-style-type: none"> • Cooperative Learning • Inquiry based learning • Discussion • Problem solving 	<i>Liceo “De Sancits”</i>	2
	Exibits: ' the polarized light'- the Newton ring – the nature of the light and colours – ondulatory phenomena		Media Lab	2
	Energy and light		Experimental Lab	2
	Vision and perception – the colors			2
Seminar	“Chaos and Determinism”	Seminar	Aula Magna	1
Seminar	“Will have the future an ancient light?”	Discussion		1



Dipartimento di Fisica

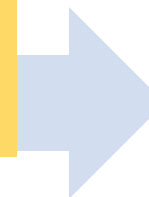
“E.R. Caianiello”

Immacolata D'Acunto
Dottorato XXIX ciclo in Fisica

Copertine delle
principali
Comunicazioni

a Convegni
Nazionali ed
Internazionali

di Didattica
della Fisica





Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

light: what a mystery!

I. D'Acunto, R. De Luca, M. Blasone

Università degli Studi di Salerno, Italy

idadacunto@unisa.it, rdeluca@unisa.it, mblasone@unisa.it

Inquiry based learning
and Creativity
in Science Education



Athens, Greece 9-10 October 2015



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"



54° CONGRESSO NAZIONALE A.I.F.

21-24 ottobre 2015 Trento



**INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015**

***Fabrizio Bobba¹, Immacolata D'Acunto^{1,2}, Paolo Frallicciardi²,
Canio Noce¹, Aniello Saggese¹***

¹Dip. di Fisica "E. Caianiello", Università degli Studi di Salerno

² Liceo Scientifico La Mura, Angri (SA)

UN "TUNNEL" FRA PLS DOCENTIE PLS STUDENTI

Come raccordare PLS docenti e PLS studenti? Attraverso l'effetto tunnel ovvio!



Città della Scienza Napoli
30 ottobre 2015



Immacolata D'Acunto^{1,2}, Paolo Frallicciardi²,

¹Dip. di Fisica "E. Caianiello", Università degli Studi di Salerno

² Liceo Scientifico La Mura, Angri (SA)

EFFETTO TUNNEL: DAL PLS DOCENTI AL PLS STUDENTI

LICEO
SCIENTIFICO
P.S. MANCINI
AVELLINO



VI INVITA ALLA

PRIMA SETTIMANA SCIENTIFICA

DAL 25 AL 29
GENNAIO 2016

Aula Magna Via De Concilii - Avellino

LUNEDÌ

25

GENNAIO

ORE 16:00

“L'UNIVERSO PRIMA E DOPO EINSTEIN”

prof. **Antonio Feoli**
(Università degli Studi del Sannio)

GIOVEDÌ

28

GENNAIO

ORE 16:00

“I MONDI IMPOSSIBILI DI LEIBNIZ E I VIAGGI NEL TEMPO”

prof. **Gabriele Perrotti**
(Università degli Studi di Salerno)

MARTEDÌ

26

GENNAIO

ORE 16:00

“DALLA CANDELA AL LED”

prof. **Pietro Cerreta**
(associazione Scienza Viva)
prof. **Enzo Favale**
(associazione Scienza Viva)
prof. **Roberto Capone**
(Università degli Studi di Salerno)
prof. **Immacolata D'Acunto**
(Università degli Studi di Salerno)

VENERDÌ

29

GENNAIO

ORE 16:00

“EINSTEIN: NUOVI PERCORSI E NUOVE FRONTIERE PER LA MUSICA DEL SECOLO XX”

Prof. **Maria Gabriella Della Sala**
(Conservatorio Statale di Musica
“Domenico Cimarosa” di Avellino)
con la partecipazione di un duo
violino e pianoforte:
Maria Carmela Lipizzi (violino)
e Livia Guarino (pianoforte),
allieve del Conservatorio
“Cimarosa” di Avellino

MERCOLEDÌ

“UNO ZOOM NELL'INVISIBILE: LE NANOTECNOLOGIE”

26-1-2016 LICEO SCIENTIFICO MANCINI Avellino
I settimana scientifica

Immacolata D'Acunto
«Ricerca in didattica e didattica della fisica
Osservazioni alla luce della L107»



Inquiry sugli effetti ottici nei templi di Paestum: una esperienza didattica

*I ragazzi del «Liceo Matematico»
studiano il mondo che li circonda,
con attenzione ai fenomeni fisici sul proprio territorio*

I. D'Acunto, R. Capone, R. De Luca



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

Università degli Studi di Salerno





Dipartimento di Fisica "E.R. Caianiello"

Università degli Studi di Salerno, Fisciano (SA), Italy

<http://www.fisica.unisa.it>

Analogo meccanico di una Giunzione Josephson sovrasmorzata

Roberto De Luca rdeluca@unisa.it

Immacolata D'Acunto idacunto@unisa.it

Roberto Capone rcapone@unisa.it



Roma 25 settembre 2015



Brownian motion: an interdisciplinary teaching proposal

Capone. R., D'Acunto I., Dello Iacono U., Del Regno F.
Department of Physics, University of Salerno (Italy)





Associazione
per l'Insegnamento
della Fisica



55° congresso AIF L'Aquila 12-16 ottobre 2016

“La mostra “Divertiesperimenti” come ponte tra
l'apprendimento non formale e il formale

I. D'Acunto, S. Pace

Dipartimento di Fisica «E. R. Caianiello» Università degli Studi di Salerno

Convegno internazionale «Didattica e saperi disciplinari» dicembre 2016

L'Inquiry Based Science Education: il caso-studio salernitano

*Immacolata D'Acunto¹, Roberto Capone¹, Rosa Vegliante², Marco
Gilberti³, Sara Barbieri³, Marina Carpineti³,*

*¹Dipartimento di fisica, Università degli Studi di Salerno, ²Dipartimento di Scienze Umane,
Filosofiche e della Formazione, Università degli Studi di Salerno, ³Dipartimento di fisica
Università di Milano*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



DIPARTIMENTO DI FISICA
"E.R. CAIANIELLO"

Didattica e divulgazione:
elementi per comunicare e insegnare più efficacemente la matematica e la fisica che, sebbene vengano percepite come inaccessibili da molti, sono sia dentro che fuori di noi!

Matematica e Fisica: dentro e fuori noi

Giovanni Filocamo

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Curatore di iniziative di formazione e divulgazione.
Project Manager di "MateFitness - La palestra della matematica"
progetto di divulgazione e ricerca. Autore di per Feltrinelli.

Lunedì 26/01/2015 ore 15.00

AULA P5

Facoltà di Scienze FF. MM. NN.



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

Seminario

22/4/2015 ore 15:30

aula S3 - II piano - St.9

Prof. Emilio Balzano

(Ricerca in Didattica della Fisica Università Federico II di Napoli)

**"La ricerca e la sperimentazione per
migliorare l'apprendimento e
l'insegnamento della fisica"**

riorganizzazione dell'insegnamento della fisica con metodologia del
"Design Experiment": progettazione dettagliata (engineering) di
percorsi e studio sistematico delle forme di apprendimento

Dipartimento di Fisica "E. R. Caianiello" <http://www.fisica.unisa.it/index.php/it/>
Università degli Studi di Salerno Via Giovanni Paolo II, 132, Stecca 9 I 84084 Fisciano
(SA) - Italy Tel. +39 089 969144 - Fax +39 089 969658



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

Università degli Studi di Salerno, Fisciano - SA

Aula S 4 - Dipartimento di Fisica - stecca 9 - II piano

16 dicembre 2015 ore 16.00 -17.30

SEMINARIO

“Una illuminante didattica delle scienze”

Idee per la didattica delle scienze

Presentazione di video sugli esperimenti del Festival *Science on Stage, Londra 2015*



PIETRO CERRETA

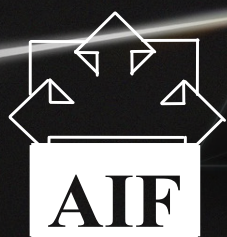
Ha tradotto in italiano lo *Snackbook* dell'Exploratorium di S. Francisco, con il titolo *Gli esperimenti dell'Exploratorium*, Zanichelli, 1996. Ha realizzato, con colleghi e artigiani di Calitri, la collezione di

Exhibit interattivi della mostra scientifica itinerante *Le ruote quadrate*. E' tra i soci fondatori di *ScienzaViva*, Associazione per la divulgazione della cultura scientifica. Ha pubblicato lavori didattici, storici e scientifici che divulgano in Italia e all'estero.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
7-11 SETTEMBRE 2015, FISCIANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

Scuola estiva di Fisica SEF 2015



La partecipazione alla Scuola Estiva di Fisica, edizione 2015 (SEF 2015), prevede una serie di attività in presenza: lezioni, seminari ed attività di laboratorio presso il Dipartimento di Fisica (DF) dell'Università degli Studi di Salerno. È prevista l'ospitalità dei partecipanti presso le residenze universitarie dell'EDISU del campus di Fisciano.

