

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA
DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA



Distanza tra docenti e studenti
nella percezione dello studio della fisica:
valutazione e proposte di didattica laboratoriale

Tutor:

Dott.ssa Maria Bondani

Candidato:

Fabrizio Favale

XXVI CICLO

Indice

Riassunto	5
I Indagine sulla percezione della fisica	9
Introduzione	11
1 Il questionario CLASS	13
1.1 Struttura e metodo	13
1.2 Campione statistico	15
1.3 Analisi dati	17
1.3.1 Risposte all’inizio del corso	17
1.3.2 Variazione delle risposte prima e dopo il corso	26
1.3.3 Evoluzione delle risposte nel percorso formativo	28
1.4 Discussione	31
Allegati alla Parte I	35
A.1 Testo del questionario CLASS	36
A.2 Categorie per l’analisi delle risposte al CLASS	42
II Proposte di Didattica Laboratoriale	43
Introduzione	45
2 Misconcetti in ottica	49
2.1 Formazione delle immagini	50
2.2 Propagazione della luce	52
2.3 Colori	53
2.4 Discussione	54

2.5	Osservazioni	55
3	Laboratori di ottica	57
3.1	Smontare l'arcobaleno	60
3.1.1	Il metodo	62
3.1.2	Risultati	67
3.1.3	Osservazioni	69
3.2	Olografia	72
3.2.1	Descrizione del corso	74
3.2.2	Realizzazione di ologrammi con il set-up portatile	77
3.2.3	Osservazioni	81
4	Laboratorio subacqueo	83
4.1	Il metodo	84
4.2	Attività e esperimenti in piscina	85
4.2.1	Attività senza apparato SCUBA	86
4.2.2	Esperienze con l'attrezzatura da immersione	92
4.2.3	Osservazioni	97
	Allegati alla Parte II	99
B.1	Testo del questionario sui misconcetti	100
B.2	Testo del questionario sui fluidi	102
III	Conclusioni	105
	Pubblicazioni	113
	Bibliografia	114

Riassunto

Perché i miei studenti non capiscono? Perché commettono sempre gli stessi errori? Perché sono in difficoltà, anche grave, su argomenti che sono semplici o che comunque avrebbero dovuto apprendere da tempo? Ha fatto bene il compito, come è possibile che non abbia capito questo argomento? Come posso valutare l'efficacia del mio insegnamento se questi sono i risultati più immediati?

A queste domande che spesso agitano le discussioni dei docenti di fisica e matematica, me compreso, è tutt'altro che semplice rispondere. Anzi forse non c'è una risposta, sicuramente non univoca e risolutiva. Il problema della costruzione di percorsi didattici che permettano a tutti gli studenti di apprezzare quello che si sta facendo e a molti di capire e diventare autonomi nella comprensione è stato affrontato da parecchi anni nella ricerca accademica in didattica. Purtroppo, le intuizioni e le scoperte di tali ricerche non hanno ancora trovato un'adeguata e diffusa ricaduta nella pratica curricolare delle nostre classi di Scuola Secondaria e universitarie. L'approccio tradizionale alle difficoltà degli allievi nell'apprendimento soprattutto delle materie scientifiche "dure", come la fisica e la matematica, è spesso percepito come fallimentare. Basandomi sulla mia esperienza pluriennale di docente di fisica e matematica in servizio nella Scuola Secondaria di Secondo Grado, posso affermare che il passaggio da discente a esperto di una materia è lungo e complesso e dipende anche dai processi interpretativi che vengono impiegati nella comprensione degli argomenti. Ciascuno infatti usa comunemente criteri appartenenti a registri differenti, quotidiani e scientifici, logici e estetici, fisico-matematici e poetici. "Quello che distingue un esperto da un principiante è la capacità di controllare i propri processi interpretativi, passando da uno schema all'altro quando opportuno" (Pier Luigi Ferrari, Università del Piemonte Orientale).

Scevro da pretese di completezza, il lavoro di dottorato, presentato nelle seguenti pagine, vuole offrire non solo degli spunti di analisi delle difficoltà nel processo di insegnamento-apprendimento partendo da indagini centrate sugli studenti, ma anche alcune proposte di percorsi didattici su argomenti di fisica inclusi nei curricoli

ministeriali. . .

L'ipotesi di lavoro è duplice. In primo luogo, gli studenti arrivano ai vari gradi di istruzione istituzionale, Primaria, Secondaria di Primo e Secondo Grado, universitaria, ricchi delle loro conoscenze e delle strutture interpretative della realtà acquisite "sul campo" attraverso la relazione con l'ambiente e le persone che li circondano. Hanno sviluppato una loro propria "epistemologia", se non filosofica, su come si fa scienza, sicuramente più pratica, su come si affrontano e si studiano gli argomenti scientifici, in particolare quelli fisici nel nostro caso. Se si vuole tenere conto di questo dato iniziale attraverso la somministrazione dei tradizionali test d'ingresso che misurano solo le conoscenze, si rischia di ottenere i soliti risultati disarmanti con poche informazioni utili. Se, invece, non se ne vuole tenere conto, e continuare a considerare gli studenti "tabula rasa", contenitori pronti a essere finalmente colmati del siero della conoscenza, potremmo trovarci nella situazione, altrettanto deludente, di avere studenti che sanno la lezione e magari prendono bei voti ma non hanno capito nulla di ciò che hanno studiato, col conseguente rischio di fallire alla prima occasione seria di confronto.

In secondo luogo, fatte emergere le idee naïvè, i misconcetti e le teorie precostruite non necessariamente scorrette, sarà necessario partire da queste per la costruzione di un sapere che non sia solo conoscenza ma che porti alla competenza. È inevitabile dare il giusto peso alla forza delle concezioni, degli stereotipi e dei "copioni iniziali" che gli studenti portano con sé quando affrontano la scuola e valutare attentamente la difficoltà di riplasmarli e sradicarli. Il lavoro dei tre anni di dottorato, ampio e articolato, si è sviluppato in particolare su questi due percorsi.

Tra i tanti strumenti validati dalla ricerca in didattica delle scienze per indagare le attitudini e le convinzioni degli studenti rispetto lo studio della fisica, abbiamo utilizzato un questionario relativamente recente realizzato dal gruppo di ricerca in didattica della fisica dell'Università del Colorado: Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS), che sarà descritto estesamente nella Parte I della tesi con l'analisi dei primi dati raccolti sottoponendo il questionario a circa mille- duecento studenti di vari Corsi di Laurea scientifici, ingegneristici e umanistici che prevedono il corso di fisica tra gli insegnamenti iniziali.

Nella Parte II della tesi, vengono presentate alcune proposte di didattica laboratoriale precedute da una riflessione sull'importanza della conoscenza delle idee pregresse degli studenti, giuste o sbagliate (misconcetti) che siano e dalla descrizione del questionario utilizzato per evidenziare tali idee. La prima proposta è incentrata su temi di ottica quali la formazione dell'arcobaleno e la realizzazione

degli ologrammi. Inoltre sono presentati i risultati dell'indagine sui misconcetti in ottica degli studenti degli ultimi anni delle scuole Secondarie di Secondo Grado. Il secondo percorso si sviluppa nell'ambito della fisica dei fluidi dove, partendo dall'osservazione sperimentale e dall'analisi di semplici esperienze tratte dalla vita quotidiana, ma anche da uno sport come la subacquea, si arriva alla descrizione delle leggi che governano il comportamento dei fluidi.

Parte I

Indagine sulla percezione della fisica

Introduzione

“... Ho fatto il compito e più di metà classe è andata male anzi malissimo”. “I miei studenti non hanno capito nulla...mi sembra di avere a che fare con una mandria di ...!” Queste e altre espressioni anche più colorite, spesso rieccheggiano nella mitica aula docenti delle scuole nostrane. I sentimenti di delusione e sconforto che le accompagnano sono ben noti e condivisi tra gli addetti ai lavori, siano essi docenti delle Scuole Secondarie di Primo o Secondo Grado, o professori universitari o anche personale tecnico assistente.

Più che per altre materie, lo sconforto colpisce i docenti di fisica e matematica. Insegnare fisica, per esempio, può essere sia ricco di gratificazione che frustrante. Per gli insegnanti che, come me, amano fare fisica, l'insegnamento può diventare anche un momento privilegiato per imparare e approfondire le conoscenze personali. Insegnando, talvolta si incontrano studenti che si appassionano e che hanno interesse e capacità per comprendere quello che viene loro proposto e che quasi si trasformano col procedere delle lezioni. Purtroppo, però, spesso dominano le frustrazioni. Sembra di affrontare studenti che non riescono a dare senso a ciò che studiano; allievi che sono in seria difficoltà, confusi da una materia che reputano frammentaria e sconnessa dalla realtà. In certe situazioni estreme appaiono addirittura ostili. Allora cosa fa un insegnante appassionato? Tenta, attraverso un intenso sforzo creativo, di raggiungere i suoi studenti rendendo le lezioni più accattivanti, semplificando, a volte eccessivamente, la comunicazione e le richieste. I risultati in generale non mancano soprattutto in termini di gradimento della lezione e di rapporto umano. Ma poco cambia nella comprensione della fisica da parte degli studenti che arrivano a chiedere, magari implicitamente e inconsciamente, una banalizzazione dei contenuti più difficili.

Nell'ambito delle ricerche in didattica sulla relazione tra insegnamento e apprendimento, esiste attualmente un ampio interesse verso le attitudini degli studenti, la loro visione della materia di studio e la natura della conoscenza della disciplina che stanno affrontando. I ricercatori ritengono che queste attitudini e opinioni, com-

binare insieme, formino le convinzioni epistemologiche che guidano la motivazione e l'approccio degli studenti allo studio. In effetti, le convinzioni degli studenti possono essere molto differenti dalle posizioni degli "esperti" nel considerare le dimensioni tipiche dello studio come la struttura della conoscenza (frammenti isolati di sapere piuttosto che un sapere unitario), l'origine del sapere (se infuso dal "sapiente" o auto appreso), e su come si sviluppa il sapere stesso.

Per quello che abbiamo potuto constatare in questi anni, guardando al panorama di studi sulla didattica delle materie scientifiche e in particolare della fisica, in Italia sono state effettuate ricerche in questa direzione aventi come campione di studio gli allievi della Scuola Primaria e Secondaria di Primo Grado, ma non ci sono studi volti a indagare le convinzioni epistemologiche degli studenti degli ultimi anni delle Secondarie di Secondo Grado, e neppure degli studenti universitari dei primi anni, e specificatamente degli studenti che nel primo anno devono sostenere un esame di fisica.

Questi studi possono essere importanti poiché, come mostrato dalle ricerche internazionali, alcuni esiti educativi come l'interesse per la fisica, l'apprendimento delle scienze e la scelta del percorso di studi universitari sono correlati con le convinzioni e le attitudini degli studenti rispetto allo studio delle materie stesse [1, 2, 6].

Inoltre partendo dalla considerazione delle opinioni degli studenti, si possono valorizzare metodi innovativi di insegnamento e nuove attività in classe che abbiano un ruolo crescente per un approccio più coinvolgente allo studio degli argomenti più complessi.

Essere in grado di indagare le convinzioni degli studenti, di identificare dove essi abbiano una posizione più ingenua o comunque distante da quella definibile degli "esperti", può essere di grande aiuto per i docenti che desiderino introdurre pratiche di insegnamento volte a sostenere negli studenti un'evoluzione del loro approccio verso un atteggiamento più "esperto" nello studio e nell'applicazione dei contenuti di materie complesse come la fisica [3].

Capitolo 1

Il questionario CLASS

1.1 Struttura e metodo

Nella nostra ricerca abbiamo utilizzato un questionario che, a partire dal 2006, è diventato un importante strumento di indagine nell'ambito di studio della didattica delle scienze. Il Colorado Learning Attitudes About Science Survey (CLASS) è stato sviluppato dai ricercatori del gruppo di Didattica della Fisica (Physics Education Research) dell'Università del Colorado ed è liberamente basato su altri noti questionari riguardanti le attitudini e le metodologie di studio e apprendimento delle materie scientifiche [6], quali il Views About Science Survey (VASS) e il Maryland Physics Expectation (MEPEX) [4,5]. Gli autori del CLASS hanno investito molto tempo in interviste a esperti e studenti per capire al meglio le convinzioni e le attitudini degli studenti riguardo la fisica e lo studio della fisica. Nelle intenzioni degli autori, il questionario è in grado di fornire indicazioni utili per riconoscere chi non è “esperto” nello studio della fisica. Inoltre, il CLASS è stato scritto con un linguaggio semplice, chiaro e conciso, almeno nelle intenzioni degli estensori, e risulta quindi adatto ad essere utilizzato in un'ampia varietà di corsi e di indirizzi in cui si insegna fisica [7].

Il questionario CLASS è composto da 42 affermazioni che descrivono possibili opinioni degli studenti riguardo la fisica e il suo studio. Chi risponde al questionario deve indicare il livello di accordo con le affermazioni su una scala da 1 a 5 (Likert-scale) dove 1 indica “per nulla d'accordo” e 5 indica “totalmente d'accordo” mentre 3 equivale alla risposta neutra. È possibile anche non rispondere a una affermazione ma è richiesto che le risposte non date siano nel numero minore possibile. L'Appendice A riporta il testo originale in lingua inglese e la nostra traduzione in italiano. La traduzione dall'inglese all'italiano si è resa necessaria poiché non

è possibile dare per scontata la conoscenza da parte degli studenti italiani della lingua inglese a un livello tale da evitare ogni fraintendimento nella comprensione delle affermazioni. Dopo una prima traduzione, abbiamo sottoposto il questionario a docenti universitari madrelingua che lavorano da anni in Italia non tanto per verificare la corretta traduzione letterale ma soprattutto per accertare che il senso e la struttura della frase tradotta rispettassero al meglio il senso della frase originale e gli intendimenti di linguaggio semplice e comprensibile. Successivamente il questionario è stato sottoposto a docenti e studenti italiani, intervistati alla fine della compilazione per evidenziare eventuali affermazioni ambigue o poco chiare in modo da poterle migliorare.

Le risposte di ciascuno studente vengono valutate confrontandole con le risposte del gruppo di “esperti”. In pratica si misura la percentuale di risposte di un singolo studente che corrispondono alle risposte degli esperti. Questo tipo di risposte vengono indicate come “favorevoli”. Inoltre la singola affermazione viene valutata andando a guardare la percentuale di studenti che hanno risposto concordemente alla risposta degli esperti. Gli esperti sono docenti e ricercatori in vari campi della fisica. Nella ricerca sono stati presi in considerazione due insiemi di dati di riferimento per gli esperti: i dati degli esperti riportati in particolare nell’articolo del 2008 di Gray, Adams, Wieman e Perkins [14]; i dati raccolti tra docenti e ricercatori dell’Università degli Studi dell’Insubria (sede di Como) e tra i docenti e i ricercatori convenuti a Como nel 2011 per la Scuola Estiva Internazionale di Alta Formazione Scientifica (STELLA School) [15]. I dati raccolti mostrano la sostanziale uniformità tra i due gruppi di esperti pur appartenenti a realtà culturali e comunità scientifiche diverse.

Alcuni studi [16] introducono l’idea che uno studente potrebbe avere certe convinzioni riguardanti lo studio della fisica valide per se stesso (possiamo chiamarla *epistemologia personale*) ma che lo stesso studente pensi che queste non siano necessariamente vere per i fisici o altre persone anzi che potrebbero essere addirittura in contraddizione con le idee degli “esperti” in fisica (possiamo chiamare questa *epistemologia pubblica*). Esemplicando, uno studente potrebbe ritenere che la conoscenza in fisica sia frammentaria ma allo stesso tempo avere la convinzione che per i ricercatori non sia così. Nello studio presentato qui, seguendo l’estensione del lavoro di L. Lising e A. Elby [16] già operata dagli autori del CLASS [14], abbiamo utilizzato una versione modificata del CLASS originale, in cui agli studenti viene richiesto di rispondere alle singole affermazioni due volte: una riportando la loro personale opinione e una riportando quella che secondo loro potrebbe essere

l'opinione degli "esperti".

Per la lettura critica e la valutazione delle risposte degli studenti, parte degli items, dopo il lavoro di analisi fattoriale, sono stati raggruppati in otto "fattori attitudinali" rispetto la fisica e lo studio della fisica. Tali fattori sono : *Connessione col mondo reale (Real World Connection)*, *Interesse personale (Personal Interest)*, *Sforzo per dare senso (Sense Making and Effort)*, *Connessioni concettuali (Conceptual Connections)*, *Applicazione della comprensione concettuale (Applied Conceptual Understanding)*, *Risoluzione di problemi in generale (Problem Solving General)*, *Sicurezza nella risoluzione dei problemi (Problem solving Confidence)*, *Raffinatezza nella risoluzione dei problemi (Problem Solving Sophistication)*. Per una più approfondita presentazione del questionario CLASS si consultino gli articoli degli autori [6, 8].

Dall'analisi si possono ottenere risposte alle seguenti domande: Gli studenti sanno cosa pensano i "fisici" rispetto alla fisica, alla struttura della conoscenza in fisica, alle sue connessioni con il mondo reale e a come dovrebbe essere l'approccio alla risoluzione dei problemi e dello studio in fisica? Gli studenti hanno percezione di quanto siano compatibili o differenti le loro convinzioni personali rispetto a quelle dei loro insegnanti? Le opinioni degli studenti variano in base all'indirizzo universitario scelto, al genere maschile o femminile, agli studi precedenti? Siamo convinti che le indicazioni che emergono dalle risposte a queste domande possano essere di grande utilità per definire alcuni aspetti del rapporto insegnamento/apprendimento.

1.2 Campione statistico

Nella Tabella 1.1 è indicato l'insieme degli studenti a cui è stato chiesto compilare il questionario.