PROGRAMMA

Le attività comprendono:

- Lezioni, sessioni esercitative e seminari tenuti dai docenti dell'AIF e dell'Università degli Studi di Salerno
- Visite ai laboratori di ricerca dell'Università

Le attività laboratoriali comprendono

- Ottica geometrica: riflessione e rifrazione
- Diffrazione e interferenza
- Polarizzazione
- Strumentazione ottica
- Osservazioni astronomiche
- Cenni di ottica quantistica

DOCENTI DEL CORSO

V. Bozza, R. Capone, R. Citro,
I. D'Acunto, R. De Luca, A. De Santis,
O. Faella, O. Fiore, A. Merinio,
C. Noce, A. Vanacore, A. Saggese, D. Zola

COMITATO ORGANIZZATORE

Prof.ssa R. Citro, Prof. R. De Luca
Prof.ssa A. De Santis, Prof. O. Faella

Con la partecipazione del Direttore del Dipartimento di Fisica S. Pace, del Presidente della commissione didattica A. Romano e del prof. emerito G. Scarpetta.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
DIPARTIMENTO DI FISICA "E.R. CAIANIELLO"

23-24 NOVEMBRE 2015, FISCIANO

CICLO DI WORKSHOP

Professional development dei docenti della
scuola superiore di II grado

ENQUIRY LAB

A cura di
Marco Gilberti e Sara Barbieri

Gruppo di Ricerca di didattica della
Fisica-Dipartimento di Fisica
Università degli Studi di Milano

Nell'ambito del Progetto europeo **TEMI** (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated) saranno proposte riflessioni sull'**IBSE** (Inquiry Based Science Education) e attività che affrontano aspetti scientifici particolarmente coinvolgenti e collegati alla risoluzione di "misteri" scientifici.

Il corso si svolgerà in 4 incontri:

23 novembre 2015 ore 15-19

24 novembre 2015 ore 15-19

Febbraio 2016 (due date da definire)

Aula Seminari

Dipartimento di Fisica - stecca 9 - IV piano

Università degli Studi di Salerno

via Ponte don Melillo 132

84084 Fisciano SA

<http://www.fisica.unisa.it>

Referenti del progetto

Prof.ssa R. Citro, Prof. R. De Luca

Organizzatori

Immacolata D'Acunto idacunto@unisa.it

Roberto Capone rcapone@unisa.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
DIPARTIMENTO DI FISICA "E.R. CAIANIELLO"

14-15 MARZO 2016, FISCIANO

CICLO DI WORKSHOP

Professional development dei docenti della
scuola superiore di II grado



ENQUIRY LAB

A cura di
Marco Giliberti e Sara Barbieri

Gruppo di Ricerca di didattica della
Fisica-Dipartimento di Fisica
Università degli Studi di Milano

Nell'ambito del Progetto europeo **TEMI** (Teaching Enquiry with Mysteries Incorporated) saranno proposte riflessioni sull'**IBSE** (Inquiry Based Science Education) e attività che affrontano aspetti scientifici particolarmente coinvolgenti e collegati alla risoluzione di "misteri" scientifici.

**Aula Seminari - Dipartimento di
Fisica - stecca 9 - IV piano
14 e 15 marzo 2016 ore 15-19**

Università degli Studi di Salerno
via Ponte don Melillo 132
84084 Fisciano SA
<http://www.fisica.unisa.it/>

Referenti del progetto

Prof.ssa Roberta Citro, Prof. Roberto De Luca

Organizzatori

Roberto Capone

rcapone@unisa.it

Immacolata D'Acunto

idacunto@unisa.it





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
5-9 SETTEMBRE 2016, FISCIANO
DIPARTIMENTO DI FISICA

Scuola estiva di Fisica SEF 2016



Dal 5 al 9 settembre 2016 si svolgerà a Fisciano, presso l'Università degli Studi di Salerno, la terza edizione della Scuola Estiva di Fisica per studenti delle attuali classi III e IV delle Scuole Secondarie di II grado, organizzata nell'ambito del Progetto Lauree Scientifiche (PLS) del Dipartimento di Fisica dell'Ateneo, in collaborazione con l'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF)

PROGRAMMA

Le attività comprendono:

- Lezioni, sessioni esercitative e seminari tenuti dai docenti dell'AIF e dell'Università degli Studi di Salerno
- Visite ai laboratori di ricerca dell'Università

Le attività laboratoriali comprendono

- Statica
- Meccanica del corpo rigido
- Ottica geometrica: riflessione e rifrazione
- Diffrazione e interferenza
- Osservazioni astronomiche
- Cenni di ottica quantistica

COORDINATRICE PLS

I. Rabuffo

DOCENTI SEF

V. Bozza, A. Nigro, C. Noce, I. Rabuffo

DOCENTI (preparazione delle attività di laboratorio)

A. De Santis, O. Faella, A. Saggese

DOCENTI (attività di orientamento)

R. Capone, R. Casarella, I. D'Acunto, M.R. Del Sorbo, R. De Luca, O. Fiore, A. Merinio, F. Serpico

STUDENTI (tutors)

L. Angrisani, F. Luciano, M. Modestino, G. Spasov, A. Sullo

COMITATO ORGANIZZATORE

R. De Luca, A. De Santis, O. Faella

SEGRETERIA

G. Iannaco

Con la partecipazione del Direttore del Dipartimento di Fisica Roberto Scarpa



Progetto LS-OSA: Nuove idee per la didattica laboratoriale

Invito all'evento di formazione presso il Liceo "Alfano I" di Salerno in data 7 marzo 2017

Il progetto LS-OSA: "Nuove idee per la didattica laboratoriale" è stato promosso dal MIUR in collaborazione con l'Accademia delle Scienze di Torino (bando trasmesso con nota MIUR Prot. 11369 del 12/11/2015).

Il liceo "A. Gatto" di Agropoli è scuola coordinatrice.

Obiettivo precipuo del progetto è quello di implementare la didattica laboratoriale nell'ambito dell'iniziativa LS-OSA, promossa dalla Direzione Scolastica, proponendo l'elaborazione di esperienze di laboratorio «povero» con la realizzazione di materiale didattico organizzato in KIT trasportabili.

Esperti selezionati con apposito bando dal liceo "A. Gatto" hanno preparato KIT corredati da materiali didattici che guidano gli utenti al loro uso.

I materiali didattici sono percorsi che sottendono una metodologia di tipo costruttivista, tutte le attività partono dall'osservazione di fenomeni osservabili nella vita quotidiana.

Sono stati preparati i seguenti KIT:

FISICA – N° 4 KIT	CHIMICA – N° 3 KIT	BIOLOGIA – N° 4 KIT	SCIENZA DELLA TERRA – N° 2 KIT
<ol style="list-style-type: none"> 1. Le forze e il movimento 2. Temperatura e Calore 3. Statica dei fluidi e il galleggiamento 4. Luce e colori 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Struttura della materia: atomi e molecole 2. Le reazioni chimiche 3. Acidi, basi e Sali 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La cellula 2. Tuberi e trasporti: l'osmosi 3. L'albero genealogico della nostra classe 4. Risolvi un caso con l'uso della cromatografia 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Terremoti e vulcani 2. Il sistema solare

Durante l'evento di formazione, i docenti che parteciperanno, sotto la guida degli esperti, potranno sperimentare i contenuti dei KIT che, essendo realizzati con materiali di facile reperibilità, possono essere facilmente riprodotti.

I docenti in formazione potranno scegliere di provare alcuni segmenti dei percorsi proposti nelle loro classi, assistiti a distanza dagli esperti che li hanno prodotti (sarà aperto uno spazio web dedicato a questa attività) e in presenza dai docenti referenti presso le scuole della rete che sono:

- Liceo "A. Gatto" di Agropoli
- Liceo "Alfano I" di Salerno
- Liceo "Tito Lucrezio Caro" di Sarno

Per fine aprile è previsto un incontro in cui verrà condivisa l'esperienza di sperimentazione con i KIT in classe. A settembre 2017 verrà organizzata ad Agropoli una giornata della scienza nel corso della quale verranno presentati ad un pubblico più ampio i KIT e l'esperienza didattica dei docenti che sono stati coinvolti nella sperimentazione. Ai docenti che parteciperanno a tutte le iniziative previste sarà rilasciato un attestato che certificherà **25 h di formazione**.

Tutto il materiale prodotto: percorsi didattici, esiti della sperimentazione, valutazione dell'esperienza, implementeranno la piattaforma ministeriale «Fare laboratorio» <http://ls-osa.uniroma3.it>.

Le iscrizioni all'evento sono aperte: è possibile iscriversi, compilando l'apposito modulo, all'indirizzo: <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/iscrizione-allevvento-di-formazione/>

Per ogni altra informazione, visitare il sito: <http://didatticalaboratoriale.altervista.org/> o inviare un messaggio all'indirizzo di posta elettronica: ernesta.demasi@vodafone.it

Ai partecipanti verrà rilasciato attestato di partecipazione.

Programma dell'evento:

14:00 - 14:30 Registrazione partecipanti

14:30 - 14.45 Apertura dei lavori – saluti del d. s. del liceo “Alfano I” prof.ssa Elisabetta Barone e del d. s. del liceo “A. Gatto” prof. Fortunato Ricco; saluti delle autorità

14:45 - 15:15 Conferenza plenaria: Il ruolo del laboratorio nella didattica delle scienze

15:15 - 15:45 Presentazione del progetto – prof.ssa Ernesta De Masi

15:45 - 16:00 Pausa

16:00 – 18:30

Quattro Laboratori paralleli a gruppi

Uso KIT di fisica, chimica, biologia e scienze della Terra

Laboratori coordinati dai docenti produttori dei KIT, dai quattro docenti nominati nelle scuole partner e dai giovani laureati dell'associazione PONYS.

18:30 – 19:00 Conclusioni

I partner del progetto

- LICEO «A. GATTO» di Agropoli **scuola capofila**
- LICEO «ALFANO I» di Salerno
- Liceo “Tito Lucrezio Caro” di Sarno
- DIPARTIMENTO di Fisica “Caianiello” Università degli studi di Salerno
- ASSOCIAZIONE “Scienza e Scuola”- Napoli
- A.I.F. ASSOCIAZIONE per l'insegnamento della Fisica sez. Salerno
- ASSOCIAZIONE CULTURALE “Scienza Viva” - Calitri (AV)
- ASSOCIAZIONE “PONYS”- Napoli



Progetto LS-OSA

Evento intermedio di valutazione

Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello”

Università degli Studi di Salerno – Fisciano - aule S3 e S4

2 maggio 2017

- 15:00 - 15:30 Registrazione partecipanti (aula S4)
- 15:30 - 15:40 Apertura dei lavori (aula S4)
- 15:40 - 16:15 Conferenza plenaria: **L'innovazione didattica nelle discipline scientifiche: spunti per una didattica laboratoriale delle scienze sperimentali.** (aula S4)
Prof. Vincenzo Boccardi
Dirigente Scolastico - Responsabile Nazionale Olimpiadi delle Scienze Naturali –
CTS PON Educazione Scientifica Indire
- 16:15 - 16:30 Premiazione Olimpiadi della Fisica – a. s. 2016/17 (aula S4)
- 16:45 - 17:45 Gruppi di lavoro in parallelo (Fisica, Chimica, Biologia e Scienze della Terra) (aule S3 e S4)
- 18:00 - 19:00 Visita ai “Divertiesperimenti” (mostra interattiva didattica presso il Dipartimento “E. R. Caianiello” di Fisica di Fisciano) e ad un altro laboratorio di ricerca
- 19:00 Conclusione dei lavori e consegna attestati

Scheda di Laboratorio: LA LUCE POLARIZZATA

In questa attività di Laboratorio (durata 4 ore) si osservano fenomeni tipici della NATURA ONDULATORIA DELLA LUCE. L'occhio umano non percepisce questo fenomeno, per questo gli effetti ottici che si osservano con opportuni filtri producono sorpresa!

Dopo aver osservato le proprietà dei filtri polarizzatori si studia in maniera quantitativa il comportamento della luce che attraversa un filtro, tramite un secondo filtro, che funge da analizzatore. Guidiamo a ricavare dalla sperimentazione la LEGGE DI MALUS. (vedi appendice)

I. OSSERVAZIONE: la luce ed i Polarizzatori

Materiali disponibili:

- FILTRI POLARIZZATORI (Polaroid)
- Fonti luminose (lampada a filamento, laser)

1 Dopo aver manipolato i filtri e sperimentato il loro comportamento rispetto alla luce come ritieni più utile, rispondi a queste domande:

- Cosa succede alla luce che passa attraverso un filtro?

- E se i filtri sono due?

- E traslando e ruotando due polaroid uno rispetto all'altro?

2 Quali altre domande ti sei posta/o durante l'osservazione e che risposte hai ipotizzato?

II. Alla ricerca della legge di Malus

Avrai osservato che l'intensità della luce trasmessa varia a seconda dell'angolo di rotazione tra un massimo e 0 (in questo caso, che si ottiene con una rotazione di 90° , non passa luce), con periodicità di 180° .

• Si può quindi ipotizzare che l'intensità trasmessa vari in funzione dell'angolo con cui sono ruotati i polaroid.

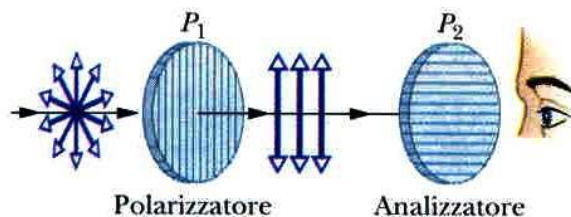


Fig 1 schematizzazione del fenomeno della polarizzazione della luce

Materiale:

- Banco ottico
- filtro polaroid fisso
- filtro polaroid su un sostegno rotante graduato (analizzatore);
- sorgente luminosa (nel nostro caso lampadina a filamento incandescente);
- fotometro (misuratore di intensità luminosa)
- carta millimetrata

Procedimento: allineati la sorgente di luce, i due polaroid e il sensore (la distanza di questo dalla sorgente deve essere mantenuta costante, altrimenti va considerata anche la legge dell'inverso quadro della distanza), si effettuano le misure dell'intensità trasmessa ruotando man mano solo un filtro.

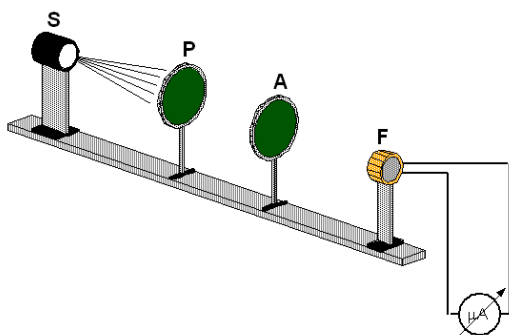


Fig 2 a) schema dell'apparato sperimentale b) foto del banco sperimentale per la verifica della legge di Malus.