Nell'arco di due anni, dal 2011 al 2013, il questionario CLASS è stato sottoposto a circa 1200 studenti frequentanti corsi di laurea diversi in alcune università italiane. Abbiamo circa 100 questionari nei quali per errore o per scelta non è stato indicato il genere. Del campione rimanente, le femmine, che sono circa il 60%, non sono distribuite uniformemente essendo concentrate principalmente nell'indirizzo di Scienze della Formazione Primaria. Sul totale degli studenti che hanno indicato la Scuola Secondaria di provenienza il 30% dichiara di aver frequentato un Liceo Scientifico. È bene ricordare che in Italia, quasi tutti gli indirizzi di Scuola Secondaria di Secondo Grado, prevedono nel corso dei 5 anni lo studio della fisica,

Città	Università	Corso di Laurea	Totale	Femmine	Maschi
Padova	Università degli Studi	Scienze della Formazione Primaria	120	119	1
Varese	Università dell'Insubria	Ingegneria per la sicurezza sul lavoro e l'ambiente	89	20	69
Bologna	Università degli Studi	Fisica	137	28	109
Milano	Università della Bicocca	Scienze della Formazione Primaria	91+171	90+155	1+6
Milano	Università della Bicocca	Medicina e Odontoiatria	141	80	61
Napoli	Università Federico II	Fisica	41	nd	nd
Como	Università dell'Insubria	Chimica	38	14	24
Como	Università dell'Insubria	Fisica	21	4	17
Milano	Università della Bicocca	Fisica	46	7	39
Milano	Università della Bicocca	Matematica	29	18	11
Palermo	Università degli Studi	Ingegneria	44	20	24
Milano	Università degli Studi	Informatica	60	7	34
Milano	Università degli Studi	Biologia	75	37	18
Milano	Università degli Studi	Matematica	138	47	50

Tabella 1.1: Distribuzione degli studenti per città e per Corso di Laurea.

sia durante ore settimanali curriculari specifiche che all'interno di materie affini quali "scienze integrate". Sicuramente la quasi totalità del campione di studenti aveva già studiato fisica alla Scuola Secondaria di Secondo Grado. In particolare questo è vero per gli studenti di Liceo Scientifico che mediamente frequentano tre ore di fisica settimanali nel triennio in preparazione all'Esame di Stato conclusivo. In questo senso, i risultati derivanti dall'analisi delle risposte degli studenti date all'inizio del corso universitario riflettono l'esperienza maturata negli ultimi tre anni della Scuola Secondaria, e possono fornire indicazioni preziose agli insegnanti delle Scuole Secondarie. Il questionario è stato compilato anche da studenti liceali del quarto e quinto anno che hanno partecipato al progetto LuNa-La natura della Luce nella luce della Natura [17] per l'insegnamento dell'ottica nella Scuola Secondaria di Secondo Grado.

Il questionario è stato sottoposto agli studenti durante la prima lezione del primo corso di fisica del loro piano di studi, che per tutti era previsto al primo o secondo semestre del primo anno degli studi universitari. Per alcuni gruppi di studenti si è potuto riproporre il questionario anche alla fine del corso così da ottenere indicazioni su come il corso di fisica abbia modificato o meno la loro percezione e le loro opinioni sulla fisica e sui metodi di studio e lavoro della fisica. La modalità di compilazione del questionario è quella classica cartacea sotto la guida di un ricer-

catore (il sottoscritto) o del docente referente del corso opportunamente istruito. In generale non è stato possibile correlare direttamente tra loro le risposte date prima e quelle date dopo lo svolgimento del corso di fisica. Solo nei casi in cui gli studenti hanno accettato di scrivere il loro nome o un “nickname” sia sul questionario “pre-” che “post-” corso tale corrispondenza è stata possibile, e comunque solo nel 25% dei questionari. Di conseguenza le analisi dei dati faranno riferimento alle distribuzioni statistiche complessive delle risposte senza tener conto delle possibili corrispondenze tra pre e post.

1.3 Analisi dati

I dati raccolti dai più di 1200 questionari sono stati immessi in un foglio di calcolo Excel appositamente preparato da gruppo di ricercatori della Colorado University (scoring sheet) [12]. Con le macro predisposte nel foglio Excel, è possibile ottenere il numero, espresso in percentuale, di risposte degli studenti che più si avvicinano al pensiero degli “esperti” di fisica. Avendo utilizzato la versione modificata del CLASS, come descritto nella sezione 1.1, è stato richiesto agli studenti di rispondere anche mettendosi “nei panni” degli esperti di fisica, ossia di rispondere indicando quale sarebbe stata secondo loro la posizione dei ricercatori professionisti e professori universitari. Dall’analisi dei dati è possibile verificare se anche per gli studenti ci sia una chiara discrepanza tra il loro pensiero e quello che ritengono sia il pensiero dei fisici. Inoltre è possibile analizzare le risposte distinguendo per Corso di Laurea di appartenenza, per genere (femminile e maschile) degli studenti e per Scuola Secondaria di Secondo Grado di provenienza.

1.3.1 Risposte all’inizio del corso

La prima analisi che è interessante mostrare, anche se ancora grossolana, riguarda i risultati delle risposte concernenti le opinioni personali degli studenti suddivise nelle categorie individuate dagli estensori del CLASS e per corso di laurea di appartenenza, all’inizio del primo corso di fisica previsto dal loro curriculum di studi. Nella Tabella 1.2 e nel grafico in Fig. 1.1 sono riportate solo le percentuali di risposte indicate come “favorevoli” cioè in linea con le posizioni degli “esperti”. In questa tabella alcuni Corsi di Laurea, Fisica e Scienze della Formazione/Educazione sono distinte. Verranno poi accorpate per maggiore semplicità di lettura dei dati. L’accorpamento è possibile grazie alla consistenza delle percentuali nelle varie categorie

e alla uniformità del Corso di Laurea. Come era prevedibile, è possibile notare che gli studenti iscritti al corso di laurea in fisica hanno la percentuale di risposte “favorevoli” più alta rispetto agli studenti di tutti gli altri corsi. Si riscontrano dei picchi di risposte “favorevoli” in alcune categorie anche per corsi come Scienze della Formazione ma sostanzialmente è rispettato un andamento delle percentuali secondo cui gli studenti dei corsi di laurea scientifici hanno una considerazione della fisica e dello studio della fisica più vicina al pensiero degli “esperti” pur mantenendosi comunque su percentuali distanti dagli esperti.

I risultati complessivi, “Overall”, della maggior parte degli studenti sono in linea con le percentuali riportate su diverse ricerche sia degli autori del CLASS sia di altri gruppi [6, 9, 10, 14]. In particolare se confrontiamo l’andamento della percentuale di risposte simili a quelle degli esperti per gli studenti dei corsi di fisica accorpata rispetto agli studenti del corso di fisica “calculus-based” di una tipica università statunitense, scopriamo che gli studenti italiani hanno una concezione leggermente più vicina a quella degli esperti. Per la categoria Overall abbiamo infatti 69% per gli studenti italiani e il 65% per quelli statunitensi, per la categoria Personal Interest abbiamo un 81% contro 67%, nella categoria Real Word Connection la percentuale delle risposte “favorevoli” italiane è superiore di 6 punti percentuali (78% contro 72%), le tre categorie legate al Problem Solving (General, Confidence, Sophistication) si equivalgono (75% contro 71%, 66% contro 73%, 64% contro 61%) , mentre le ultime tre categorie vedono le percentuali italiane superiori, Sense Making/Effort 77% contro 73%, Conceptual Understanding 73% contro 63% e Applied Conceptual Understanding 57% contro 53%. Una possibile spiegazione di questa differenza tra chi frequenta corsi di fisica equiparabili delle due nazioni può risiedere nel fatto che gli studenti italiani iscritti a fisica, come vedremo in seguito, hanno frequentato mediamente un Liceo Scientifico che prevede uno studio curricolare della fisica maggiore rispetto ai loro colleghi statunitensi.

Corsi di Laurea	Overall	All categories	Personal Interest	Real World Connection	PS General	PS Confidence	PS Sophistication	Sense Making/Effort	Conceptual Understanding	Applied Conceptual Understanding
Tutti i Corsi	53.3	53.1	55.3	62.3	53.7	48.4	39.8	63.1	55.7	42.2
Fisica_CO	68.5	69.3	87.3	81.0	69.9	65.5	61.7	77.1	69.0	52.7
Fisica_BO	68.8	69.4	79.4	75.1	73.6	66.8	65.0	74.0	75.8	60.3
Fisica_NA	70.1	70.9	82.9	77.9	76.4	62.9	61.6	80.1	71.7	52.7
Fisica_BIC	70.0	71.4	80.4	78.3	79.9	71.2	66.7	78.4	75.3	55.6
Matematica	57.9	57.2	54.0	65.4	56.0	50.9	44.1	68.8	64.3	50.4
Ingegneria_PA	53.9	55.0	59.5	68.2	56.9	52.3	32.7	67.2	54.7	35.1
ISLA Varese	42.2	42.0	50.0	49.7	42.2	36.2	24.4	52.7	37.5	27.0
Sc.Forma.Prim._PD	49.2	49.5	52.0	69.4	46.0	39.2	30.9	59.1	48.9	36.5
Sc.Forma.Prim._BIC	39.0	38.1	38.7	47.1	34.4	31.9	21.4	48.3	40.3	30.1
Sc.Forma.Prim._BIC	50.9	49.5	48.5	61.0	44.5	46.1	35.8	58.4	51.8	44.8
Informatica_MI	51.6	52.4	52.3	58.8	54.4	52.4	39.0	61.1	51.3	39.6
Biologia_MI	46.3	46.5	44.4	54.4	48.7	43.1	31.0	58.0	47.5	34.1
Medicina_BIC	54.0	52.3	47.7	56.8	56.7	48.8	40.9	66.0	56.1	41.6
Odontoiatria_BIC	49.2	49.0	41.2	60.3	48.2	42.6	33.3	64.1	56.9	38.7
Chimica_CO	54.2	53.7	51.8	63.2	57.7	56.6	38.7	65.4	57.2	42.5

Tabella 1.2: Percentuali di risposte “favorevoli” degli studenti per i vari Corsi di Laurea rispetto alle categorie. La categoria “All categories” indica l’insieme delle 26 affermazioni suddivise nelle varie categorie. In seguito non verrà più indicata.

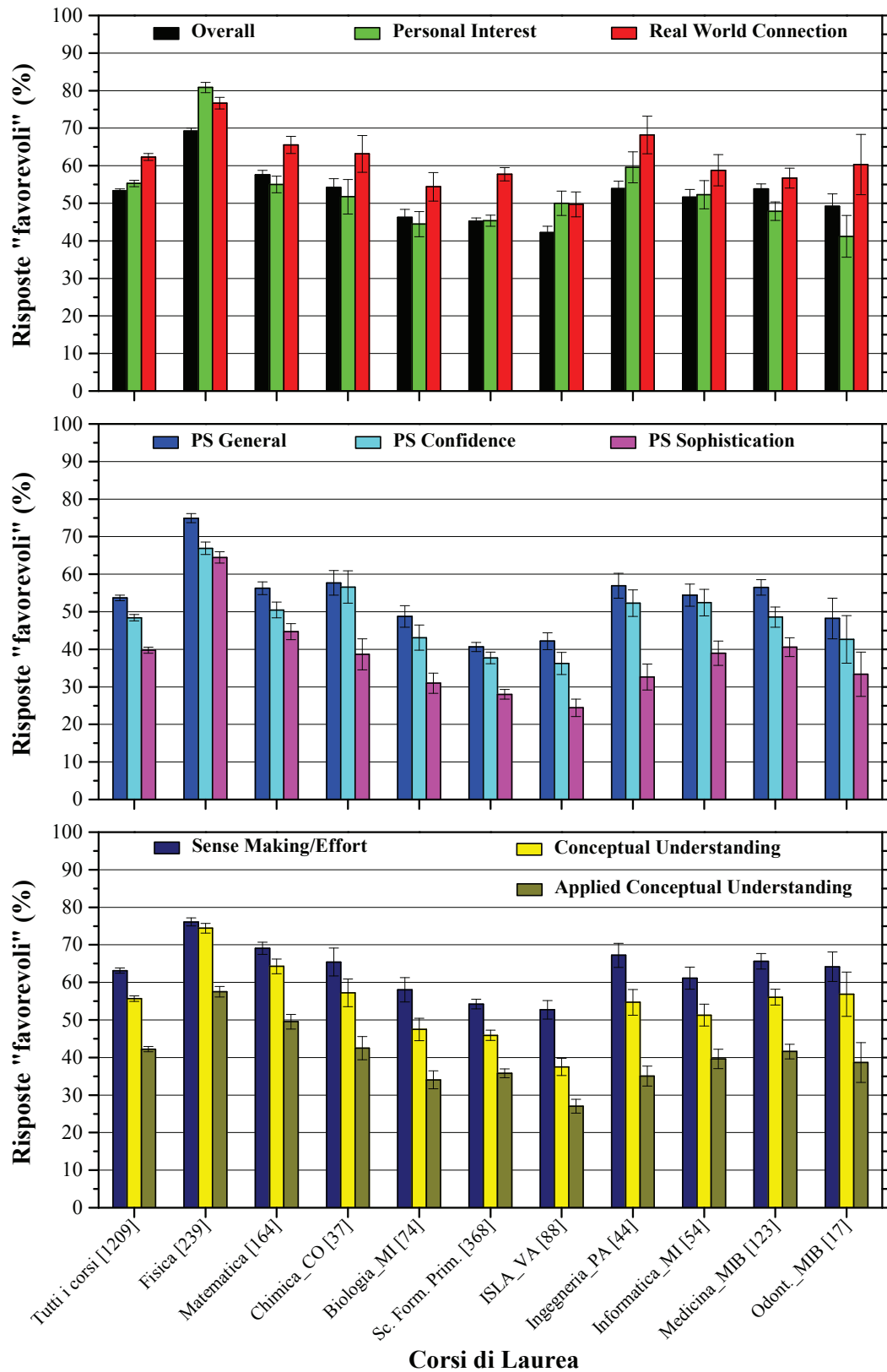


Figura 1.1: Percentuale di risposte "favorevoli" degli studenti per i vari Corsi di Laurea suddivise nelle otto categorie e Overall. I valori tra parentesi sono la numerosità del campione statistico. Le barre d'errore rappresentano l'errore standard.

Entrando ora un po' più in profondità nell'analisi delle risposte, è interessante confrontare le risposte degli studenti relative alla loro concezione della fisica e a come studiarla, con le risposte, sempre degli studenti, ma relative a come pensano che avrebbero risposto dei ricercatori o comunque fisici esperti, quali potrebbero essere i loro professori passati e presenti. Sarà quindi possibile rispondere alle seguenti domande: (a) gli studenti al loro primo corso di fisica universitario sanno cosa pensano i fisici delle attitudini per studiare fisica e della struttura della conoscenza in fisica? (b) le idee che gli studenti hanno sulle convinzioni dei fisici esperti sono diverse da quelle proprie cioè possono valere per se stessi?

Il grafico in Fig. 1.2 indica la percentuale di risposte degli studenti che sono conformi alle risposte date dal campione di esperti e quelle che si riferiscono a come gli studenti pensano che avrebbero risposto gli esperti stessi.

Il confronto dei due andamenti mostra alcune evidenze:

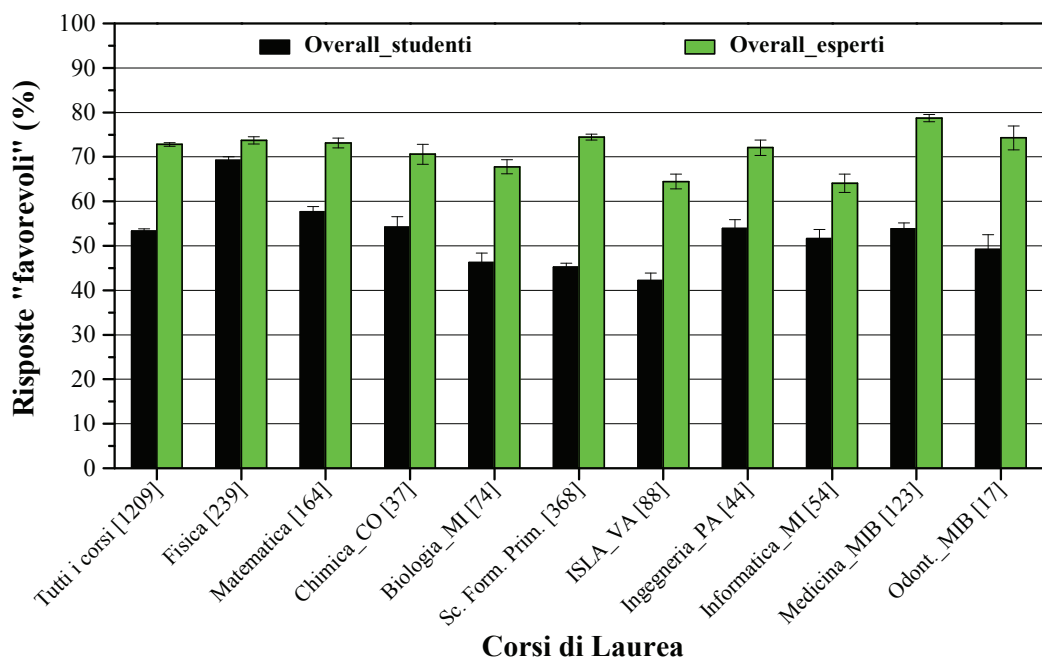


Figura 1.2: Percentuale di risposte “favorevoli” nella categoria Overall date dagli studenti per sé (nero) e attribuite ai ricercatori esperti (verde), per i vari Corsi di Laurea. I valori tra parentesi sono la numerosità del campione statistico. Si noti che la marcata differenza nei valori (vedere il testo per il commento).