Materiale supplementare S 6

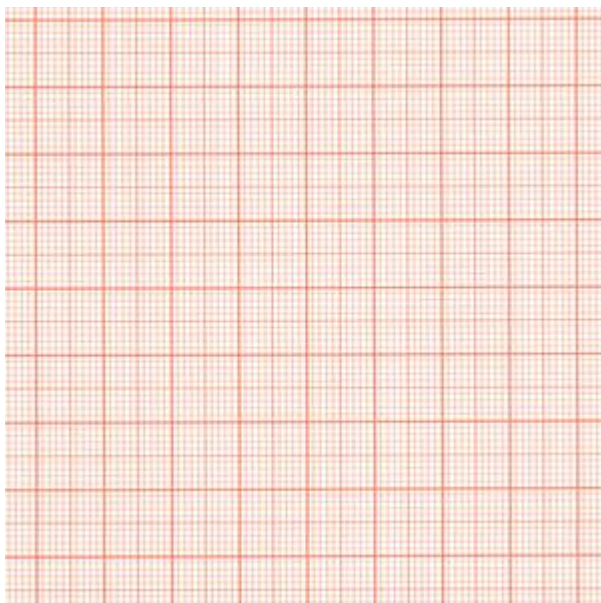
Misura ora l'intensità luminosa che viene trasmessa dal filtro analizzatore facendo variare l'angolo tra esso ed il primo filtro polarizzatore fisso. Compila le prime due colonne della seguente tabella:

TABELLA DATI SPERIMENTALI

Angolo (°)	Intensità I (mW) *		

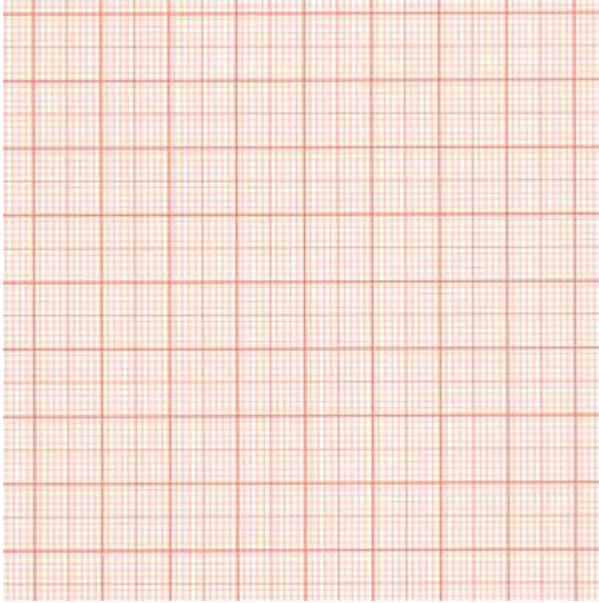
*Il nostro strumento misura in realtà la potenza irradiata ma, a parità di superficie, essa "corrisponde" all'intensità

Elaborazione dati: traccia ora nel riquadro millimetrato il grafico dell'intensità I in funzione dell'angolo relativo di inclinazione tra gli assi di trasmissione dei filtri. Che andamento ha?



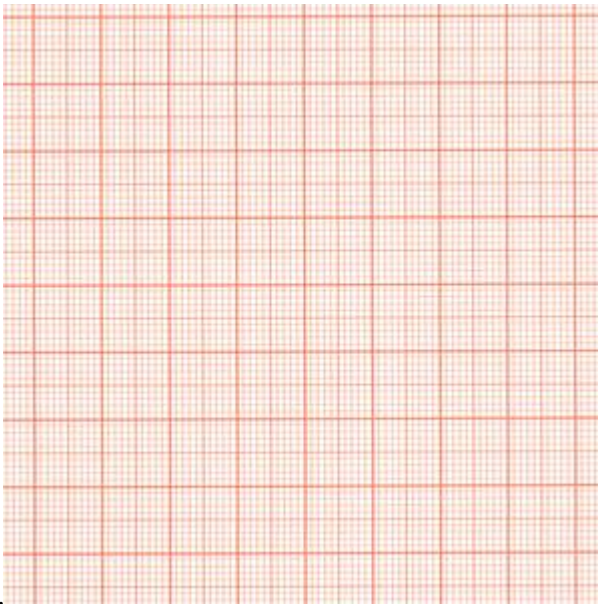
Aggiungi in tabella la colonna con la funzione che hai identificato e traccia un nuovo grafico con I in funzione di essa

Materiale supplementare S 6



Che andamento riscontri?

Calcola in tabella la colonna con tale nuova funzione e traccia infine il grafico di I rispetto ad essa



Conclusioni

Dunque hai verificato che l'intensità luminosa I trasmessa da un filtro polarizzatore dipende dall'angolo di trasmissione del filtro polarizzatore usato. Secondo quale legge?

III. Osservazione: i polarizzatori ed il colore



Fig 3

foto dell'exhibit "luce polarizzata e colore" della mostra "Divertiesperimenti" del dipartimento di fisica "Caianiello" dell'Università degli studi di Salerno

Materiali

- Filtri polarizzatori
 - Scotch
 - Supporto di plexiglas per scotch
-
- Osserva e descrivi cosa accade interponendo lo scotch fra due filtri

 - Fai variare lo strato di scotch e descrivi cosa noti

 - Fai un'ipotesi su cosa lega luce e colore e descrivi dunque quel che accade

Materiale supplementare S 6

Un po' di teoria sulla **LUCE POLARIZZATA**

I polaroid compiono sulla luce un'azione detta «polarizzante». **In che cosa consiste?**

La luce, come ogni onda elettromagnetica, è trasversale (la vibrazione è perpendicolare alla direzione di propagazione).

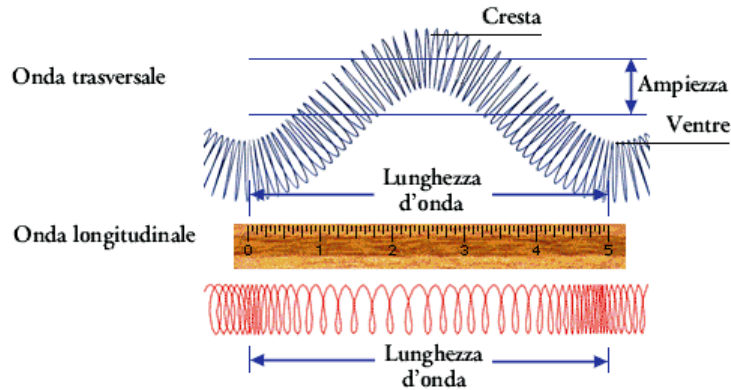


Fig 4 descrizione delle caratteristiche delle onde

Il campo elettrico (come quello magnetico) oscilla perpendicolarmente rispetto al piano di propagazione. Se il campo magnetico viene “costretto” in qualche modo a oscillare lungo solo un piano fisso, allora la luce si dice **polarizzata linearmente**.

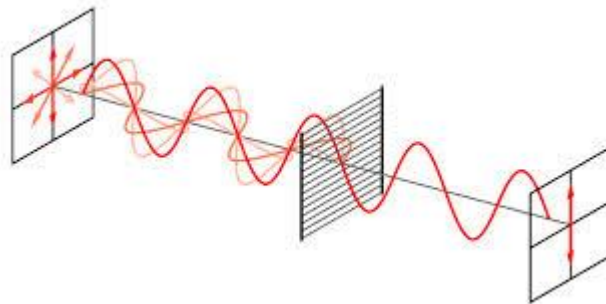


Fig 5 schematizzazione dell'effetto del passaggio attraverso due filtri polarizzatori successivi di un pacchetto di onde non polarizzate.

Come si può ottenere la luce polarizzata?

Con uno dei seguenti metodi:

- Assorbimento
- Riflessione
- Diffusione
- Birifrangenza

Materiale supplementare S 6

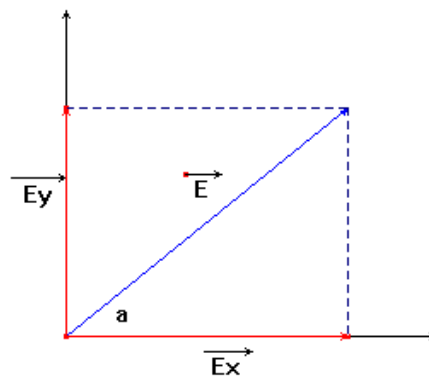
I polaroid, formati da lunghe catene idrocarburiche che vengono allineate e stirate in una direzione durante il processo di fabbricazione, polarizzano per assorbimento. La luce viene così “costretta” ad attraversare il polaroid solo parallelamente alla direzione lungo cui le catene vengono stirate. Questa direzione è detta asse di trasmissione.

La legge che descrive la dipendenza dell'intensità luminosa dall'angolo fra la direzione di polarizzazione della luce incidente e l'asse di trasmissione del polaroid può essere espressa secondo la **legge di Malus**.

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha$$

dove I_0 è l'intensità della luce che investe il polaroid, mentre α l'angolo relativo tra gli assi di trasmissione. L'angolo può essere solo relativo, perché avendo a disposizione solo un polaroid (detto polarizzatore) non è determinabile l'asse di trasmissione in modo assoluto. È necessario infatti disporre di un secondo polaroid (analizzatore) per determinarlo.

Abbiamo già detto che l'onda elettromagnetica luminosa presenta un campo elettrico che vibra in un piano perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda. Il vettore campo elettrico può quindi essere scomposto in due componenti,



Nella figura l'asse di propagazione dell'onda è quello z perpendicolare al foglio.

Dopo la polarizzazione solo una delle componenti del vettore campo elettrico rimane, per esempio $E_x = E \cdot \cos \alpha$

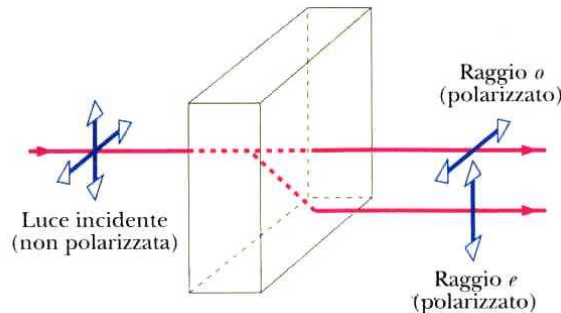
L'intensità di un'onda dipende dal quadrato dell'ampiezza. Nell'equazione di un'onda elettromagnetica l'ampiezza viene sostituita con il vettore campo elettrico, quindi l'intensità è proporzionale al quadrato del vettore campo elettrico:

Materiale supplementare S 6

$$I = k \cdot E^2 = k \cdot E_0^2 \cdot \cos^2 \alpha$$

Che spiega la diretta proporzionalità tra l'intensità e il quadrato dell'angolo.

Polarizzazione per Birifrangenza



La luce naturale, abbiamo detto, oscilla in tutte le direzioni. Può però essere polarizzata, oltre che per assorbimento, anche per BIRIFRANGENZA. In natura ci sono molti esempi di materiali birifrangenti, come le ali delle libellule e la calcite. Molti altri, come il cellophane e lo stesso scotch (in generale materiali ottenuti tramite una deformazione per trazione- stress) hanno questa proprietà ottica: la polarizzazione produce in essi effetti colorati molto belli da osservare per l'occhio umano.

Spiegazione: la legge di Snell è valida solo per mezzi isotropi: in un cristallo birifrangente (non isotropo) la luce incidente si scompone in due raggi:

- il raggio *ordinario* che segue la legge di Snell ed è sempre polarizzato nella direzione perpendicolare al piano che contiene il raggio incidente e l'*asse ottico*.
- il raggio *straordinario* che non segue la legge di Snell, è polarizzato in direzione perpendicolare al raggio ordinario ed ha indice di rifrazione n_s variabile a seconda della direzione.

Le componenti dei raggi rifratti che emergono dal mezzo birifrangente vibrano sullo stesso piano ma sono polarizzate perpendicolarmente e viaggiano a diversa velocità: emergono con una differenza di fase e dunque si hanno fenomeni di interferenza (costruttiva/distruttiva) e il materiale risulta così colorato.

Riferimenti

1. Michellini M., Ragazzon R., Santi L., Stefanel A., (2000), Proposal for quantum physics in secondary school, *Physics Education*, 35 (6), pp. 406-410.
2. <http://instructor.physics.lsa.umich.edu/int-labs/Chapter4.pdf>
3. www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/file_PLS/Polarizzazione.pdf

n.b. Le foto sono di Immacolata D'Acunto, le altre immagini sono reperite in rete



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

SCUOLA ESTIVA DI FISICA 2016 Cara/Caro studentessa/studente, ti saremo grati se
risponderai, anonimamente, al QUESTIONARIO sui DivertiEsperimenti

- 1) Pensi che la fisica abbia a che fare con la tua vita quotidiana:
 - A. Per nulla
 - B. Qualche volta, ad esempio....
 - C. Spesso, ad esempio.....

- 2) Pensi che siano importanti le attività sperimentali per l'apprendimento?
 - A. Non sono fondamentali, preferisco la lezione tradizionale e lo studio sui libri
 - B. Abbastanza importanti.
 - C. Molto importanti.
 - D. Sono la cosa più importante.

- 3) Qual è l'esperimento che hai fatto a scuola o altrove che ti è rimasto impresso di più?
 - A. Nessuno, mai fatti esperimenti
 - B. L'esperimento....

- 4) Il percorso dei "Divertiesperimenti" che hai sperimentato nel suo complesso ti è sembrato:
 - 1 2 3 4 5 (1= molto negativo; 5 = molto positivo)
 - 1 2 3 4 5 (1= molto inutile 5 = molto utile)

- 5) I contenuti trattati:
 - A. erano già di tua conoscenza
 - B. non erano di tua conoscenza
 - C. erano in parte di tua conoscenza, ma sono stati approfonditi

- 6) La modalità interattiva di affrontare le tematiche ti sembra utile?:
1 2 3 4 5 (1= molto inutile; 5 = molto utile)

- 7) Rispetto alla modalità tradizionale di insegnamento, la sperimentazione con la mostra interattiva ti ha dato stimoli differenti? Si no

- 8) Quale momento/esperimento del percorso ti è sembra più efficace?

Quale meno?

- 9) Ritieni che l'utilizzo di esperimenti come quelli che ti abbiamo proposto possa aiutare ad imparare?
SI No
Spiega brevemente perché

Materiale supplementare S 7 – Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e alcuni risultati

10) Ritieni che attività di questo tipo siano utili per la tua formazione e che, quindi, debbano essere proposti anche nei prossimi anni? Si No

11) Infine, per aiutarci a migliorare l'organizzazione di eventi futuri simili a quello a cui hai preso parte, prova a dare dei suggerimenti

Materiale supplementare S 7 – Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e alcuni risultati

Seguono alcuni grafici sui risultati ottenuti al termine del percorso con i DivertiEsperimenti presso l'Università di Salerno su un **campione di 25 alunni della Scuola Estiva di Fisica SEF 2016** (iscritti alle classi IV o V liceo).

Quasi un terzo degli studenti dichiara di non aver mai fatto esperimenti (figura 1) a scuola o altrove, pur ritenendo che la fisica abbia a che fare con l'esperienza quotidiana (figura 2) e che le attività sperimentali siano un aspetto molto importante del processo di apprendimento. (figura 3).