- Sembra che gli studenti in generale sappiano bene quale dovrebbe essere l’atteggiamento o la concezione corretta per “pensarla” come un esperto, ma che questi poi non siano validi per loro stessi, o comunque non li condividono

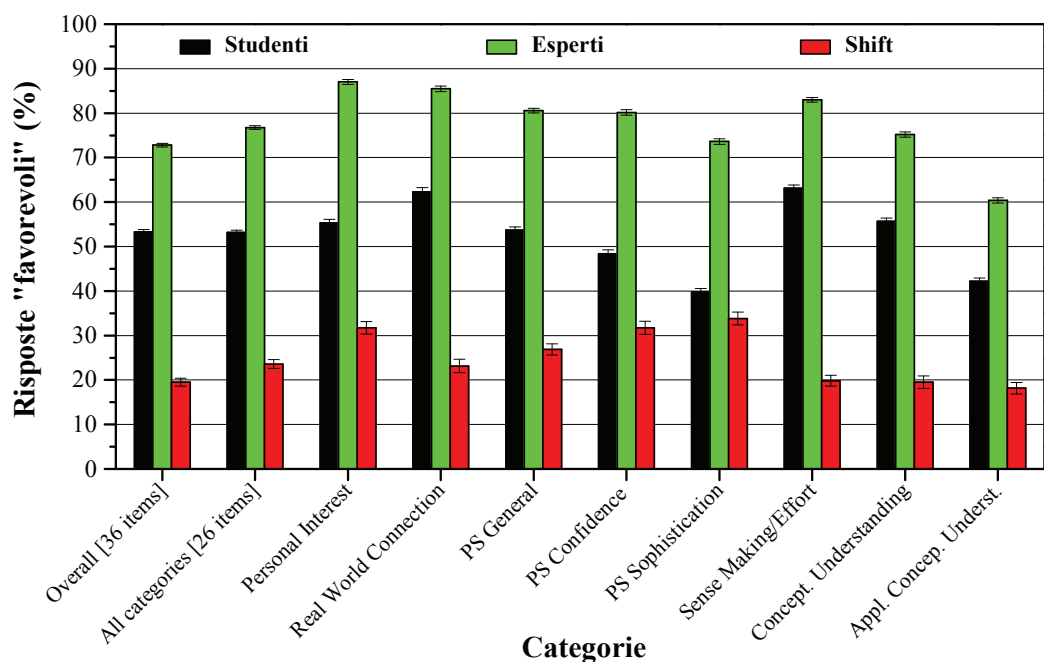


Figura 1.3: Percentuale di risposte “favorevoli” date dagli studenti aggregati per sé (nero) e attribuite ai ricercatori esperti (verde), per le varie categorie. In rosso la variazione.

quando si tratta di applicarli nel loro personale approccio alla pratica dello studio della fisica e della soluzione di problemi di fisica.

- L’osservazione precedente è vera in particolare modo per ISLA (VA) e Scienze della Formazione Primaria (MIB e PD), fatto curioso se pensiamo che il corso di Scienze della Formazione è frequentato quasi interamente da studentesse. Avremo modo di riprendere in seguito questa osservazione.
- Le differenze nel pensiero personale che caratterizzano le risposte degli studenti che appartengono a Corsi di Laurea anche molto differenti, si attenuano notevolmente se guardiamo alle risposte degli stessi studenti nei panni dei “fisici”. Gli studenti, indipendentemente dal Corso di Laurea scelto, arrivano al primo corso universitario di fisica con le idee abbastanza chiare e corrette su cosa pensi un fisico della fisica, ma allo stesso tempo con un pensiero personale molto differenziato. Questo fa pensare che le differenze nel pensiero personale possano essersi formate negli anni della Scuola Secondaria, o anche prima, per il percorso personale, non solo scolastico, degli studenti. In ultimo, come era prevedibile, gli studenti di fisica registrano uno spostamento ridotto tra il loro pensiero personale e quello attribuito agli esperti.

Mentre le considerazioni precedenti valgono in generale scorrendo le varie categorie, esistono alcune affermazioni nel questionario per le quali la maggioranza degli studenti dimostra di non sapere cosa pensa un esperto di fisica o perchè scelgono la risposta neutra «non saprei» o perchè indicano esplicitamente la scelta contraria. È interessante che tra le 42 affermazioni del questionario, quelle non in linea con gli esperti degli studenti italiani siano le stesse tranne una (la 17) degli studenti americani. Le affermazioni in questione sono:

- n. 8 *Quando devo risolvere un problema di fisica, individuo l'equazione che contiene le variabili date nel problema e inserisco in essa i dati.*
- n. 12 *Non posso imparare la fisica se l'insegnante non spiega bene in classe.*
- n. 17 *Capire la fisica significa principalmente essere capaci di richiamare ciò che si è letto o che ti è stato mostrato.*
- n. 22 *Se voglio applicare un metodo utilizzato per risolvere un problema fisico ad un altro problema questi due problemi devono coinvolgere situazioni fisiche molto simili.*
- n. 27 *È importante che il governo approvi le nuove idee scientifiche prima che esse siano generalmente accettate da tutti.*

Per la n. 8 solo il 18% del totale degli studenti risponde come avrebbero risposto gli esperti (in disaccordo); per la n. 12 il 32%; per la 17 il 39%; per la 22 il 35% e infine per la 27 il 34% ma con il 33% di indecisi («non saprei»). Oltre a evidenziare queste affermazioni che già ci dicono qualcosa su come gli studenti vedono la fisica e il modo di studiarla, è possibile far emergere le affermazioni per le quali la differenza tra la percentuale di risposte legate al pensiero personale degli studenti e quella di risposte sul pensiero ipotizzato degli esperti è maggiore. Non è detto che la scelta degli studenti riguardo a queste affermazioni sia contraria alla scelta “esperta”, ma la differenza (shift) con l’opinione sui ricercatori è marcata. Le affermazioni sono:

- n. 3 *Penso ai concetti di fisica che sperimento nella vita quotidiana, che passa da una percentuale di risposte personali “favorevoli” del 47% a una del 87% se riferite agli esperti.*
- n. 25 *A me piace risolvere i problemi di fisica, che passa dal 33% (personale) al 88% (esperto).*

- n. 34 *Io normalmente riesco a trovare un modo per risolvere i problemi di fisica*, che totalizza il 29% per la visione personale e il 85% per la visione esperta.
- n. 36 *Alcune volte risolvo i problemi di fisica come modo per capire meglio*, che passa dal 20% al 79% nella visione esperta.

Ancora una volta c'è da sottolineare come per le affermazioni n. 3, 25 e 36 valga lo stesso discorso anche per gli studenti americani. L'interpretazione della differenza fra pensiero personale e pensiero attribuito agli esperti da parte degli studenti non è né semplice né univoca. Guardando all'affermazione n. 3 si potrebbe azzardare la seguente riflessione: lo studente principiante (novice) di fisica guarda alla realtà senza pensare che questa sia ricca di fenomeni spiegabili con la fisica, anche perchè non ha sufficienti conoscenza per dare fondamento ad un tale approccio alla realtà, ad un tale sguardo indagatore. D'altra parte, lo studente sa che un ricercatore esperto sarebbe in grado di guardare alla realtà come luogo in cui si ritrovano i concetti fisici. Così per l'affermazione n. 25 si può pensare che allo studente medio non piaccia risolvere i problemi di fisica, anche perchè non ci riesce, ma che sia convinto che al proprio professore e al fisico professionista piaccia avere a che fare con le sfide poste da tali problemi. È da tempo che, sia a livello nazionale che internazionale, gli organi istituzionali scientifici e politici hanno iniziato a interessarsi dell'uguaglianza di genere e l'integrazione della dimensione di genere nella ricerca scientifica. Diverse iniziative (una recente è il progetto europeo GENERA-Gender Equality Network in the European Research Area [18]) sono nate con lo scopo trovare strumenti utili per aumentare la presenza femminile nella ricerca scientifica, in particolare nell'ambito della fisica e di tutte le sue branche. Diverse ricerche hanno mostrato che le differenze di genere giocano un ruolo diversificante nelle concezioni degli studenti sulla fisica e sul suo studio. Può essere interessante allora analizzare il nostro campione statistico dal punto di vista del genere, scorporando le risposte dei soli studenti di genere maschile e femminile. I dati riportati dal grafico in Fig. 1.4 (di non semplice lettura) mostrano le risposte degli studenti divise per genere considerando tutti gli studenti accorpate e tutte le categorie (inclusa Overall) sia per il pensiero personale degli studenti, sia per il pensiero attribuito agli esperti, con l'indicazione dello spostamento tra l'uno e l'altro. Sempre nella stessa figura viene proposto lo stesso grafico ma dal quale sono stati scorporati i dati relativi alle risposte di Scienze della Formazione Primaria. Questa operazione si è resa necessaria per verificare che non ci fossero letture falsate dalla forte presenza femminile nei Corsi di Laurea di Scienze della

Formazione Primaria. I dati ci indicano come le ragazze abbiano una percezio-

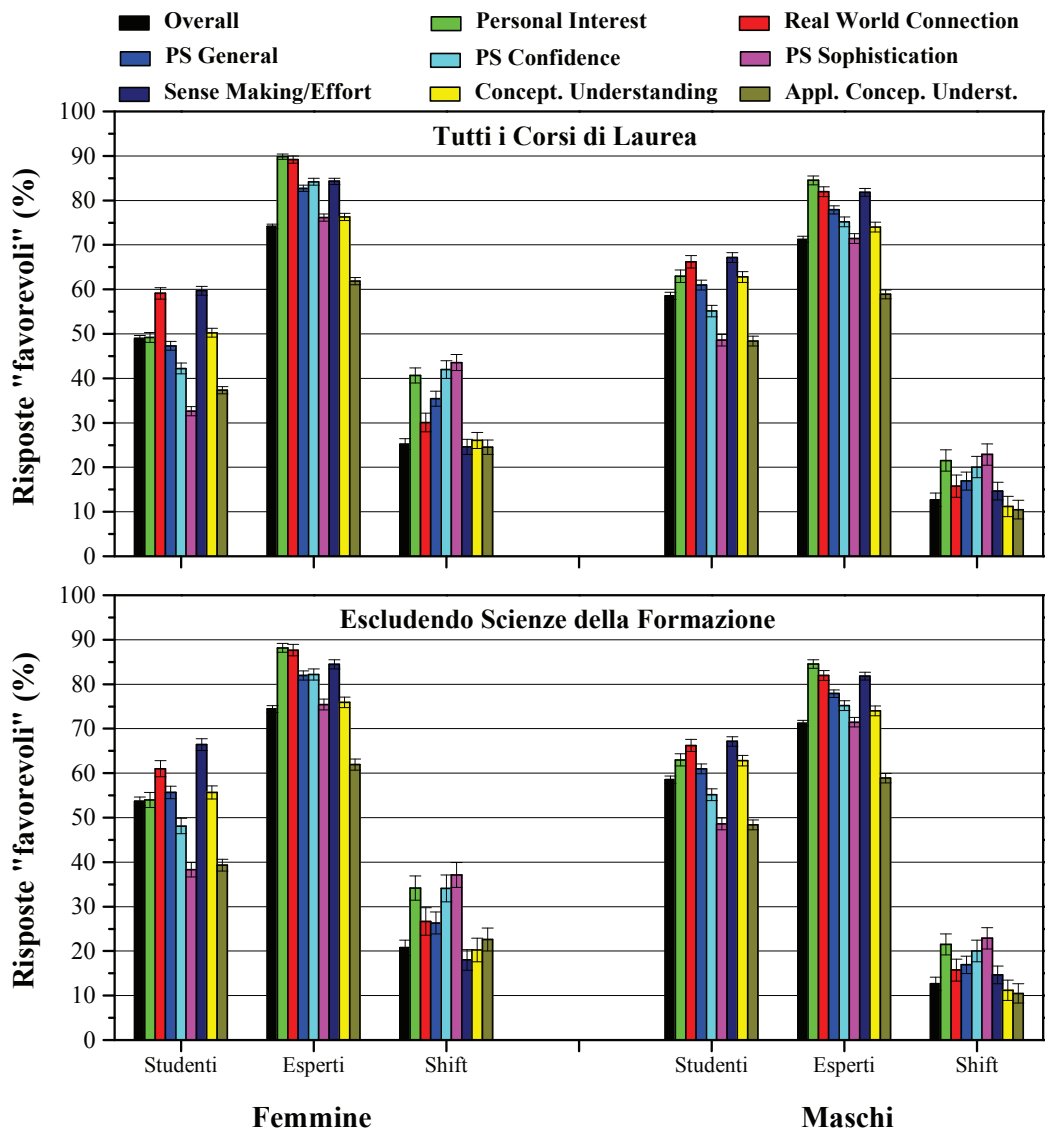


Figura 1.4: Percentuali delle risposte “favorevoli” degli studenti, distinguendo le femmine dai maschi, per due sole categorie.

ne del pensiero esperto più marcata dei colleghi studenti maschi, mentre rispetto le convinzioni personali i maschi hanno una visione più “esperta”, pur rimanendo lontani dalle percentuali del gruppo di esperti di riferimento. Non c’è inoltre sostanziale differenza tra i dati con e senza Scienze della Formazione.

1.3.2 Variazione delle risposte prima e dopo il corso

Il questionario CLASS, come illustrato nelle sezioni precedenti, è stato sottoposto agli studenti in generale del primo anno dei vari Corsi di Laurea e in particolare all'inizio e alla fine del primo corso di fisica inserito nel loro curriculum di studi scelto. Un tema interessante da affrontare è quanto la frequenza del corso di fisica, quali che siano i suoi contenuti e la metodologia di insegnamento, abbia influenza sulla percezione e sulle opinioni degli studenti in merito alla fisica e al suo studio. Per esplorare questo tema si sono messe a confronto le risposte degli studenti al questionario prima dell'inizio del corso (*pre*) e dopo la fine dello stesso (*post*) relative a tutte le affermazioni prese insieme (Overall) e alle singole categorie mantenendo divisi i vari Corsi di Laurea. I dati si riferiscono a un campione limitato di studenti, ossia solo quelli che effettivamente hanno compilato il questionario sia all'inizio sia alla fine del corso. Purtroppo abbiamo così solo il 25% di risposte alla fine dei corsi rispetto al numero iniziale. Inoltre non è stato possibile correlare le risposte *pre* e *post* per ciascun studente a causa delle obiezioni legate alla privacy che ci hanno impedito di richiedere il nome o un codice identificativo dello studente.

In Fig. 1.5 sono riportate in percentuale le risposte “favorevoli” degli studenti all'inizio del corso (colore intero) e alla fine del corso (trama colorata) per ogni Corso di Laurea su tutte le 8 categorie più Overall. L'errore standard per ciascun insieme di dati, riportato in cima alle singole colonne, è in generale piccolo rispetto al valore medio e può aiutare a valutare se la variazione di pensiero degli studenti prima e dopo il corso sia significativo o meno.

Contrariamente ai risultati pubblicati da altre ricerche [11, 13, 14], si può osservare dal grafico come le opinioni degli studenti nel loro complesso non tendano a spostarsi univocamente verso una visione più “esperta” in tutte le categorie. In alcune categorie, come “Connessione con il mondo reale” e “Sforzo per dare senso” lo spostamento verso la visione esperta è più marcato. Guardando solo alle prime colonne dei dati aggregati su tutti gli studenti, sembra che le categorie più connesse con la sfera personale di interesse e di studio tendano a una visione più esperta mentre quelle categorie più affini all'impegno analitico-algebrico di impegno elevato tipico della fisica subiscano uno spostamento negativo. Queste considerazioni sul dato aggregato non trovano poi sostegno quando andiamo a valutare i risultati delle singole istituzioni accademiche.

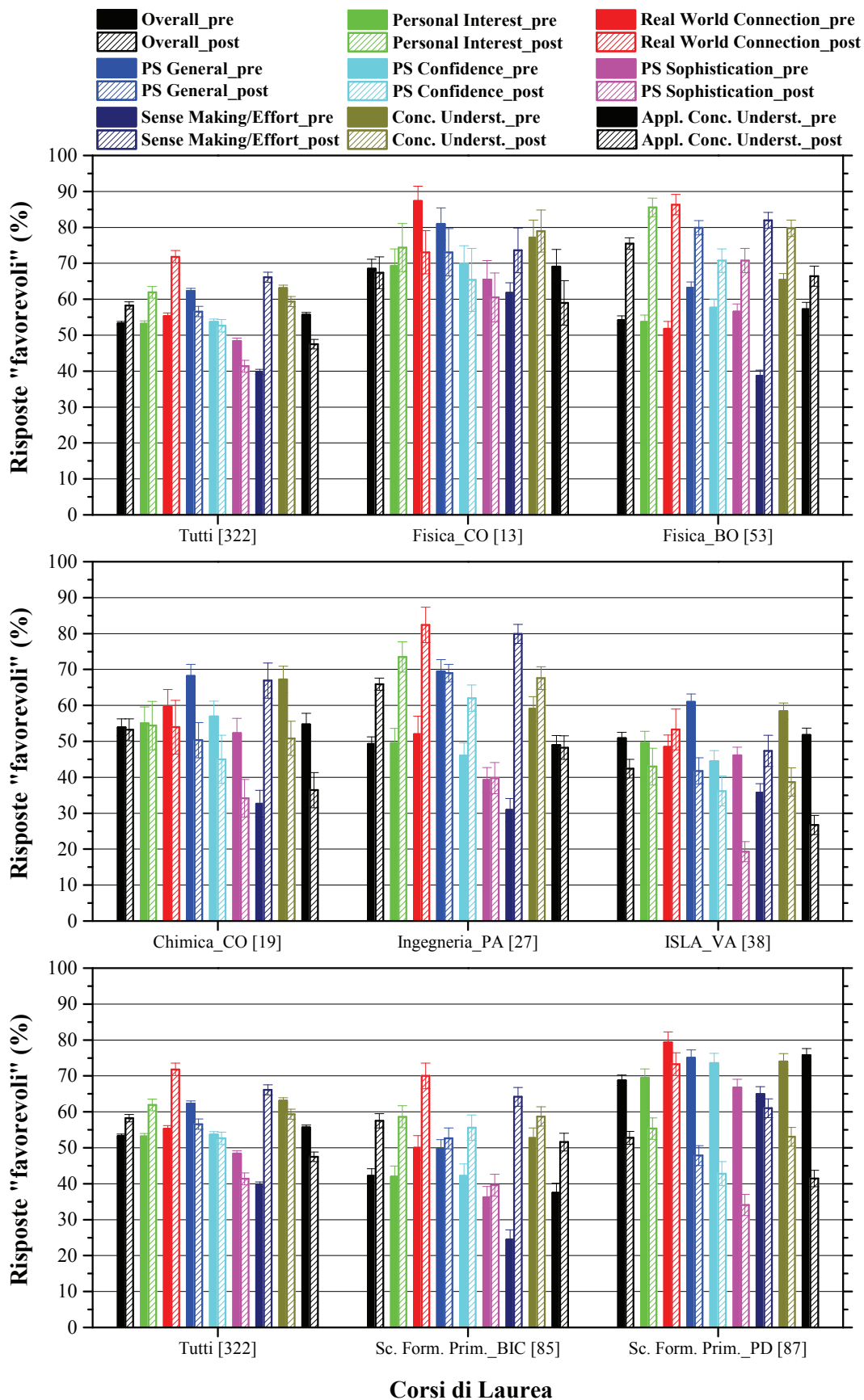


Figura 1.5: Percentuali delle risposte “favorevoli” del totale degli studenti e divisi per Corsi di Laurea prima e dopo il corso di fisica del primo anno. Sono rappresentate tutte le categorie e Overall.

Categorie	Shift pre/post Femmine	Shift pre/post Maschi
Overall	6.9 ± 2.3	4.4 ± 2.4
Personal Interest	9.9 ± 3.8	5.8 ± 4.0
Real World Connection	12.7 ± 3.9	6.8 ± 4.2
PS General	4.6 ± 3.2	4.7 ± 3.2
PS Confidence	7.3 ± 3.7	3.0 ± 3.9
PS Sophistication	4.0 ± 3.5	2.8 ± 4.1
Sense Making/Effort	4.7 ± 3.1	1.6 ± 3.1
Conceptual Understanding	6.4 ± 3.2	1.9 ± 3.5
Applied Conceptual Understanding	8.7 ± 2.9	2.9 ± 3.4

Tabella 1.3: Valori di spostamento con il corrispondente errore per le percentuali di risposte favorevoli raccolte prime e dopo il primo corso di fisica. Tutti gli spostamenti sono verso un pensiero più “esperto”.

Gli stessi corsi di Fisica di Como e di Bologna hanno percentuali di risposte favorevoli non solo molto diverse all’inizio del corso ma anche molto diverse come valori assoluti di spostamento. Mentre per Fisica di Como il dato Overall rimane quasi immutato o comunque porterebbe a un pensiero meno esperto, per il corso di Fisica di Bologna si ha un netto spostamento “positivo” che vale anche in tutte le categorie. Questo accade anche per i due corsi di Fisica a Scienze della Formazione a Padova e a Milano Bicocca. Dai dati in tabella 1.3 si può verificare come lo spostamento sia più ampio per la componente femminile dove per esempio nella categoria “Interesse personale” si passa da 49.2% a 59.1% con un incremento di 9.9 punti percentuali e nella categoria Real world connection da 59.1% a 71.8% con un incremento di 12.7 punti; percentualmente per le stesse categorie la componente maschile guadagna solo 5.8 punti per la prima e 6.8 punti per la seconda.

1.3.3 Evoluzione delle risposte nel percorso formativo

La Fig. 1.6 fornisce delle indicazioni in merito all’evoluzione delle concezioni epistemologiche durante il progredire degli studi dalla Scuola Secondaria di Secondo Grado fino al livello ricercatore. Il pensiero “epistemologico” riguardo alla fisica evolve avvicinandosi maggiormente alla posizione degli esperti con la prosecuzione dell’istruzione prima scolastica e poi universitaria. Infatti è possibile evidenziare cambiamenti significativi nel grado di pensiero verso il tipo “esperto” in corrispondenza dei momenti di ingresso e di uscita dai vari traguardi formativi sia scolastici che dal programma di laurea triennale che di laurea magistrale e oltre. In occasione della “School for Training in Experiments with Lasers and Laser Applications” (STELLA School) [15] è stato possibile somministrare il questionario a studenti già

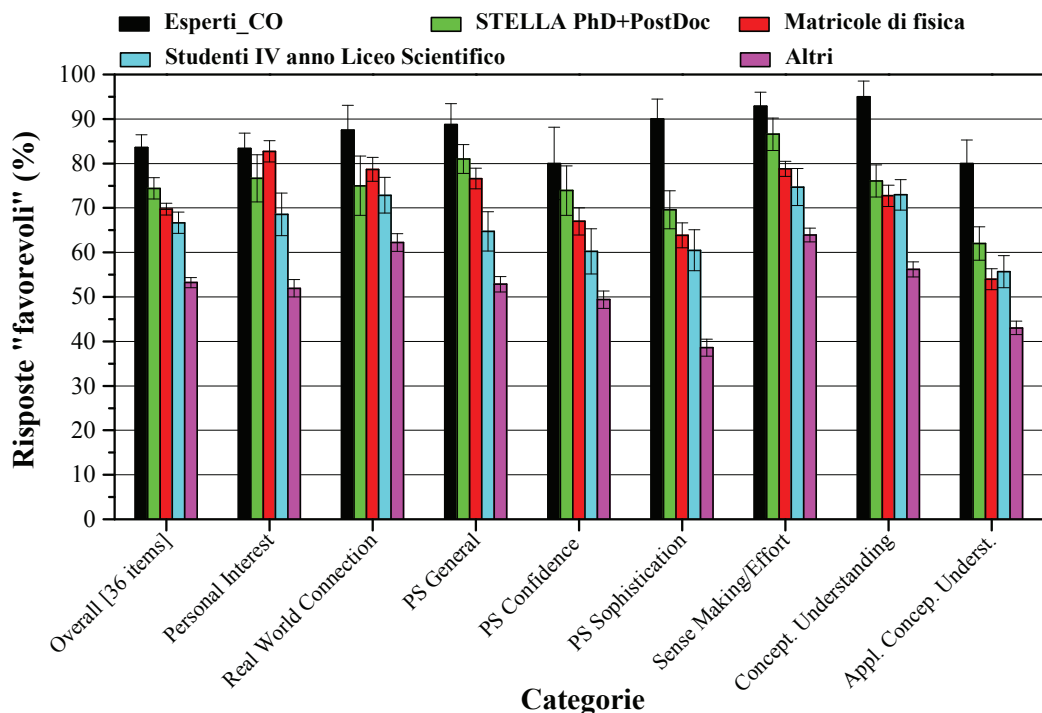


Figura 1.6: Percentuali delle risposte favorevoli al variare del livello di formazione scolastica acquisita, dalla fine della Scuola Secondaria fino al post-dottorato. Sono presi in considerazione anche i ricercatori e professori del Corso di Laurea in Fisica dell’Università degli Studi dell’Insubria.

laureati e a studenti frequentanti i corsi postdottorato anche di altre nazioni. In questo modo i dati raccolti possono essere rilette nell’ambito di una interpretazione pseudolongitudinale in cui la visione e le aspettative degli studenti vengono riviste nella loro evoluzione temporale nel susseguirsi dei vari livelli d’istruzione (Fig. 1.6). È possibile ritrovare un metodo simile di raccolta e analisi del questionari nei lavori di Bates *et al* [13] e Gire *et al* [19]. Per un maggior approfondimento in questa linea di analisi, abbiamo scorporato i dati relativi agli studenti provenienti dal liceo scientifico iscritti ai vari Corsi di Laurea. La Fig. 1.7 riporta le percentuali medie per tutti i corsi già analizzati e per tutte le categorie più Overall. Per essendo tutti studenti provenienti dal Liceo Scientifico, le percentuali di risposte “favorevoli” riproducono l’andamento visto nella Fig.1.1 della sezione 1.3.1. Tra tutti gli studenti che hanno frequentato il Liceo Scientifico, quelli che hanno scelto fisica mostrano un punteggio relativo alle opinioni personali riguardo alla fisica che li avvicina maggiormente al pensiero da “esperto”. Non sarebbe illecito pensare a un qualche effetto di auto selezione.

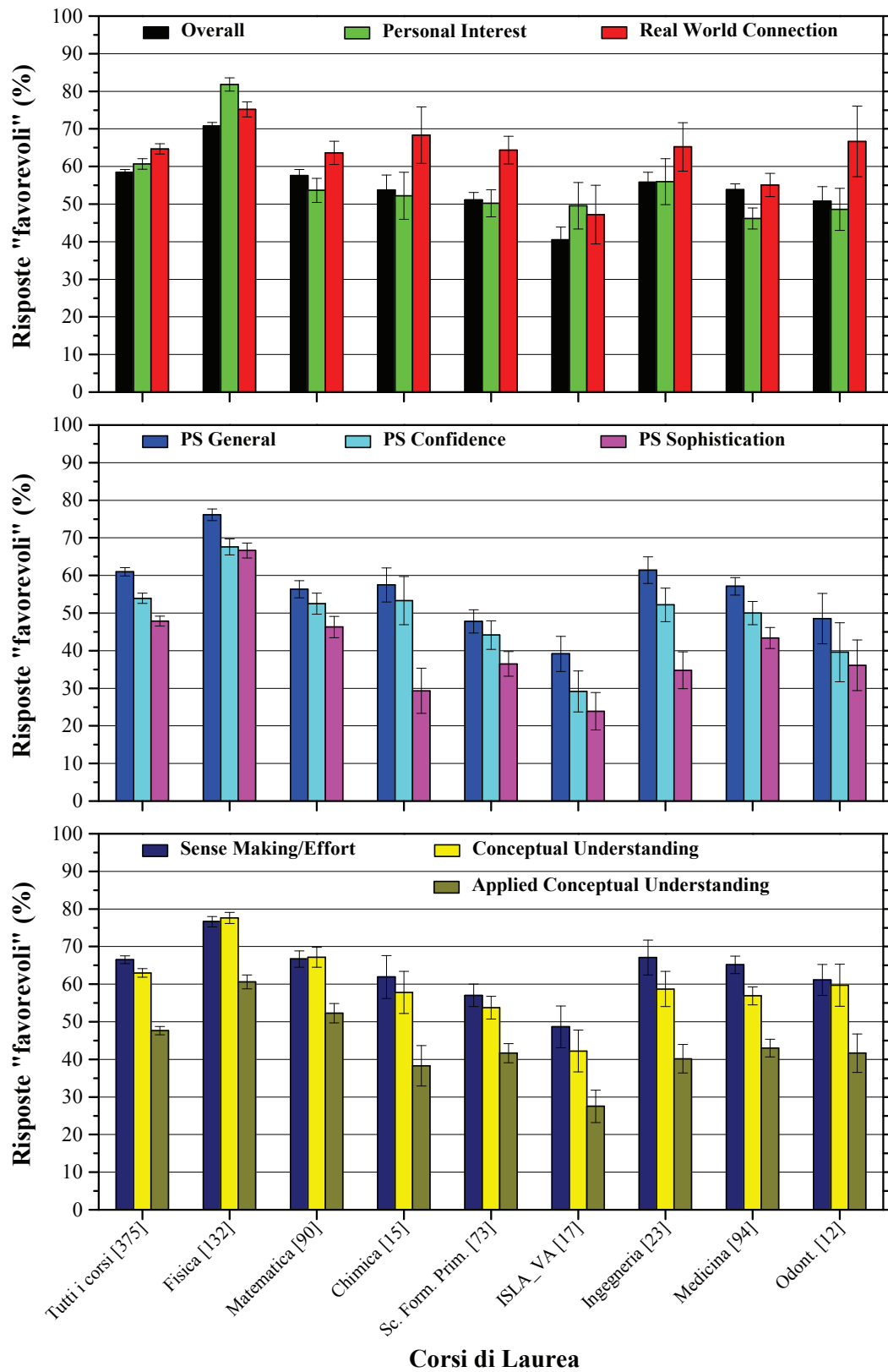


Figura 1.7: Percentuali delle risposte favorevoli al variare del Corso di Laurea limitatamente agli studenti che hanno frequentato il Liceo Scientifico.

Possiamo concludere che gli studenti abbiano scelto la Scuola Secondaria e il Corso di Laurea in base alle loro personali attitudini e convinzioni piuttosto che siano stati gli studi fatti a renderli più simili al profilo da “esperto” [14]. Tuttavia, per verificare questa congettura è necessario condurre ulteriori ricerche.

Per un maggior approfondimento in questa linea di analisi, abbiamo scorporato i dati relativi agli studenti provenienti dal liceo scientifico iscritti ai vari Corsi di Laurea. La Fig. 1.7 riporta le percentuali medie per tutti i corsi già analizzati e per tutte le categorie più Overall. Per essendo tutti studenti provenienti dal Liceo Scientifico, le percentuali di risposte “favorevoli” riproducono l’andamento visto nella Fig.1.1 della sezione 1.3.1. Tra tutti gli studenti che hanno frequentato il Liceo Scientifico, quelli che hanno scelto fisica mostrano un punteggio relativo alle opinioni personali riguardo alla fisica che li avvicina maggiormente al pensiero da “esperto”. Non sarebbe illecito pensare a un qualche effetto di auto selezione. Possiamo concludere che gli studenti abbiano scelto la Scuola Secondaria e il Corso di Laurea in base alle loro personali attitudini e convinzioni piuttosto che siano stati gli studi fatti a renderli più simili al profilo da “esperto” [14]. Tuttavia, per verificare questa congettura è necessario condurre ulteriori ricerche.

1.4 Discussione

Nelle pagine precedenti è stato descritto il Colorado Learning and Attitudes about Science Survey, un utile strumento per indagare le convinzioni e le attitudini verso la fisica e lo studio della fisica di un campione di studenti al primo anno di studi universitari. Il CLASS può essere utilizzato facilmente in diversi Corsi di Laurea che prevedano un corso di fisica, per fornire indicazioni a docenti e ricercatori in didattica sulle possibili preferenze “epistemologiche” degli studenti ossia sulle idee che guidano il processo di studio e di apprendimento della fisica. Tali idee possono determinare il successo o l’insuccesso nell’affronto dei corsi di fisica e la predisposizione degli studenti a continuare o troncane il loro percorso di studi.

Abbiamo iniziato ad usare questo strumento d’indagine nel tentativo di determinare le cause della difficoltà diffusa nell’insegnamento/apprendimento della Fisica alla Scuola Secondaria di Secondo Grado e al primo anno di Università, concentrandoci maggiormente sul primo ambito e senza l’intenzione di valutare gli stili di insegnamento che potenzialmente influenzano le convinzioni degli studenti. Più che sulle opinioni degli studenti su se stessi, ci siamo concentrati sulle indicazioni che si possono ricavare dalle risposte degli studenti sugli e per gli insegnanti.

Appare evidente dai risultati del questionario come studenti e studentesse abbiano una buona consapevolezza di cosa pensino i fisici esperti sulla fisica e sul modo di studiarla, anche se poi non ritengono valide per se stessi le medesime idee e atteggiamenti degli esperti. Sembra semplicemente che gli studenti non ritengano le opinioni degli esperti rilevanti e utili per se stessi, come se il mondo dei ricercatori fosse lontano, una specie di mondo a parte nel quale l'esperto di fisica, un po' per lavoro e un po' per attitudine e interesse personale, ha sviluppato certe capacità e attitudini [14]. Analizzando ulteriormente i dati, notiamo che le femmine mostrano una più marcata differenza tra il loro pensare personale e il loro pensare da "esperti" rispetto ai colleghi maschi, sia nel complesso dei corsi sia corso per corso. Inoltre, osserviamo che c'è poca differenza se si guardano i risultati della comparazione fra pensiero "personale" e "esperto" in base alla Scuola Secondaria di provenienza degli studenti. Appare come le risposte date dagli studenti immedesimandosi in un ricercatore esperto non siano influenzate dalla loro Scuola Secondaria di provenienza, e che le risposte sulle convinzioni personali sono influenzate più da vere attitudini personali che prescindono dalla scuola di provenienza. Da quest'ultima osservazione possiamo trarre un'indicazione per gli insegnanti: per far crescere negli studenti degli atteggiamenti e delle attitudini verso la fisica e lo studio della fisica da "esperti" è necessario nella pratica didattica andare oltre il semplice "dire" o raccontare come i fisici affrontano la realtà Fisica. pensando percorsi grazie ai quali gli studenti si trovino immersi, a contatto con il modo di pensare "esperto". Inoltre è necessario convincersi di come questo processo, lungo e poco scontato, possa lasciare una traccia più profonda oltre le mere conoscenze [13].

Possiamo dire che il CLASS ci ha fornito indicazioni indirette anche sui docenti. Se da una parte era prevedibile che i risultati complessivi mostrino che studenti iscritti a Corsi di Laurea diversi rispondano in modo diverso, ciò che è più interessante è che, mediamente, gli studenti di Matematica, di Chimica, di Biologia e di Ingegneria totalizzino un punteggio lontano da quello considerato alto cioè vicino agli "esperti". Questi stessi studenti potranno in un futuro essere docenti di scienze e fisica nella Scuola Secondaria di Primo e Secondo Grado. D'altro canto, Scienze della Formazione Primaria sfornerà i futuri e le future insegnanti delle Scuole Primarie. La domanda che emerge è quindi: come faranno a educare ad un pensiero "da fisici" se loro stessi non lo posseggono? Chiaramente non si chiede a una maestra elementare di sapere la fisica come un ricercatore, ma di saper veicolare e far crescere nella didattica curricolare quegli atteggiamenti e quelle

attitudini verso lo studio del mondo reale che riconosciamo come ‘positivi’ e ‘utili’ in un percorso di formazione globale della persona.

Dall’analisi dei dati e dalle considerazioni precedenti sorgono ulteriori questioni che richiedono ricerche su un campione più numeroso e differenziato.

Vista la caratterizzazione degli studenti in base alle loro concezioni epistemologiche, può il CLASS diventare un ulteriore strumento di orientamento per la scelta universitaria?

I risultati chiaramente diversificati tra maschi e femmine, possiamo dire che in qualche modo il mondo femminile è “svantaggiato” nello studio delle scienze e in particolare della fisica? Come dire che una femmina parte teoricamente in vantaggio rispetto a un maschio, nel senso che conosce più chiaramente dove dovrebbe arrivare, ma poi nelle convinzioni personali succede qualcosa per cui a conti fatti viene superata dal maschio? In questo non ci si riferisce alla capacità di studio o di successo negli esami universitari, ma proprio al pensiero da fisico, a quello sguardo curioso e indagatore tipico del ricercatore. Quali percorsi sono necessari per portare i docenti a saper trasmettere quello stile “esperto” nello studio della realtà? Quali sono gli insegnanti bravi e quali no in questa prospettiva? A conclusione di questa indagine, pensiamo che sarebbe opportuno utilizzare il CLASS per anche con i docenti delle Scuole Secondarie e seguendo gli studenti nel loro percorso scolastico.