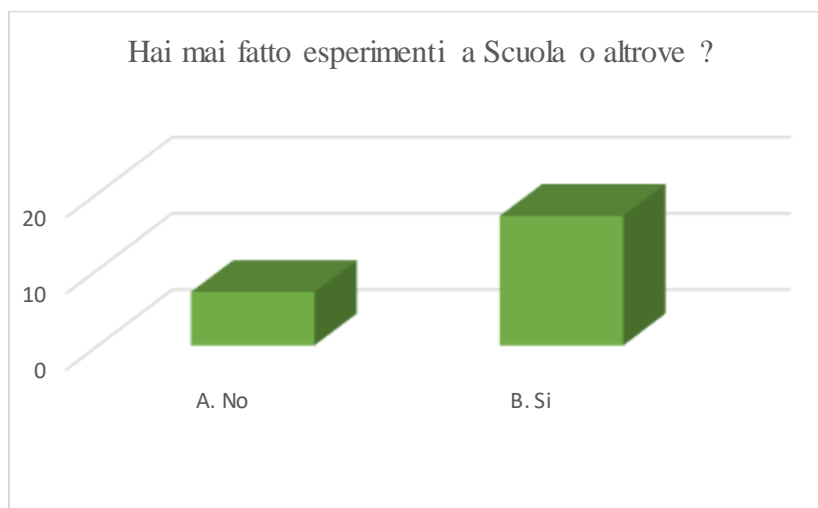


figura 1

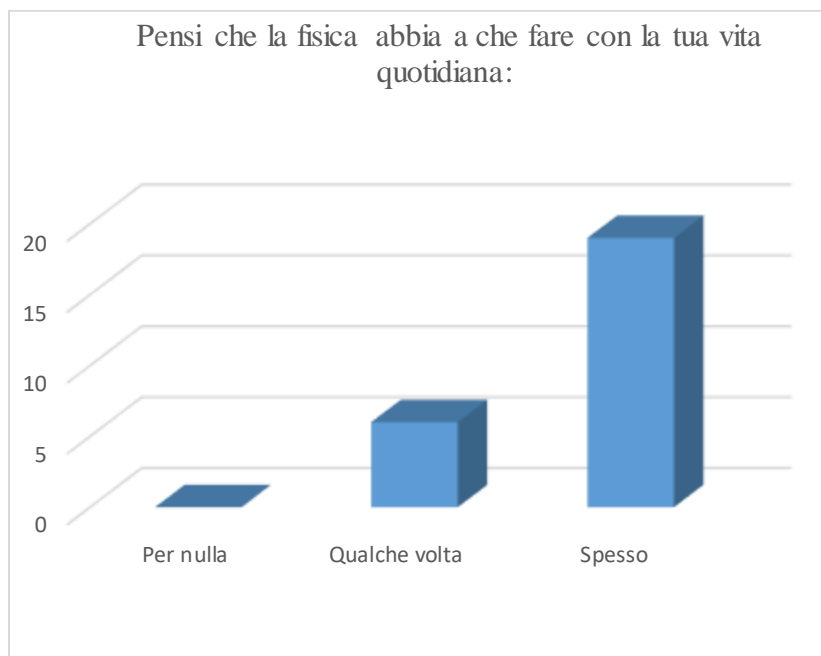


figura 2

Questi risultati sono esemplificativi, e appaiono confermati da altri rilevamenti effettuati su altri gruppi di studenti, quali i partecipanti alle premiazioni delle Olimpiadi della Fisica AIF del Polo di Salerno.

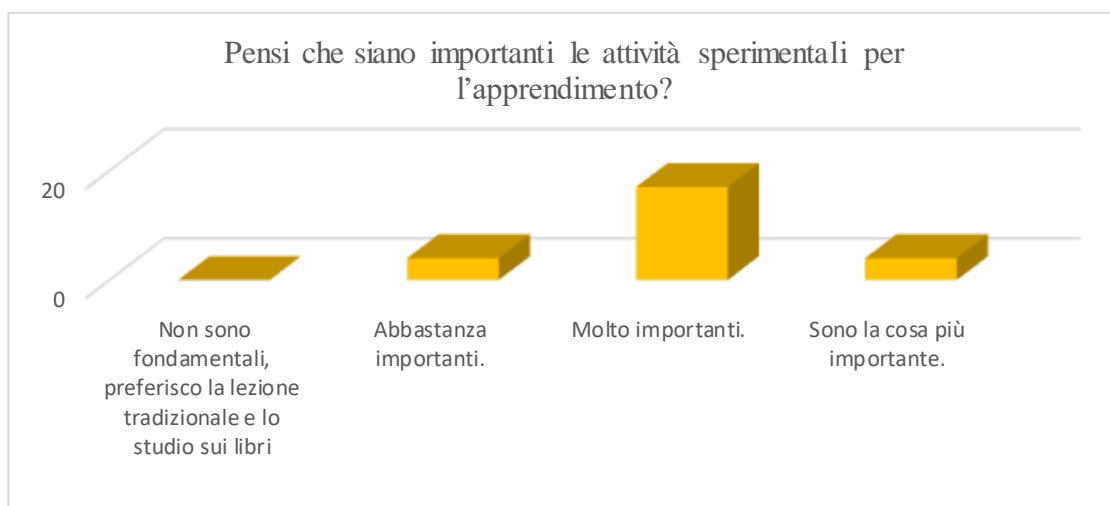


figura 3

Riguardo il mini-percorso svolto con i Divertiesperimenti durante la Scuola Estiva SEF 2016, il gradimento da parte dei ragazzi è risultato molto elevato (figura 4), ed essi ritengono anche che possa essere loro utile per apprendere (figura 5):

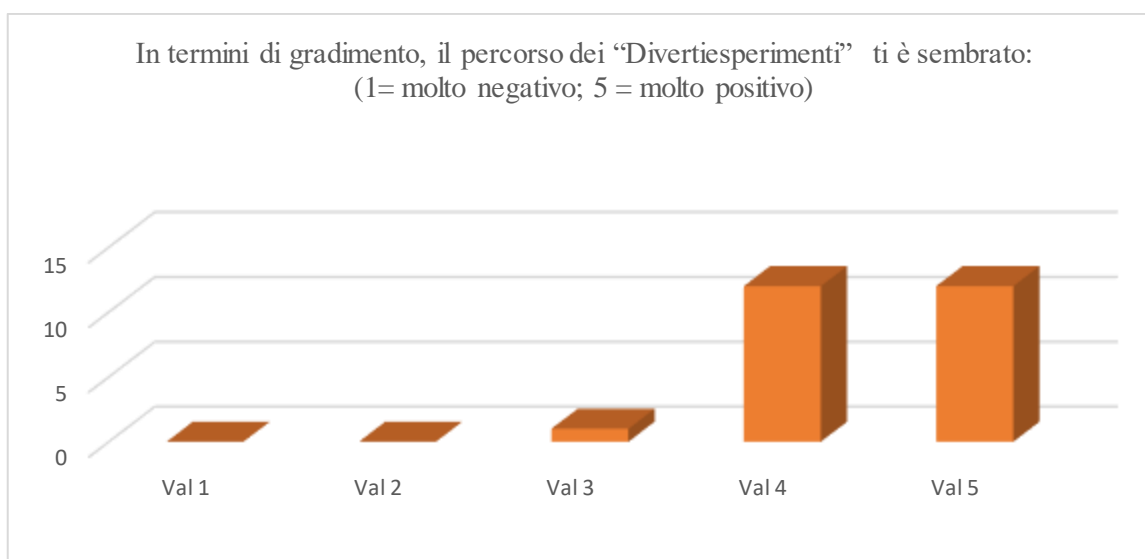


figura 4

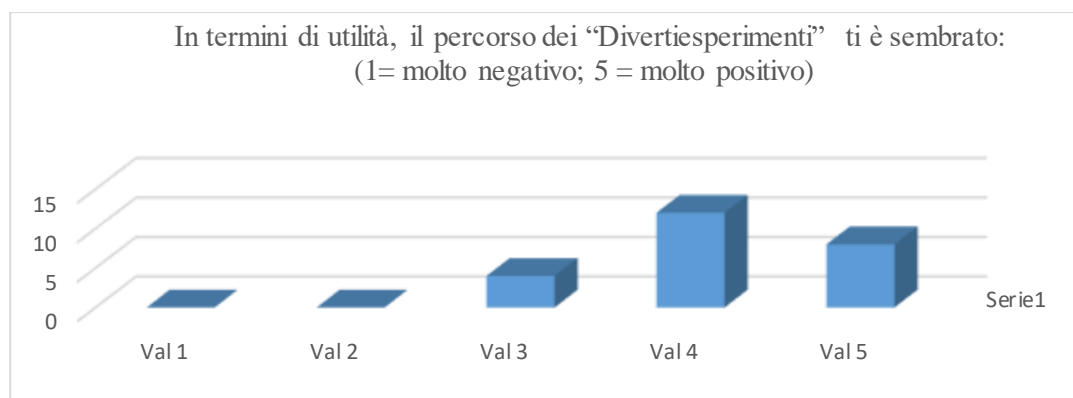


figura 5

Materiale supplementare S 7 – Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e alcuni risultati

I contenuti affrontati nel percorso erano noti per la maggior parte ai ragazzi, che però dichiarano di aver tratto (seppure in tempi brevi ed in maniera informale) spunti e stimoli nuovi (figure 6, 7, 8).