Allegati alla Parte I

Qui di seguito sono riportati due allegati

Allegato A.1

- Il testo con la traduzione italiana del Colorado Learning Attitude about Science Survey (CLASS) così come è stato proposto agli studenti
- Il testo originale inglese delle affermazioni (items) contenute nel CLASS

Allegato A.2

L'elenco delle categorie nelle quali sono state raggruppate le varie affermazioni (items) con l'indicazione del numero corrispondente nel questionario.

A.1 Testo del questionario CLASS



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia

PIANO LAUREE SCIENTIFICHE 2013/14

INDAGINE SULLE CONVINZIONI DEGLI STUDENTI IN MERITO ALLE SCIENZE FISICHE E AL LORO STUDIO

Nota Informativa in merito al progetto:

Sei invitato a partecipare a questo progetto di ricerca finalizzato a raccogliere informazioni sulla percezione della fisica e il suo studio per utilizzarle nell'indagine di nuove metodologie didattiche.

Il progetto è condotto sotto la direzione della Dott. Maria Bondani e di Fabrizio Favale dell'Università degli Studi dell'Insubria di Como (+39-031-2386252).

Il questionario richiede circa 15 minuti del tuo tempo. Ti viene richiesto di compilarlo due volte: all'inizio e alla fine del corso.

I tuoi dati personali (privacy) non saranno in alcun modo accessibili ad altri che non siano i ricercatori coinvolti e non compariranno nelle pubblicazioni relative ai risultati di questo studio.

I tuoi dati personali non saranno messi in alcun modo in relazione con le risposte e non saranno in alcun modo utilizzati per fini valutativi della tua preparazione accademica. La partecipazione a questa indagine è volontaria. Non è necessaria alcuna firma su questo documento.

Nella tabella che segue sono presentate delle affermazioni che riguardano lo studio e l'apprendimento della fisica. Esprimi la **tua personale** opinione (riga "tu") in merito alle affermazioni.

Nella seconda riga ("ric") ti chiediamo di rispondere come pensi che risponderebbero dei docenti/ricercatori in fisica.

Esprimi le tue opinioni indicando il grado di accordo con le affermazioni.

La scala di riferimento è crescente da 1 a 5:

1= per nulla d'accordo, 2= poco d'accordo, 3= incerto, 4= d'accordo, 5= pienamente d'accordo

Se una affermazione non è comprensibile, la lasci in bianco.

Se è comprensibile ma non hai un'opinione ben definita indica il valore tre (3)

È fondamentale compilare i seguenti campi richiedenti alcuni dati personali

Maschio Femmina Nome Cognome (anche di fantasia da ricordare)

Scuola superiore frequentata:..... Iscritto al Corso di Laurea in:.....

Grado di accordo con le affermazioni		1	2	3	4	5
1. Un problema importante nello studiare fisica è quello di essere capaci di memorizzare tutte le informazioni che bisogna conoscere.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Quando devo risolvere un problema di fisica cerco di prevedere quale possa essere un valore ragionevole del risultato.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Penso ai concetti di fisica che sperimento nella vita quotidiana.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Ritengo che sia utile risolvere molti problemi se voglio imparare la fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Dopo aver studiato un argomento di fisica e mi sembra di averlo capito, ho difficoltà a risolvere i problemi riguardanti quello stesso argomento.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. La conoscenza in fisica è costituita da molti argomenti non connessi tra loro.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Più i fisici imparano cose nuove, più è probabile che molte idee fisiche che usiamo oggi si riveleranno sbagliate.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Quando devo risolvere un problema di fisica, individuo l'equazione che contiene le variabili date nel problema e inserisco in essa i dati.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Trovo che una lettura dettagliata del testo sia per me un buon metodo per imparare la fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Di solito c'è un solo approccio corretto per risolvere i problemi di fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Non sono soddisfatto finché non capisco perché una cosa funziona così come funziona.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Non posso imparare la fisica se l'insegnante non spiega bene in classe.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Non mi aspetto che le equazioni fisiche possano aiutarmi a comprendere i concetti, servono solo per i calcoli.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Studio la fisica per avere delle conoscenze che mi serviranno nella mia vita fuori dalla scuola.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Se mi blocco su un problema di fisica al primo tentativo, di solito cerco di immaginarmi un modo diverso per risolverlo.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Quasi tutti sono in grado di capire la fisica se ci si applicano.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. Capire la fisica significa principalmente essere capaci di richiamare ciò che si è letto o che ti è stato mostrato.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Ci potrebbero essere due valori differenti per la soluzione di un problema di fisica se si sono usati due approcci diversi.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Per comprendere la fisica, ne discuto con gli amici e gli altri studenti.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Non sto più di 5 minuti su un problema quando sono bloccato, prima di chiedere un aiuto o rinunciare alla soluzione.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Se non mi ricordo una particolare equazione necessaria per risolvere un problema durante un esame non c'è nulla che io possa fare (legalmente) per venirme a capo.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Se voglio applicare un metodo utilizzato per risolvere un problema fisico ad un altro problema questi due problemi devono coinvolgere situazioni fisiche molto simili.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Nel risolvere un problema di fisica se i calcoli danno un risultato molto diverso da quello che avevo previsto devo avere fiducia nel risultato del calcolo invece di ricominciare con il problema.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. In fisica per me è importante dare un senso alle formule prima di poterle utilizzare correttamente.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. A me piace risolvere i problemi di fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. In fisica le formule matematiche esprimono relazioni significative tra quantità misurabili.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. È importante che il governo approvi le nuove idee scientifiche prima che esse siano generalmente accettate da tutti.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. Studiare fisica cambia le mie idee su come funziona il mondo.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Per imparare fisica ho solo bisogno di memorizzare le soluzioni di problemi di esempio.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

30. La capacità di ragionamento utilizzato per capire la fisica mi può essere utile nella vita quotidiana.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Usiamo questa affermazione per scartare le persone del sondaggio che non stanno leggendo le domande. Si prega di selezionare "d'accordo"(non " pienamente d'accordo") per questa domanda	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Spendere molto tempo per capire da dove arriva una formula è una perdita di tempo.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. Penso che analizzare in dettaglio solo pochi problemi sia un buon modo per imparare fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. Io normalmente riesco a trovare un modo per risolvere i problemi di fisica.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35. Gli argomenti di fisica hanno poca relazione con ciò di cui faccio esperienza nel mondo reale.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36. Alcune volte risolvo in più modi i problemi di fisica per aiutare la mia comprensione .	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37. Per capire la fisica alcune volte penso alle mie esperienze personali e le metto in relazione all'argomento che sto studiando.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38. È possibile spiegare idee fisiche senza usare formule matematiche.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39. Quando risolvo un problema di fisica penso in modo esplicito a quali idee di fisica si applicano al problema.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40. Se mi blocco su un problema di fisica non vi è alcuna possibilità di capirlo da solo.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41. È possibile per i fisici eseguire con cura lo stesso esperimento e ottenere due risultati molto diversi che sono entrambi corretti.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42. Quando studio fisica corrolo le informazioni più importanti a ciò che già conosco piuttosto che memorizzarle semplicemente nel modo in cui sono presentate.	tu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	ric	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CLASS Items

1. A significant problem in learning physics is being able to memorize all the information I need to know.
2. When I am solving a physics problem, I try to decide what would be a reasonable value for the answer.
3. I think about the physics I experience in everyday life.
4. It is useful for me to do lots and lots of problems when learning physics.
5. After I study a topic in physics and feel that I understand it, I have difficulty solving problems on the same topic.
6. Knowledge in physics consists of many disconnected topics.
7. As physicists learn more, most physics ideas we use today are likely to be proven wrong.
8. When I solve a physics problem, I locate an equation that uses the variables given in the problem and plug in the values.
9. I find that reading the text in detail is a good way for me to learn physics.
10. There is usually only one correct approach to solving a physics problem.
11. I am not satisfied until I understand why something works the way it does.
12. I cannot learn physics if the teacher does not explain things well in class.
13. I do not expect physics equations to help my understanding of the ideas; they are just for doing calculations.
14. I study physics to learn knowledge that will be useful in my life outside of school.
15. If I get stuck on a physics problem on my first try, I usually try to figure out a different way that works.
16. Nearly everyone is capable of understanding physics if they work at it.
17. Understanding physics basically means being able to recall something you've read or been shown.
18. There could be two different correct values to a physics problem if I use two different approaches.
19. To understand physics I discuss it with friends and other students.
20. I do not spend more than five minutes stuck on a physics problem before giving up or seeking help from someone else.
21. If I don't remember a particular equation needed to solve a problem on an exam, there's nothing much I can do legally to come up with it.
22. If I want to apply a method used for solving one physics problem to another problem, the problems must involve very similar situations.

23. In doing a physics problem, if my calculation gives a result very different from what I'd expect, I'd trust the calculation rather than going back through the problem.
24. In physics, it is important for me to make sense out of formulas before I can use them correctly.
25. I enjoy solving physics problems.
26. In physics, mathematical formulas express meaningful relationships among measurable quantities.
27. It is important for the government to approve new scientific ideas before they can be widely accepted.
28. Learning physics changes my ideas about how the world works.
29. To learn physics, I only need to memorize solutions to sample problems.
30. Reasoning skills used to understand physics can be helpful to me in my everyday life.
31. We use this question to discard the survey of people who are not reading the statements. Please select agree—option 4 “not strongly agree” to preserve your answers.
32. Spending a lot of time understanding where formulas come from is a waste of time.
33. I find carefully analyzing only a few problems in detail is a good way for me to learn physics.
34. I can usually figure out a way to solve physics problems.
35. The subject of physics has little relation to what I experience in the real world.
36. There are times I solve a physics problem more than one way to help my understanding.
37. To understand physics, I sometimes think about my personal experiences and relate them to the topic being analyzed.
38. It is possible to explain physics ideas without mathematical formulas.
39. When I solve a physics problem, I explicitly think about which physics ideas apply to the problem.
40. If I get stuck on a physics problem, there is no chance I'll figure it out on my own.
41. It is possible for physicists to carefully perform the same experiment and get two very different results that are both correct.
42. When studying physics, I relate the important information to what I already know rather than just memorizing it the way it is presented.

A.2 Categorie per l'analisi delle risposte al CLASS

Categorie	Items del questionario
Personal Interest	3-11-14-25-28-30
Real World Connection	28-30-35-37
Problem Solving (PS) General	13-15-16-25-26-34-40-42
PS Confidence	15-16-34-40
PS Sophistication	5-21-22-25-34-40
Sense Making / Effort	11-23-24-32-36-39-42
Conceptual Understanding	1-5-6-13-21-32
Applied Conceptual Understanding	1-5-6-8-21-22-40
Not Scored	4-7-9-31-33-41

Parte II

Proposte di Didattica Laboratoriale

Introduzione

Nel periodo dal 1995 al 2006, sempre meno studenti italiani hanno frequentato i corsi universitari delle cosiddette “scienze dure”, matematica, fisica e chimica. Inoltre, la gran parte degli studenti delle scuole superiori ha mostrato una mancanza di interesse verso lo studio della matematica e della fisica [20–22]. Per affrontare questa situazione, sono nate molte attività volte a rendere più attraente e coinvolgente l’insegnamento della fisica e della matematica. Contemporaneamente è iniziata una seria e profonda riflessione sulla didattica tradizionale, un pilastro della quale è la lezione frontale con gli allievi che ascoltano, imparano e ripetono. Una delle azioni più importanti è il Piano Lauree Scientifiche (PLS - Fisica) [22], promosso dalle Facoltà di Scienze e finanziato dal Ministero dell’Istruzione e dell’Università, attivo a partire dal 2005. In aggiunta al PLS, altre iniziative sono state finanziate a livello locale da organizzazioni o fondazioni. Recentemente le iscrizioni ai corsi di laurea scientifici sono notevolmente aumentate, forse anche grazie agli sforzi di miglioramento della qualità dell’insegnamento portate avanti negli ultimi anni.

Tra i diversi tentativi condotti negli anni per migliorare la qualità dell’insegnamento, abbiamo investigato due aspetti a nostro giudizio particolarmente rilevanti, ovvero l’analisi dei preconcetti e misconcetti nel processo di apprendimento delle scienze e il ruolo della didattica laboratoriale.

Lo studio dei preconcetti e dei misconcetti in ambito didattico ha ricevuto una spinta dall’approccio costruttivista alla teoria dell’apprendimento. Secondo tale approccio, chi apprende, qualsiasi età abbia, è parte attiva nel proprio processo di apprendimento, in quanto “costruisce” la propria conoscenza a partire dall’interpretazione e dalla rielaborazione personale dell’esperienza [23–26]. Per apprendere nuovi concetti, quindi, uno studente mette in campo interamente le sue risorse personali che comprendono anche schemi di ragionamento e conoscenze pregresse acquisite nei modi più diversi.

Per questa ragione lo studente non può mai essere considerato un foglio bianco

su cui il docente deve semplicemente trascrivere delle informazioni trasferendo in modo nozionistico le proprie conoscenze, ma piuttosto un serbatoio di informazioni e idee già elaborate di cui il docente deve essere consapevole. I preconcetti che emergono nell'affrontare un nuovo argomento di studio sono l'inevitabile e necessario frutto dell'elaborazione delle varie conoscenze ed esperienze pregresse [27]. I preconcetti, che potremmo chiamare anche "preconoscenze", non sono quindi negativi a priori, ma rappresentano un dato di cui prendere atto per comunicare nuovi contenuti didattici in modo efficace, soprattutto nel caso in cui essi siano dei "misconcetti", ovvero interpretazioni errate dei dati dell'esperienza.

Nell'ambito della didattica delle scienze e della matematica emerge in maniera chiara come gli studenti abbiano le proprie opinioni e intuizioni sui fenomeni fisici derivanti da nozioni pregresse, ricavate sia da lezioni in classe che dall'interazione con il mondo fisico e sociale. Talvolta queste credenze o opinioni sono molto diverse rispetto alle idee scientificamente accettate e presentate in classe [28]. È quindi estremamente importante valutare quanto gli studenti già sanno e che tipo di conoscenze abbiano.

Uno strumento largamente usato per la ricognizione dei preconcetti e dei misconcetti in ambito didattico e in particolare nella didattica delle scienze, è quello dei questionari nei quali vengono presentate situazioni fisiche legate all'esperienza comune e viene richiesto di rispondere sulla base della propria esperienza piuttosto che sulla base di nozioni scolastiche. Nel seguito di questa tesi mostreremo i risultati di un questionario volto a sondare i misconcetti inerenti alla luce presenti nei ragazzi del quarto anno della Scuola Secondaria di Secondo Grado.

L'indagine sulle preconoscenze e sul quel buon senso, a volte fuorviante, che spesso segna le conoscenze degli studenti e non solo, è il primo passo nel percorso di insegnamento/apprendimento. C'è poi la lezione, frontale o di laboratorio, dimostrativa o esperienziale (imparo facendo). Uno sguardo onesto alle classi delle Scuole Secondarie di Primo e Secondo Grado, evidenzia come la tradizione didattica della scuola italiana sia fondata quasi interamente su un approccio deduttivo secondo cui nozioni, concetti e schemi logici vengono prima studiati e poi, eventualmente, verificati nella pratica. Poiché questa prassi didattica si rivela spesso inadeguata ad interessare e coinvolgere gli studenti durante le lezioni e anche ad ottenere un adeguato apprendimento dei contenuti, sembra naturale cercare di intervenire adottando un approccio didattico più sperimentale e pratico, che coinvolga gli studenti in modo attivo e consapevole. Non si tratta certamente solo del "fare" ma del "fare riflessivo" [29] su cui si può costruire una conoscenza struttura-

ta. L'attività di laboratorio e la pratica laboratoriale non sono infatti qualcosa di accessorio e separato dal consueto procedere didattico, che prevede che lo studente semplicemente ascolti il docente che parla, in una "scuola dell'ascolto", ma sono il fondamento della "scuola dell'operare" [29,30], dove docenti e studenti si mettono in gioco personalmente in attività che implicano anche un nuovo livello di relazioni personali. Per attuare una didattica laboratoriale è infatti necessario che i docenti escano dal ruolo di semplici attuatori dei programmi ministeriali dedicando tempo e immaginazione alla progettazione, alla riflessione e alla ricerca. La ricerca, infatti, "prima di essere una metodologia di soluzione di problemi intenzionale e sistematica elaborata da esperti è un modo naturale di comportarsi della mente, in quanto la mente di per sé ha strutture e funzioni per avvertire e risolvere problemi: compito dell'educazione è quello di rafforzare ed affinare i naturali poteri di ricerca dei nostri allievi." [29]. In un approccio laboratoriale, la fase di ricerca personale di informazioni e soluzioni è un punto fondamentale da curare e sviluppare [33]. "L'attività di laboratorio educa ad un percorso di apprendimento flessibile con la possibilità di fare scelte continue e ad un modo collettivo di fare cultura: con il corpo e con le mani, più che con i simboli e l'apparato percettivo l'allievo risponde ai problemi cognitivi posti dall'insegnamento, interagisce e confronta le sue competenze con quelle del gruppo." [29].

La riflessione su quella che viene chiamata "didattica laboratoriale" sicuramente non è recente. Per rendersene conto basta considerare la revisione critica sull'uso del laboratorio nella didattica delle scienze nell'articolo di Hofstein e Lunetta del 2004 [31]

Nel solco di questa tensione innovatrice della didattica, si sono sviluppate in Italia e in Europa diverse esperienze, tra le quali la metodologia chiamata "Inquiry Based Science Education" è quella che più si avvicina alla didattica laboratoriale [34–37]. Nel contesto della promozione della didattica laboratoriale nell'insegnamento della fisica nella Scuola Secondaria di Secondo Grado, presso il Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia dell'Università degli Studi dell'Insubria sono stati sviluppati percorsi concettuali e pratici per insegnare i principi dell'ottica e della fisica dei fluidi. L'ottica, infatti, è una grande opportunità per affrontare una parte della nostra esperienza quotidiana e offre soggetti adatti a dimostrazioni efficaci e con spiegazioni semplici ma non banali. Pensiamo ad esempio ai fenomeni ottici in atmosfera, quali il colore blu del cielo, il colore dell'alba e del tramonto, l'arcobaleno e molti altri [32], o alla visione, alla fotografia, ai colori, all'interferenza e all'olografia. Tra i molti argomenti possibili, durante l'attività di dottorato, ci

siamo dedicati allo studio dell'arcobaleno e dell'olografia. Per quanto concerne lo studio della fisica dei fluidi, il percorso proposto è incentrato su attività pratiche di subacquea effettuate in piscina con l'aiuto di esperti di immersioni. Il luogo in cui si sviluppa la didattica laboratoriale non è, infatti solo il laboratorio didattico standard, ma qualunque luogo in cui si possano effettuare osservazioni mirate e quantitative. Nel caso dell'attività sulla fisica dei fluidi, parte degli esperimenti richiedevano anche osservazioni sul funzionamento del corpo degli stessi sperimentatori, garantendo così il massimo del coinvolgimento personale.

Come ultima osservazione sulla didattica laboratoriale, facciamo notare che, ove possibile, le attività proposte sono state realizzate utilizzando materiali "poveri" o a basso costo per costruire gli apparati sperimentali e software gratuiti per l'analisi dei dati. Questo facilita la riproducibilità delle esperienze didattiche in ambito scolastico.

Capitolo 2

Misconcetti in ottica

Durante le attività didattico/divulgative di Ottica realizzate presso il Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia a Como, abbiamo utilizzato un questionario volto a sondare i misconcetti inerenti alla luce presenti nei ragazzi del quarto anno della Scuola Secondaria Superiore [38]. Il questionario non fa parte di un'indagine sistematica ed è stato utilizzato anche come mezzo per introdurre in maniera diretta e veloce gli argomenti dei vari corsi: gran parte degli argomenti compresi nel questionario diventano poi oggetto di discussione e sperimentazione durante i corsi stessi.

Negli corso degli ultimi anni, a partire dal 2011, il questionario è stato proposto a più di 300 studenti, alcuni dei quali avevano già studiato ottica geometrica.

Il questionario utilizza un insieme di domande aperte e a scelta multipla. Il testo integrale del questionario è riportato nell'Allegato B.1.

Le domande sono formulate per investigare se e come gli studenti siano in grado di applicare le loro conoscenze a situazioni fisiche semplici che si possono incontrare nella vita quotidiana o che possono essere facilmente immaginate. Abbiamo impiegato alcune domande tratte da studi precedenti sui preconcetti e misconcetti riguardo alla luce [39–42] che ne hanno dimostrato la validità e l'efficacia. Il nostro questionario è composto da 18 quesiti. Globalmente, i risultati del questionario sono interessanti e mostrano il radicamento di concetti sbagliati ed idee ingenuie sui colori, il tracciamento dei raggi e la formazione delle immagini sia in riflessione che in rifrazione.

Nelle sezioni seguenti analizziamo i risultati del questionario raggruppando le domande per argomento.

2.1 Formazione delle immagini

Abbiamo proposto alcune domande sulla formazione dell'immagine con specchi e lenti. Abbiamo assunto che gli studenti non avessero una profonda conoscenza della tecnica del tracciamento dei raggi che si usa in ottica geometrica.

Consideriamo le risposte alla domanda a scelta multipla 5. *Con una lente realizziamo su uno schermo l'immagine di una candela. Se copriremo metà della lente cosa vedremmo sullo schermo?*

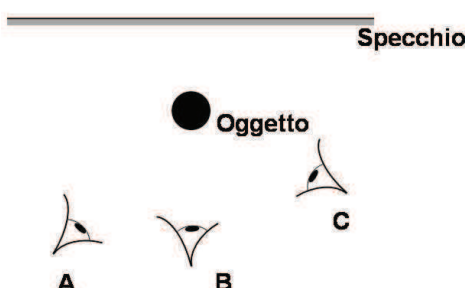


Figura 2.1: Immagine illustrativa della domanda 2. *C'è un oggetto su un tavolo. L'oggetto è posto davanti a uno specchio e tu come osservatore sei seduto davanti allo specchio in tre possibili posizioni A, B e C. Indica dove sarà posizionata l'immagine dell'oggetto secondo ciascun punto di osservazione.*

Solo il 17% degli studenti ha dato la risposta corretta (*Comunque l'immagine intera della candela*), e il 16% degli studenti ha pensato che l'immagine sarebbe risultata sfocata. Il risultato interessante è che quasi la metà degli studenti (40%) crede che metà dell'immagine sarebbe scomparsa. I numeri di quelli che non hanno risposto (13%) o hanno risposto *Non saprei* (13%) possono essere sommati. La percentuale piuttosto grande di mancate risposte insieme a quella delle risposte sbagliate mostra ampie difficoltà nella comprensione del principio di funzionamento dell'obiettivo e della propagazione della luce.

Nella domanda 2 chiediamo agli studenti di contrassegnare la posizione dell'immagine di un oggetto (Fig. 2.1) vista da tre diversi osservatori in uno specchio piano. In questo caso la risposta corretta è stata scelta dal 13% degli studenti, ma la maggior parte di loro non ha dedotto la posizione dell'immagine tracciando i raggi. Alcune risposte tipiche sono riportate in Fig. 2.2. Notiamo che in entrambi i casi l'immagine viene posizionata proprio sulla superficie dello specchio.

Nel disegno "A" l'immagine viene posizionata nella linea di visione, in evidente

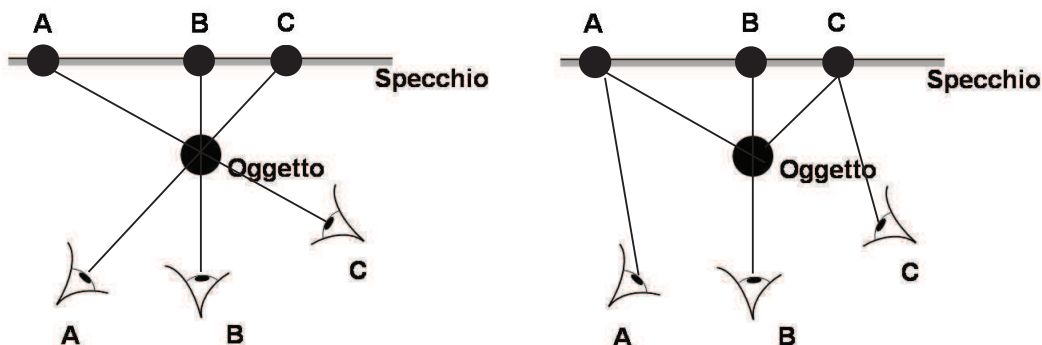


Figura 2.2: Due risposte tipiche degli studenti alla domanda 2 del questionario.

contrasto con l’esperienza diretta. Nel disegno “B” l’immagine si trova proprio davanti all’osservatore senza rispettare la semplice legge di riflessione.

Nella domanda 13, una matita e uno specchio piano sono disposti su un tavolo. L’osservatore guarda nello specchio l’immagine della matita (Fig. 2.3). La lampada è l’unica sorgente luminosa nella stanza e l’esperimento viene eseguito in una stanza buia. Si chiede agli studenti cosa accade alla posizione dell’immagine della matita vista dall’osservatore quando la lampada viene sollevata un po’ più in alto. La domanda ha tre possibili risposte (*Si muove verso l’alto, Si muove verso il basso, Rimane nello stesso punto*). Meno del 60% (58,5%) degli studenti ha avuto l’idea giusta che l’immagine rimane nello stesso posto, mentre il 30% pensa che si abbassi e il 7,4% che si alzi. Le risposte rimanenti sono “non risposto”. C’è

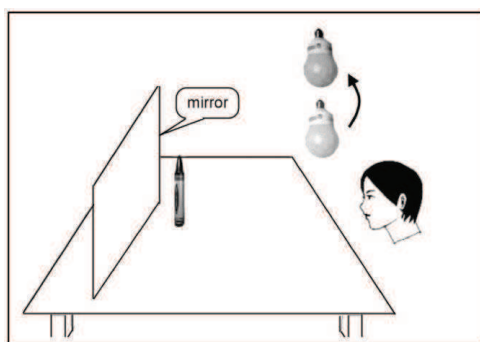


Figura 2.3: Immagine illustrativa della domanda 13. *Una matita è posta davanti a uno specchio piano su un tavolo in una stanza completamente oscurata. Un osservatore guarda l’immagine della matita allo specchio. Una lampadina è l’unica sorgente luminosa nella stanza ed è posta appena sopra l’osservatore. Se la lampada viene sollevata in altezza l’immagine della matita...*

una piccola differenza nella percentuale di risposte corrette se consideriamo solo la frazione di studenti che avevano già intrapreso un corso di ottica. In questo caso la percentuale di risposta corretta aumenta al 70%. Ma noi pensiamo che sia ancora bassa considerando che tutti noi siamo abituati a vedere le nostre immagini e le immagini degli oggetti in uno specchio sotto diverse illuminazioni. Seguendo le tesi di Pompea [43] pensiamo che ci siano molte origini di questo tipo equivoco. Innanzitutto, gli studenti non pensano alla luce come qualcosa che si muove ma piuttosto immaginano solo la sua sorgente (il sole, una lampadina, ecc.) [43]. In secondo luogo, gli studenti, come tante altre persone, non si rendono conto che quando guardano un oggetto i loro gli occhi ricevono luce. Inoltre, la nozione che gli occhi generano luce che irradia verso l'esterno è piuttosto comune [43]. Anche se probabilmente conoscono i concetti di immagine virtuale e reale formate da uno specchio e sono anche in grado di calcolare la loro posizione rispetto allo specchio, queste competenze non corrispondono a una reale consapevolezza nel tracciamento dei raggi e ad una reale comprensione della fisica della formazione dell'immagine.

2.2 Propagazione della luce

Nel questionario abbiamo incluso tre domande su diversi aspetti della propagazione della luce: la domanda n. 8 chiede se la velocità della luce può cambiare o no, la domanda n. 9 chiede se la luce sceglie sempre il percorso più breve e la domanda n. 14 chiede cosa succede ad un'immagine se eliminiamo l'aria all'interno di una camera oscura [41].

Le domande n. 8 e 9 richiedono una risposta tipo vero/falso e più del 60% degli studenti ha risposto in modo sbagliato. La domanda n. 14 è a scelta multipla: il 46,8% delle risposte risulta corretto (nessun cambiamento), mentre il 20,4% degli studenti pensa che l'immagine scomparirà e il 13,9% crede che l'immagine si trasformerà in un punto luminoso. I risultati nel suo complesso mostrano che agli studenti non è chiaro in che misura la propagazione della luce sia influenzata dal mezzo in cui la luce propaga.

Alcune risposte sono in contraddizione tra loro. La stessa persona da un lato prevede una velocità della luce sempre uguale indipendentemente dal mezzo in cui viaggia mentre, dall'altro lato, l'assenza di aria dovrebbe impedire la formazione di immagini (cioè l'arrivo della luce sullo schermo). Ancora una volta, l'origine principale di questi errori è verosimilmente che gli studenti non pensano alla luce come qualcosa che effettivamente propaga attraverso lo spazio ma solo come sor-

genti luminose o immagini su uno schermo.

Inoltre, gli studenti sembrano incapaci di utilizzare la loro esperienza diretta per motivare le loro risposte: ad esempio, rispondere correttamente alla domanda n. 14 sarebbe facile ricordando che possiamo effettivamente osservare le stelle attraverso lo spazio vuoto.

2.3 Colori

Il problema della natura dei colori è complesso poiché coinvolge molti aspetti dell'interazione fra la luce e la materia. Nel questionario abbiamo incluso tre domande sui colori: la domanda n. 1 chiede se il colore sia una proprietà intrinseca degli oggetti, la domanda n. 18 chiede quale sia il colore delle ombre e la domanda n. 11 chiede perché la pupilla degli occhi è nera. Le risposte degli studenti a queste domande sono parzialmente sbagliate. Riassumiamo i risultati nella Tabella 2.4.

Le tre domande riguardano aspetti diversi della fenomenologia dei colori: il colore come risultato della sottrazione di luce per assorbimento da parte di un oggetto opaco, il colore come dipendente dall'illuminazione con luce colorata e il significato di apparire "nero". I risultati mostrano molta confusione sul tema. Nella nostra esperienza abbiamo scoperto che anche dopo una spiegazione dettagliata dei diversi aspetti del fenomeno, gli studenti ancora falliscono nell'identificare il colore di un oggetto quando è illuminato da una luce monocromatica.

Domanda	Risposta 1	Risposta 2	Risposta 3
1. Il colore è una proprietà intrinseca di ogni corpo.	Vero 23.8%	Falso 71.8%	
11. Perché la pupilla dell'occhio appare nera?	E' di colore nero 21.7%	E' un buco 60.7%	Altro 11.8%
18. Il colore dell'ombra di un oggetto...	dipende dal colore della luce che lo illumina 7.1%	dipende dal colore della luce diffusa nell'ambiente 20.1%	e' sempre nera 70.6%

Figura 2.4: Domande e risposte sui colori.

2.4 Discussione

Partendo dall'analisi della sezione precedente, possiamo fare alcune considerazioni. La prima cosa di cui dobbiamo renderci conto è che è impossibile non avere idee ingenuie sui fenomeni naturali formate fin dalla prima infanzia [44] e che gli studenti non arrivano sui banchi di scuola come fogli bianchi su cui scrivere informazioni [45]. I docenti dovrebbero fare ogni sforzo per rendersi conto delle opinioni degli studenti, siano essi preconconcetti o misconcetti.

A tale scopo, è sicuramente utile innescare una discussione in classe durante la lezione prima di introdurre un nuovo argomento, in modo da far sì che gli studenti prendano coscienza dei preconconcetti con cui interpretano i fenomeni. Mettendo in discussione le opinioni degli studenti, giuste o sbagliate che siano, i docenti possono porre le basi di una nuova consapevolezza riguardo agli argomenti che dovranno spiegare.

Quindi possiamo concludere che gli insegnanti dovrebbero dedicare del tempo a prendere coscienza delle idee sbagliate dei loro studenti [45] per poterne tenere conto durante le spiegazioni. Questa analisi preliminare potrebbe sembrare uno spreco di tempo, ma è in realtà molto importante per rendere studenti e insegnanti più consapevoli delle proprie idee, giuste o sbagliate.

Una seconda osservazione nasce dalla questione sull'origine e il crescere degli errori degli studenti. La questione è molto profonda e complicata e viene discussa nell'ambito della ricerca sui processi di insegnamento-apprendimento.

Non siamo in grado di fornire una risposta esaustiva ma sulla base delle nostre attività e dell'analisi del questionario appare necessario che durante le lezioni scolastiche vengano proposti esempi fisici il meno banali possibili. La realtà fisica è complessa, non necessariamente complicata. Il problema è che molti libri di testo fanno riferimento a situazioni fisiche semplici e propongono esercizi relativi ad esperienze semplificate di vita quotidiana, con il rischio che l'insieme di osservazioni ed esempi risulti molto limitato. Per esemplificare, molti libri di testo per le scuole primarie e secondarie affermano che la luce si propaga in linea retta e non è in grado di superare gli ostacoli. L'affermazione in se stessa non è sbagliata, ma si riferisce solo a uno dei possibili comportamenti della luce durante la sua propagazione (pensiamo per esempio ai miraggi in cui la propagazione della luce segue un percorso curvo). Come secondo esempio, quando i libri di testo introducono i colori, si riferiscono quasi esclusivamente a situazioni in cui gli oggetti sono illuminati da luce bianca. Infatti la maggior parte degli eventi della nostra vita si verifica nell'illuminazione a luce bianca. Tuttavia, cercare di fare esempi di

illuminazione con una sorgente monocromatica può risultare estremamente utile per una migliore comprensione dei fenomeni di colore, anche a partire dai primi anni di scuola.

Come ultima osservazione, anche gli esercizi di monitoraggio dovrebbero includere situazioni fisiche diverse da quelle trattate durante spiegazioni in modo da abituare gli studenti a rielaborare i concetti andando oltre la mera ripetizione o riproduzione della lezione. Non è poi da trascurare il fatto che l'insegnante è un componente fondamentale e dell'eventuale successo del percorso di apprendimento degli allievi, facilitando il pensiero degli stessi attraverso la discussione e le spiegazioni. La limitata ricerca accademica esistente per quanto riguarda le conoscenze gli insegnanti e le loro idee sbagliate, ha dimostrato che i docenti in formazioni e neoassunti in ruolo, sono spesso inconsapevoli che i loro gli studenti potrebbero avere idee sbagliate e sono ingenuamente inconsapevoli anche dei loro stessi misconcetti. Inoltre, anche quando gli insegnanti ne fossero consapevoli, è improbabile che utilizzino tale conoscenza di idee sbagliate come strategia iniziale nella loro didattica [46]. Purtroppo questo accade anche per parte degli insegnanti di ruolo da più anni.

2.5 Osservazioni

Un importante risultato dello studio della fisica dovrebbe essere la capacità di mettere in relazione i principi fisici generali con l'esperienza quotidiana. Molte ricerche hanno mostrato che anche gli studenti delle scuole superiori conservano misconcetti e idee ingenuie errate anche dopo un lungo percorso di istruzione. Questo emerge chiaramente dall'attività di divulgazione nel campo dell'Ottica che abbiamo intrapreso con gli studenti delle scuole superiori in particolare grazie all'uso del questionario che abbiamo utilizzato per innescare la discussione fra gli studenti. Il questionario è stato utile per aumentare la nostra consapevolezza delle opinioni degli studenti sul funzionamento di alcuni sistemi ottici.