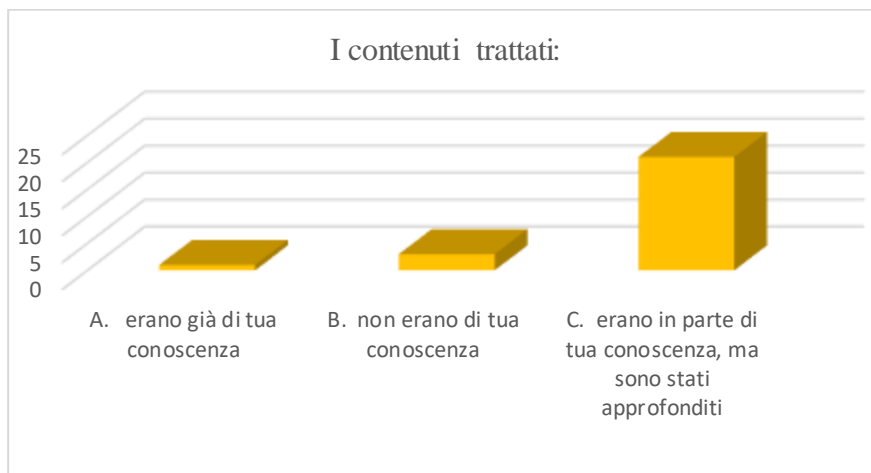


figura 6

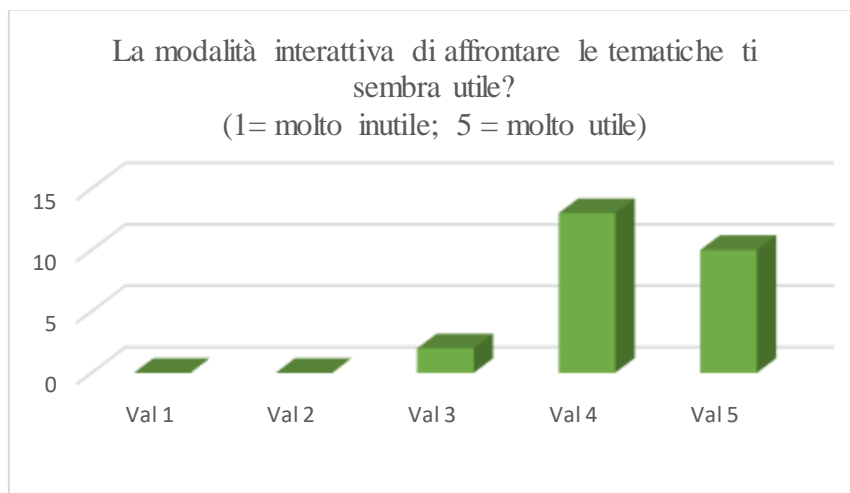


figura 7

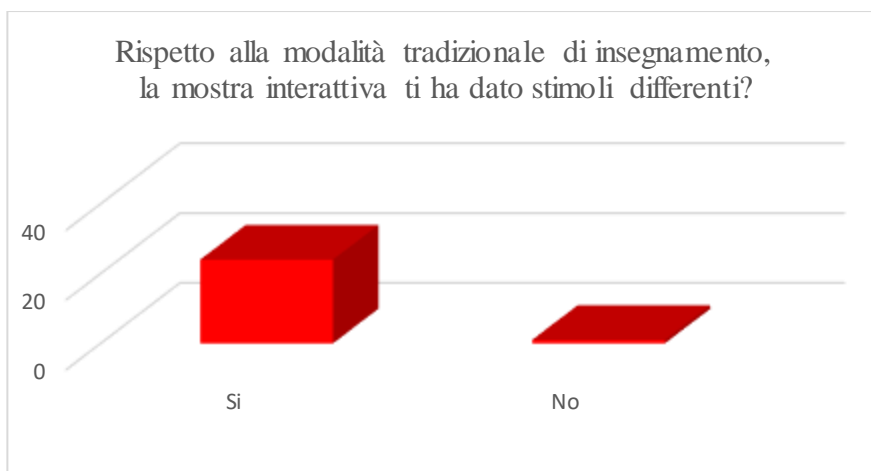


figura 8

Materiale supplementare S 7 – Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e alcuni risultati

L'exhibit della polarizzazione appare il più gradito. Per quanto riguarda la metodologia utilizzata, i ragazzi hanno voluto sottolineare (questa domanda era a risposta aperta) di apprezzare l'interattività del percorso, sia verso il docente che per la possibilità di sviluppare autonomamente esplorazioni ed ipotesi.



figura 9.

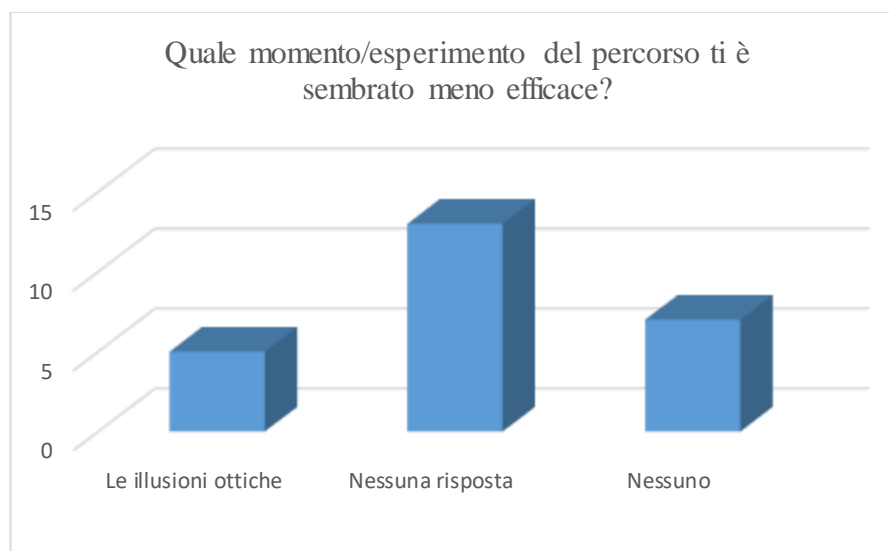


figura 1

Considerazioni sulle figure 9 e 10: le illusioni rimangono particolarmente impresse, e primeggiano sia tra gli exhibit più graditi (dopo il polarizzatore) che tra i meno graditi (in assoluto).



Dipartimento di Fisica
"E.R. Caianiello"

Gentile Studente/Docente, ci piacerebbe che esprimessi, anonimamente, la tua opinione in merito all'esperienza del percorso "DIVERTIESPERIMENTI.

M F età: 10-19 20-30 altro se docente, di quale ordine di scuola?

1) Se docente, hai mai utilizzato (e se sei studente ti hanno mai proposto) una modalità laboratoriale per apprendere la fisica?

SI NO

2) Ritieni che l'utilizzo di esperimenti come quelli proposti possa aiutare ad imparare?

SI No (segna con una croce la tua risposta)

3) Il percorso nel suo complesso ti è sembrato in termini di gradimento

Positivo 1 2 3 4 5 negativo (1= molto negativo; 5 = molto positivo)

4) Il percorso nel suo complesso ti è sembrato, in termini di utilità

Utile 1 2 3 4 5 inutile (1= molto inutile; 5 = molto utile)

5) I contenuti emersi erano già di tua conoscenza

SI NO in parte di tua conoscenza, ma desideravi approfondirli

6) Le tematiche affrontate:

() sono state sufficientemente approfondite

() non sono state sufficientemente approfondite. Perché?

() il corso è durato troppo poco per approfondire le tematiche

() si è preferito parlare d'altro, senza entrare troppo nel vivo delle tematiche

(altro) _____

Materiale supplementare S 7 – Questionari di gradimento dei DivertiEsperimenti e alcuni risultati

Seguono alcuni grafici dei risultati del questionario precedente su un campione di 41 studenti del corso di Laboratorio di fisica e didattica della fisica (età tra i 20 e i 30 anni) di Scienze della formazione Primaria, Università del Molise, A.A. 2016-17.

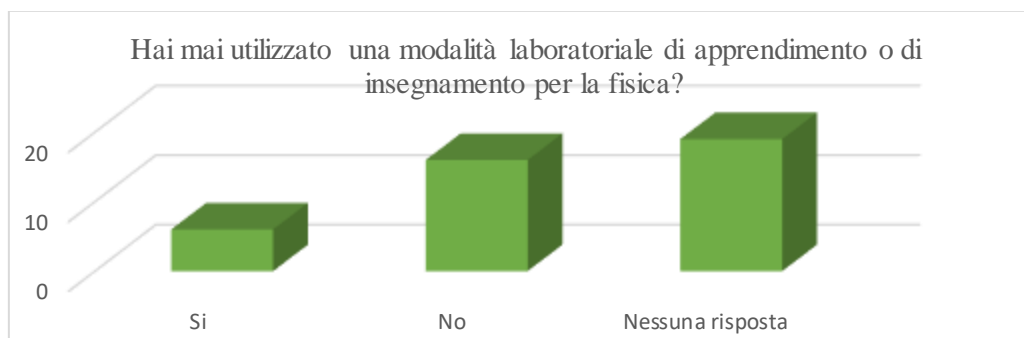


Figura 2

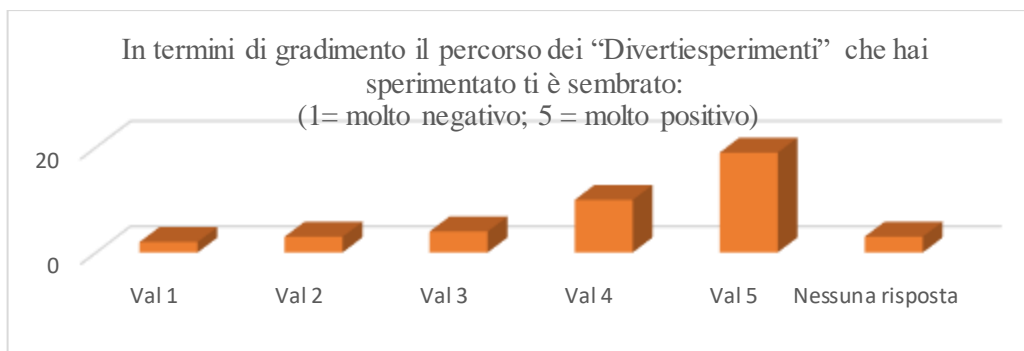


Figura 3

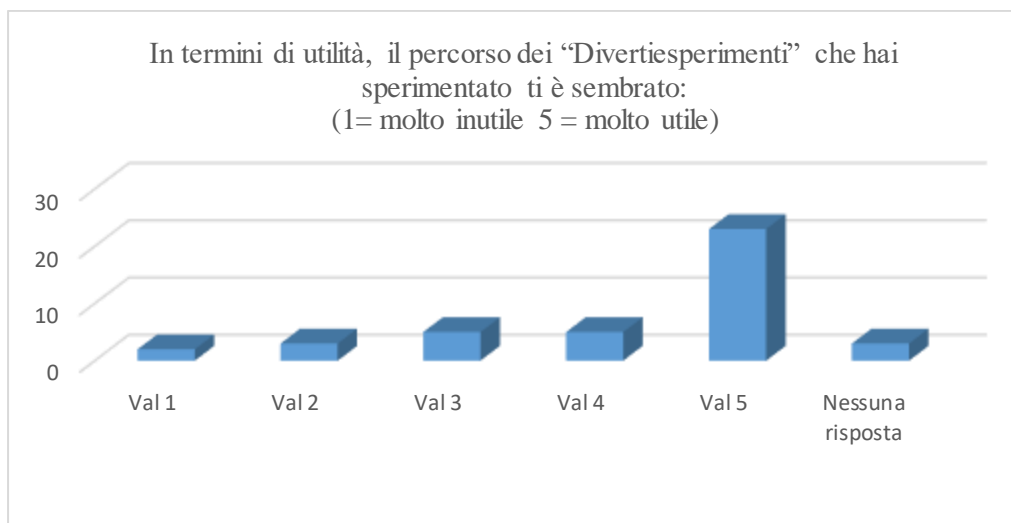


Figura 4

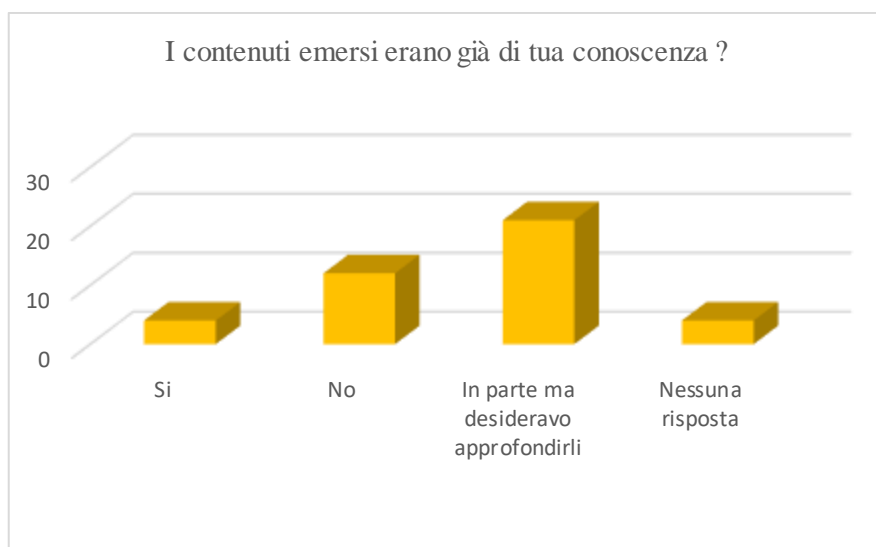


Figura 5

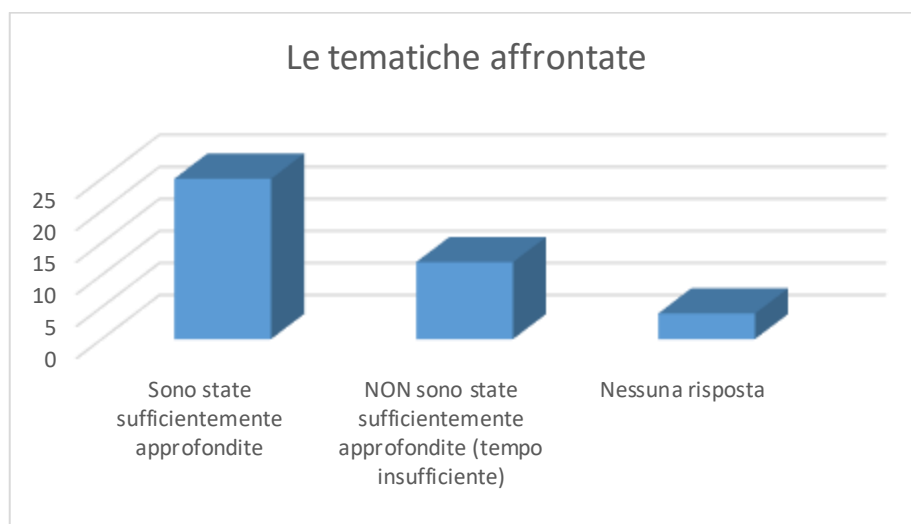


Figura 6

E' interessante che solo il 10% degli studenti dichiarati di aver mai fatto un esperimento, in tutto l'arco della vita di studente e di aspirante docente –hanno tutti un'età media fra i 20 e 30 anni. Da sottolineare anche che più della metà di loro non ha proprio risposto. In generale, come gli studenti di liceo, hanno mostrato di apprezzare il percorso, ritenendolo sia gradevole che utile.