Per quanto riguarda l'analisi della ragione per cui gli studenti mantengano errate opinioni anche dopo anni di scuola, possiamo supporre che debba essere ricercata in un'educazione scientifica fuorviante o troppo semplificata nella Scuola Primaria e nel primo grado della Scuola Secondaria. Il modo in cui viene insegnata l'ottica e altri argomenti della fisica spesso non riesce a produrre una comprensione funzionale dei fenomeni fisici. Inoltre i libri di testo usano spesso esempi di vita quotidiana, ma questi sono troppo semplici per consentire agli studenti di avere

un'idea della complessità della realtà. Pensiamo che ci sia la necessità di un lavoro sistematico per valutare i contenuti dei libri di testo e le conoscenze degli insegnanti.

Capitolo 3

Laboratori di ottica

Nel contesto descritto in precedenza, il Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia presso l'Università dell'Insubria ha sviluppato un percorso concettuale e pratico per insegnare i principi dell'ottica, con l'obiettivo di sostenere l'insegnamento delle scienze nelle scuole secondarie.

L'ottica è una grande opportunità per affrontare una parte della nostra esperienza quotidiana e offre soggetti adatti a dimostrazioni efficaci e per spiegazioni semplici ma non banali. Ad esempio pensiamo all'ottica atmosferica, al colore blu del cielo, al colore all'alba o al tramonto o all'arcobaleno. Alcuni degli argomenti più interessanti sono la visione, la fotografia, l'interferenza, l'olografia e il colore.

Tra i molti argomenti possibili, ci siamo dedicati alla fotografia e all'olografia. Infatti, la fotografia è un'esperienza che tocca gli studenti direttamente, vista la diffusione pervasiva di fotocamere compatte e reflex digitali. Tuttavia, troppo spesso le fotocamere vengono utilizzate senza alcuna conoscenza dei principi ottici alla base del loro funzionamento, come la gestione del colore, la messa a fuoco, la profondità di campo e avendo limitate abilità in composizione e tecnica fotografica. D'altra parte, l'olografia è una tecnica misteriosa che riempie tutti di stupore. Anche se siamo nel XXI secolo, poche persone hanno visto un ologramma o sanno cos'è. Per esempio non sanno che l'ologramma viene utilizzato per il controllo sicuro del denaro. La ricerca internazionale evidenzia l'olografia come strumento di insegnamento di successo, altamente motivante per l'insegnamento sperimentale dell'ottica (Olson, 1992 [69]; Abramson, 1991 [61]; Pombo, 2001 [60], John, 2000 [66], Dyomin, Polovtsev, & Olshukov, 2009 [63]; Jeong, 2000 [65]; Hansen, 1995 [64]; Wirth, 1991 [70]) e anche con i bambini (Jurewicz, 1989 [67]). Non solo, l'olografia può essere un argomento con un certo fascino glamour (Hansen & Swez, 1995 [64]), ma i concetti fisici e le fasi di realizzazione di un ologramma

risultano essere un potente strumento per capire altri argomenti in ottica come interferenza, diffrazione, imaging e quindi diventa anche un'esperienza concreta di questi concetti in termini reali (Latham, 1986 [68]). Cionondimeno, in Italia questo settore è assente. L'olografia sembra essere considerata un argomento difficile, adatto solo per corsi universitari e che richiede apparecchiature di laboratorio troppo costose. Quindi l'olografia non viene presentata durante l'attività scolastica normale e fa parte di programmi standard in pochissimi corsi universitari. Inoltre per gli insegnanti delle scuole superiori è decisamente difficile aggiornarsi e autoaggiornarsi per migliorare le proprie conoscenze su questi argomenti, poiché non hanno, di norma, accesso facilmente agli articoli accademici. Qui presentiamo un programma ideato per aiutare gli insegnanti e gli studenti a rendere più interessante il loro primo approccio all'ottica o per approfondire la loro conoscenza delle ottiche standard. Il percorso didattico è stato proposto in molte lezioni di scuola secondaria che coinvolgono studenti di età compresa tra 16 e 19 anni che hanno frequentato non solo i curricula scientifici e tecnici ma anche quelli umanistici; alcune parti, ad eccezione delle fasi di sviluppo fotografico dell'ologramma, sono state svolte anche durante le manifestazioni pubbliche con un uditorio variegato in età e preparazione.

Durante gli ultimi anni sono state avviate dai ricercatori del Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia dell'Università del Insubria molte attività di diffusione della scienza. Tra queste, le più impegnative sono quelle che raggiungono direttamente gli studenti durante le lezioni al mattino nei corsi curriculari a scuola e quelle eseguite durante corsi extra-curriculari nel pomeriggio presso l'Università stessa. A causa del poco tempo a loro disposizione, i ricercatori coinvolti nell'attività didattica utilizzano prevalentemente lezioni frontali supportate da dimostrazioni pratiche realizzate con materiali poveri o forniti dai ricercatori stessi. Poiché parte dei ricercatori coinvolti in questi le iniziative sono attivi nel campo dell'ottica non lineare e dell'immaging quantistico, i temi offerti agli studenti riguardano prevalentemente l'ottiche e in particolare l'ottica geometrica e l'ottica fisica. All'inizio del programma, di solito, agli studenti viene proposto di compilare un questionario. Il questionario non fa parte di un'indagine sistematica sulla comprensione dell'ottica fisica da parte degli studenti delle scuole superiori, ma è nata con i seguenti due scopi. Primo di tutto sappiamo che gli studenti hanno le proprie opinioni e intuizioni sui fenomeni fisici derivanti dai precedenti anni di formazione, sia dalle lezioni in classe che dalla loro interazione con il mondo fisico e sociale [27]. Inoltre, queste credenze o opinioni sono talvolta diverse, dal punto di vista scientifico, dal-

le conoscenze generalmente accettate e presentate in classe. È importante, come sarà esposto nel capitolo seguente, valutare quanto gli studenti sanno e che tipo di conoscenze hanno sull'ottica. In secondo luogo, il questionario introduce situazioni fisiche utili per innescare l'interesse degli studenti. Infatti, prima delle lezioni, gli studenti hanno la possibilità di esplorare alcuni argomenti e di fornire le risposte giuste usando la propria conoscenza o per capire che non sono in grado di rispondere. Ciò potrebbe generare più interesse e attivare l'attenzione per ricercare le risposte corrette nel dialogo con i ricercatori.

3.1 Smontare l'arcobaleno

L'osservazione dei fenomeni naturali è il punto di partenza più ovvio dell'indagine scientifica. Nonostante questa banale osservazione, notiamo che, almeno in Italia, la maggior parte delle lezioni scolastiche si tiene sotto forma di lezioni frontali, durante le quali l'analisi approfondita dei fenomeni viene trascurata a vantaggio della trasmissione di informazioni troppo semplificate sotto forma di leggi matematiche astratte. Inoltre, l'osservazione diretta dei fenomeni viene solitamente inserita nel percorso didattico a titolo di esempio per confermare la teoria invece di costituirne la base. Questo modo di impostare le lezioni risulta spesso inefficace soprattutto nel motivare e coinvolgere nello studio gli studenti meno interessati.

Seguendo un approccio alternativo, abbiamo proposto un percorso di studio delle leggi dell'ottica geometrica a partire dall'analisi dettagliata del fenomeno dell'arcobaleno [47]. Nel suo svolgimento, il percorso riproduce le varie fasi del metodo scientifico, a partire dalla nuda osservazione del fenomeno naturale fino alla scoperta e all'interpretazione fisica di ogni singolo processo ottico che lo governa. L'idea di concentrarsi sull'arcobaleno come esempio utile per l'insegnamento dell'Ottica non è nuova [48–52], ma nella maggior parte dei percorsi proposti in letteratura la discussione del fenomeno è usata per riassumere i concetti di ottica geometrica (riflessione, rifrazione, dispersione, visione ...) introdotti in modo standard durante lezioni frontali. Il percorso che proponiamo vuole invece invertire il processo di apprendimento in modo che la spiegazione dei vari fenomeni ottici inclusi nei programmi di Fisica delle Scuole Secondarie Superiori emerga naturalmente come domanda di comprensione di un fenomeno realmente osservato. Questo cammino inverso è in realtà quello più corretto se pensiamo al procedere del metodo scientifico: l'osservazione e la raccolta dei dati vengono prima e l'applicazione di leggi predittive sta alla fine dello studio.

Dal punto di vista didattico, alla fine dell'attività gli studenti dovrebbero avere raggiunto almeno lo stesso livello di conoscenza dei contenuti che si raggiungono con l'insegnamento tradizionale, ma auspicabilmente con maggiore soddisfazione e coinvolgimento personale.

La procedura seguita consiste in un vero e proprio "smontaggio" del fenomeno dell'arcobaleno, e si avvale, tra l'altro, della possibilità di riprodurre il fenomeno naturale al chiuso utilizzando una sfera di vetro (che riproduce il funzionamento di una singola goccia di pioggia) e un proiettore di luce bianca (che rappresenta il sole). In alternativa, si possono utilizzare cilindri di materiali trasparenti (vetro, plexiglass, glicerolo) e un fascio collimato di luce bianca o raggi laser a diverse lun-

ghezze d'onda. L'analisi quantitativa degli esperimenti viene effettuata prendendo immagini e filmati delle varie configurazioni sperimentali studiate ed elaborandoli con software di analisi gratuiti come Tracker Video [53].

Il percorso didattico è stato messo a punto con studenti universitari nel corso del Laboratorio di Fisica del secondo anno del Corso di Laurea in Fisica dell'Università degli Studi dell'Insubria. Il percorso è stato poi proposto come attività curricolare per il secondo anno del Liceo Scientifico, ovviamente coinvolgendo gli insegnanti delle classi interessate. Infine, l'attività è stata ripetuta come stage a tempo pieno di una settimana per studenti del quarto anno di Scuola Superiore.

Nel seguito presentiamo un'analisi comparata dei risultati ottenuti dalle varie attività.

3.1.1 Il metodo

In questa sezione descriviamo gli aspetti essenziali del percorso didattico che abbiamo seguito.

Il punto di partenza: osservare il fenomeno

Il primo passo è l'osservazione di una serie di immagini di arcobaleni naturali fotografati in condizioni atmosferiche diverse per individuare le caratteristiche comuni a tutti (Fig. 3.1). Dall'osservazione dovrebbero emergere le seguenti caratteristiche del fenomeno: un ordine definito dei colori, la presenza di gocce d'acqua sospese nell'aria, la presenza di luce bianca che illumina (luce solare o lunare), una certa direzionalità della luce ossia dove si trova la sorgente luminosa (sole) rispetto all'osservatore quando si vede l'arcobaleno, in quali ore del giorno si può vedere l'arcobaleno più facilmente, etc.



Figura 3.1: Esempio di immagini di arcobaleni naturali mostrati agli studenti all'inizio dell'attività.

Costruire il modello fisico

Il secondo passo consiste in una sessione di brainstorming con gli studenti volta ad enucleare gli elementi necessari per descrivere l'arcobaleno: gocce di pioggia sospese nell'aria, illuminazione bianca, posizione relativa di gocce, sorgente luminosa e osservatore, dipendenza dal punto di vista dell'osservatore. Al termine della

discussione si cerca di individuare un modo per riprodurre il fenomeno naturale al coperto per rispondere a tutte le domande che emergono dall'osservazione. Da dove proviene la luce e perché torna indietro? Perché la luce che arriva bianca torna indietro colorata? Perché i colori sono separati e non si mescolano dando luce bianca? Perché l'arcobaleno appare diverso quando cambiamo punto di osservazione?

Riprodurre il fenomeno nel laboratorio scolastico

Per riprodurre il fenomeno utilizziamo una sfera di vetro (anziché una goccia d'acqua), una lampada bianca (invece della luce del sole) e uno schermo per costruire una configurazione interna che riproduce l'essenziale dell'arcobaleno. La sorgente luminosa è una semplice lampada alogena da 50 W leggermente collimata da una lente positiva (lunghezza focale $f = 7$ cm) montata davanti al portalampada. Le sfere di vetro (indice di rifrazione $n = 1.52$) possono avere diametri diversi (abbiamo usato 10 o 11 cm, ma non c'è limite) a seconda dello spazio disponibile in laboratorio. La sfera viene collocata tipicamente a 80-100 cm dalla sorgente luminosa e tra lampada e sfera viene inserito uno schermo con un foro per far passare la luce (Fig. 3.2). Lo schermo può essere opaco, in modo che l'osservatore possa guardare l'arcobaleno dal lato della sfera, o traslucido, in modo che l'osservatore possa allineare l'occhio sulla direzione dei colori dell'arcobaleno osservando dalla parte della sorgente di luce (Fig. 3.3). Si noti che quando si usa lo schermo opaco, la configurazione non è quella dell'arcobaleno atmosferico, dove l'osservatore si pone tra la sorgente di luce e le gocce d'acqua sospese nell'aria. Tuttavia questa configurazione dà la possibilità di mostrare sullo schermo l'intero spettro prodotto dalla palla di vetro. Osserviamo che il modello indoor riproduce tutte le caratteristiche del fenomeno naturale: il corretto ordine di colori, la simmetria circolare, le zone scure e quelle luminose. Si noti che l'osservazione dell'arcobaleno deve essere effettuata al buio anche quando si utilizzano lampade molto intense.

Semplificare il modello

Per cominciare a capire il fenomeno, è necessario osservare il percorso della luce all'interno della "goccia". Poiché questo è difficile a causa della geometria sferica della sfera di vetro, è possibile semplificare il modello utilizzando un cilindro in materiale solido trasparente (plexiglas, indice di rifrazione $n = 1.49$) o un contenitore in vetro cilindrico di pyrex (indice di rifrazione $n = 1.47$) pieno di glicerolo (il glicerolo ha lo stesso indice di rifrazione del vetro di pyrex, minimizzando così

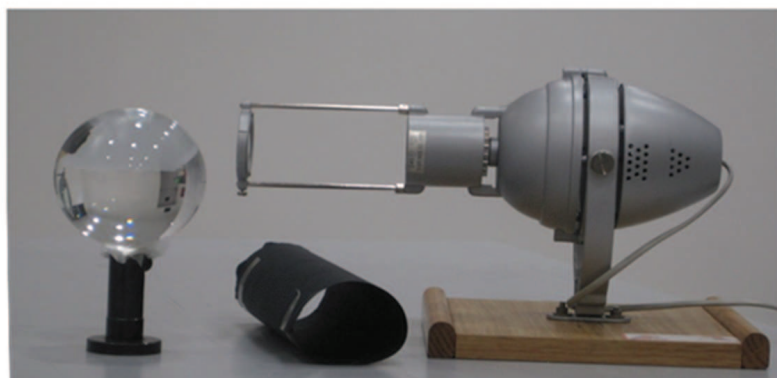


Figura 3.2: Semplice apparato per realizzare l'arcobaleno al chiuso.

gli effetti ottici all'interfaccia). La geometria del cilindro riproduce correttamente il funzionamento della sfera su una sezione. Il cilindro viene illuminato con una luce (bianca collimata o laser) incidente parallelamente al piano orizzontale e si osserva il percorso della luce dall'alto (Fig. 3.4). È possibile studiare il percorso della luce nel cilindro in funzione dell'angolo di incidenza prendendo le immagini della configurazione e analizzandole con il Tracker Video.

Si osservano quindi molti fenomeni ottici che devono essere compresi: rifrazione, riflessione, dispersione, dipendenza non banale dell'angolo di uscita della luce dal cilindro in funzione dell'angolo di incidenza, esistenza di un angolo massimo di uscita diverso per i diversi colori, esistenza di raggi primari e secondari. Il modello semplice del comportamento del fascio luminoso all'interno della goccia risulta essere corretto se, in base ad esso, possiamo spiegare l'intera fenomenologia dell'arcobaleno.

Smontare l'arcobaleno analizzando ogni singolo processo fisico

Cambiamento della direzione sulla prima superficie: RIFRAZIONE

Osserviamo la variazione nella direzione di un fascio di luce rispetto alla normale alla superficie quando attraversa l'interfaccia tra l'aria e il cilindro di materiale trasparente. Traslando la direzione di incidenza mantenendola parallela a se stessa, si modifica l'angolo di incidenza e si può osservare che la direzione del fascio all'interno del cilindro dipende dall'angolo di incidenza e che all'uscita dal cilindro il comportamento degli angoli è invertito. Gli studenti vengono guidati nel fare os-

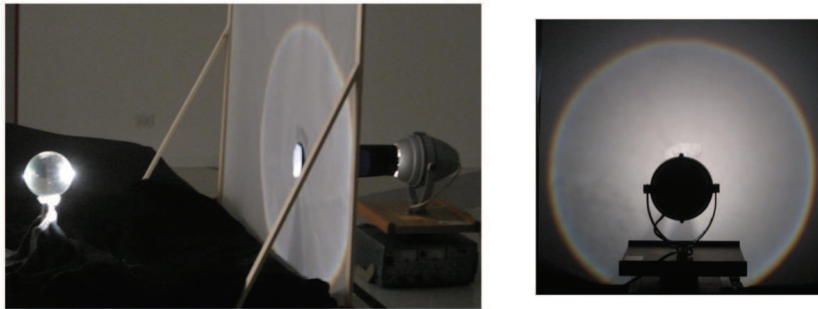


Figura 3.3: Installazione dell'arcobaleno indoor.

servazioni sistematiche che li condurranno alla formulazione qualitativa della legge di Snell: si trova una relazione non banale tra gli angoli di incidenza e gli angoli di uscita. La derivazione quantitativa della legge di Snell può essere ottenuta semplificando ulteriormente il modello, ovvero considerando una superficie piana anziché una curva. Le osservazioni possono quindi essere svolte usando componenti didattici standard, quali lastre di materiali trasparenti e lampade a raggi. Disegnando sul tavolo lo schema in Fig. 3.5, la legge di Snell può essere ricavata anche senza usare la trigonometria.

Angoli di rifrazione per i diversi colori: DISPERSIONE Si osserva la dispersione della luce da parte dei vari materiali sia all'ingresso che all'uscita del cilindro. Le osservazioni sistematiche delle proprietà di dispersione di diversi materiali vengono quindi condotte utilizzando dei prismi. Osservando il funzionamento del prisma si nota che l'angolo di uscita di ogni colore dipende dall'angolo di entrata della luce bianca e che ruotando il prisma si può ottenere una condizione di deviazione minima fra la direzione di ingresso e quella di uscita che varia da colore a colore.

Ritorno della luce dalla parte posteriore della palla: RIFLESSIONE Si osserva la riflessione della luce sulla superficie posteriore del cilindro e si verifica la ben nota legge della riflessione (o di Cartesio) che richiede che l'angolo di riflessione sia uguale all'angolo di incidenza indipendentemente dal colore della luce. Anco-

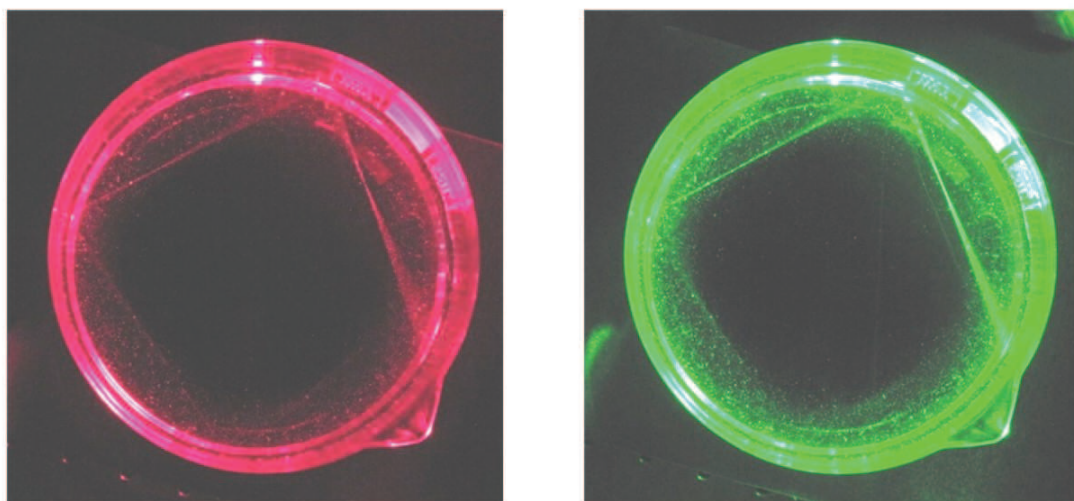


Figura 3.4: Percorso di un fascio monocromatico emesso da un puntatore laser all'interno di un cilindro di vetro di pyrex contenente glicerolo.

ra una volta, le osservazioni sistematiche della legge di Cartesio possono essere eseguite più facilmente utilizzando specchi piatti o lastre di materiale riflettente.

Esistenza di un angolo di uscita massimo diverso per i diversi colori Il calcolo analitico dell'angolo di uscita di una singola componente monocromatica in funzione dell'angolo di incidenza non richiede abilità matematiche avanzate e può essere facilmente eseguito dagli studenti delle scuole superiori. Abbiamo realizzato un semplice programma utilizzando il software gratuito Geogebra [55] per riprodurre i risultati. L'angolo di uscita di ogni colore ha un massimo in funzione dell'angolo di incidenza: questo è il motivo principale per cui i colori dell'arcobaleno risultano chiaramente distinguibili come “strisce” attorno ad un certo angolo. Questo è probabilmente un risultato inaspettato, anche se un comportamento simile si riscontra anche nel prisma. L'osservazione viene eseguita usando un divisore di fascio (beam splitter) per sovrapporre due fasci laser di colore diverso. I fasci entrano nel cilindro lungo la stessa direzione ma escono a due angoli diversi (Fig. 3.6).

Per meglio interpretare le osservazioni abbiamo eseguito simulazioni numeriche partendo da alcune dimostrazioni fatte usando Mathematica [54] per mostrare la dipendenza dell'angolo di emergenza dalla lunghezza d'onda e dall'indice di rifrazione del materiale (Fig. 3.7). Si nota che effettivamente esiste un angolo di uscita massimo diverso per ogni componente monocromatica della luce.

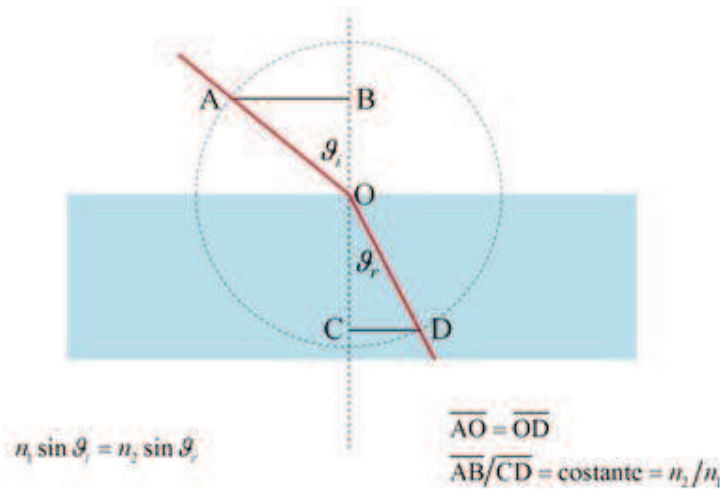


Figura 3.5: Semplice costruzione geometrica per verificare la legge di Snell.

Osservazione della dipendenza dell'intensità dall'angolo Considerando l'illuminazione simultanea del cilindro con più raggi monocromatici paralleli (Fig. 3.8), si osserva che intorno all'angolo di deviazione massima si ha una accumulazione del numero di raggi così che l'intensità della luce aumenta generando una striscia molto luminosa. Ancora una volta l'uso di Mathematica consente la dimostrazione dell'effetto (Fig. 3.8).

Dipendenza del colore osservato dalle posizioni relative di sole, goccia e osservatore L'osservazione dell'arcobaleno richiede di tenere conto della posizione dell'osservatore. A grandi distanze, ogni osservatore raccoglie un singolo colore da ogni goccia che dipende dalla posizione di osservazione e dalla posizione della goccia: sono necessarie molte gocce per costruire un arcobaleno e ogni osservatore “vede” un arcobaleno diverso. Per l'arcobaleno primario, la luce rossa viene raccolta da gocce più in alto e la luce blu da gocce più in basso. L'inverso vale per l'arcobaleno secondario (Fig. 3.9).

3.1.2 Risultati

Abbiamo provato il percorso con tre diversi gruppi di studenti aventi competenze e conoscenze iniziali diverse: un gruppo di studenti di Fisica del secondo anno (nell'ambito del corso di Laboratorio di Fisica II), due intere classi di studenti di secondo anno (15-16 anni) di Liceo Scientifico tradizionale (attività curricolare in orario scolastico) e un gruppo di studenti del quarto anno di Liceo Scientifico

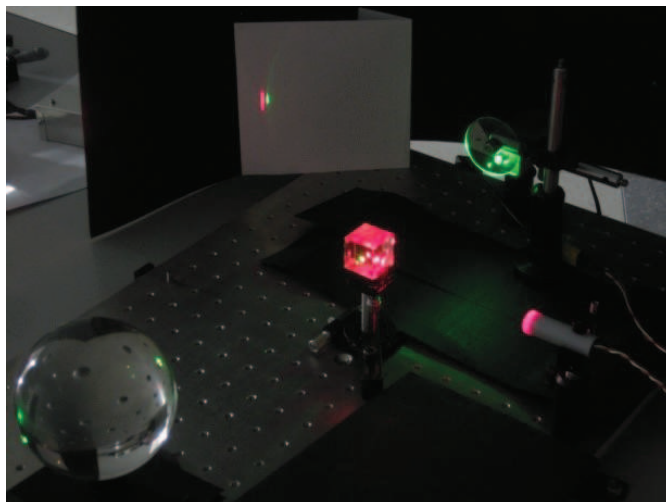


Figura 3.6: Apparato per l'osservazione dell'angolo massimo di uscita con due fasci laser a diverse lunghezze d'onda. I fasci laser sono sovrapposti da un beam splitter per entrare nella sfera lungo la stessa direzione.

provenienti da scuole diverse (attività extracurricolare). Il gruppo degli studenti universitari del secondo anno è stato utilizzato per individuare le fasi del percorso, per verificare le procedure e per elaborare le soluzioni tecniche, come l'uso del beam splitter per sovrapporre due fasci laser di diversi colori (Fig. 3.6) o la posizione della fotocamera per scattare foto dall'alto senza introdurre aberrazioni. Il lavoro con questo gruppo di studenti è durato circa 10 ore in tre giorni diversi. Per proporre l'attività agli studenti del secondo anno di Liceo Scientifico, il percorso è stato preparato insieme agli insegnanti delle classi coinvolte. Il nostro lavoro è consistito nella formazione degli insegnanti che sono stati seguiti nella preparazione del piano didattico e, in particolare, della parte sperimentale dell'attività. Tutte le lezioni sono state svolte dagli insegnanti che alla fine hanno verificato le conoscenze e le abilità raggiunte dagli studenti per quanto riguarda l'ottica geometrica, dimostrando che gli studenti hanno raggiunto un livello almeno uguale a quello raggiunto negli anni precedenti da studenti esposti ad una didattica tradizionale. Un migliore lavoro di confronto sarebbe stato possibile lavorando con classi parallele, applicando una didattica convenzionale come controllo, ma non è stato possibile a causa della mancanza di disponibilità di altri insegnanti della stessa scuola. Infine abbiamo proposto il programma sull'arcobaleno come uno stage di una settimana per un gruppo di studenti del quarto anno di Scuola Secondaria. Avendo più tempo a disposizione, gli studenti hanno seguito il percorso costruendo l'apparato sperimentale necessario per vedere tutti gli effetti da un punto di vista

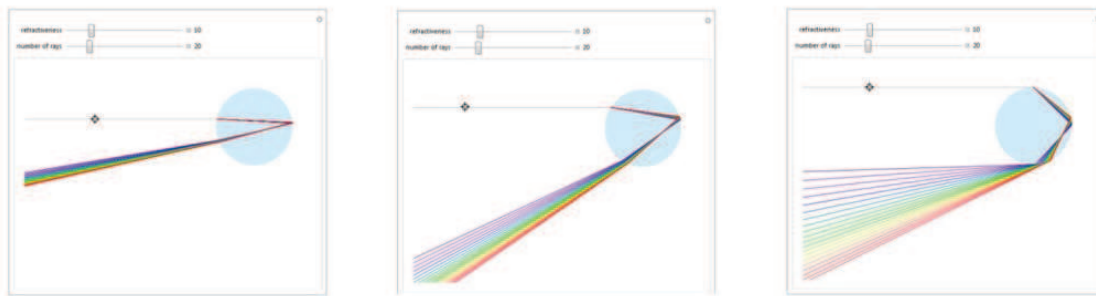


Figura 3.7: Simulazione della dispersione della luce diffratta da un cilindro di materiale trasparente per diversi valori dell'indice di rifrazione.

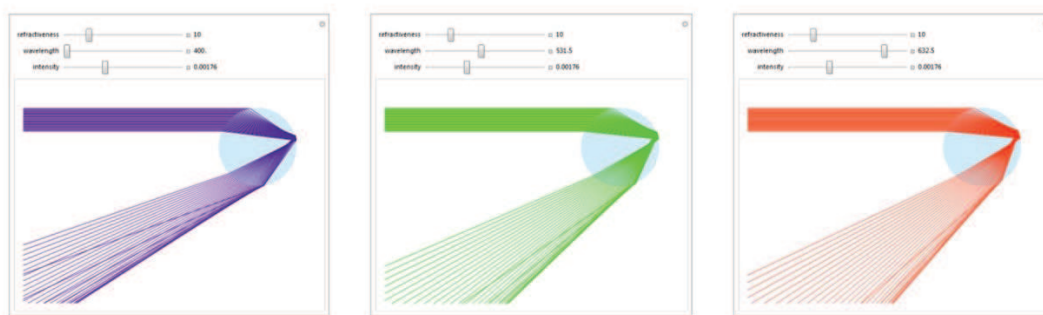


Figura 3.8: Simulazione degli angoli di uscita degli angoli di incidenza per diverse lunghezze d'onda: più numerosi i raggi più intensa è la luce.

qualitativo e sono stati in grado di effettuare numerose misurazioni quantitative piuttosto precise, come la verifica della legge di Snell (Fig. 3.10) e la valutazione della dipendenza dell'angolo del fascio in uscita dal cilindro in funzione della direzione di incidenza (Fig. 3.11). Gli studenti hanno elaborato il proprio metodo per misurare gli angoli, calcolato le relazioni analitiche tra le quantità misurate e le previsioni teoriche prodotte da confrontare con i dati sperimentali.

3.1.3 Osservazioni

L'intero percorso didattico copre tutti gli argomenti inclusi in un curriculum di ottica standard per gli studenti delle scuole superiori. Alla fine dell'attività, ogni studente avrà imparato almeno le basi dell'ottica geometrica, probabilmente sperimentando maggiore interesse e soddisfazione. Uno dei punti forti del percorso sull'arcobaleno è la richiesta di seguire passo passo il metodo scientifico per raggiungere l'interpretazione finale dei risultati sperimentali. È interessante che per

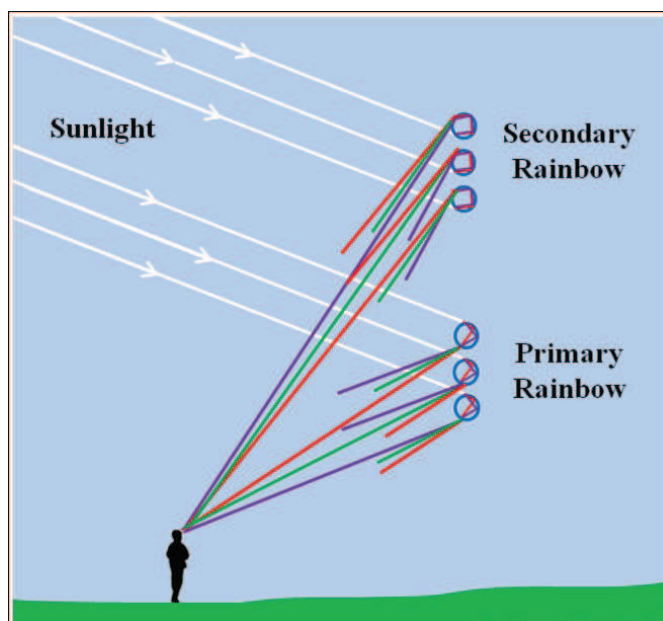


Figura 3.9: Osservazione dei raggi di diversi colori che costruiscono l'arcobaleno. Per l'arcobaleno primario, l'osservatore raccoglie luce di lunghezza d'onda più lunga (rosso) dalle gocce collocate più in alto mentre per l'arcobaleno secondario la luce con lunghezza d'onda più lunga proviene dalle gocce più in basso. Il risultato è che gli arcobaleni primari e secondari hanno colori invertiti.

rispondere ad alcune delle domande iniziali sia necessario introdurre ipotesi non banali che devono essere verificate. Ad esempio, per capire perché possiamo distinguere i colori nell'arcobaleno, prima di tutto si osserva il percorso della luce monocromatica nella sfera (o cilindro) trovando che esiste un angolo massimo per la luce che emerge dalla sfera diverso per i diversi colori e che intorno al massimo abbiamo un accumulo di luce. L'esistenza di un angolo limite è a priori non banale, ma spiega contemporaneamente molte caratteristiche dell'arcobaleno, come l'ordine di uscita dei colori, la visibilità delle strisce colorate e la regione scura esterna ai colori. L'applicazione di strumenti matematici piuttosto semplici permette agli studenti di sviluppare il modello e di fare previsione su diversi sistemi (differenti indici di rifrazione, colori diversi). Questa è un'esperienza diretta del metodo scientifico.

Alcuni punti critici sono emersi dall'esecuzione del percorso attraverso l'osservazione diretta dell'azione degli studenti e dalle osservazioni degli studenti e degli insegnanti. Il primo problema è il tempo: è necessario un tempo più lungo per guidare un gruppo di studenti attraverso l'osservazione del fenomeno alla scoperta della sua spiegazione rispetto al tempo necessario per trasferire semplicemente del-

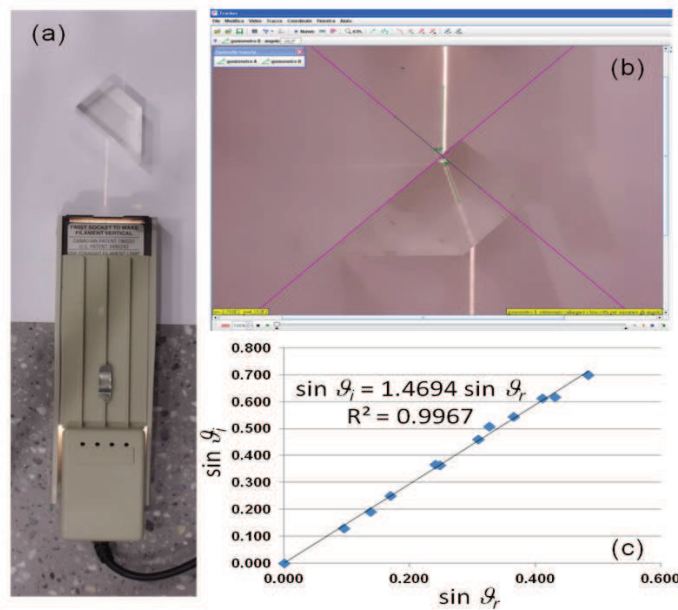


Figura 3.10: Fasi diverse della verifica della legge Snell. Pannello (a): lampada a raggi e prisma di plastica utilizzati per le misurazioni; pannello (b): immagine del fascio rifratto ripresa preso con una fotocamera compatta e analizzata con Tracker; pannello (c): valori del seno dell'angolo di incidenza in funzione del seno dell'angolo di rifrazione e valutazione dell'indice di rifrazione del materiale.

le informazioni nelle lezioni frontali. Per questo motivo, la didattica tradizionale è spesso preferita dagli insegnanti poiché richiede meno tempo. Inoltre, gli insegnanti devono spendere del tempo per preparare e verificare gli esperimenti. Un secondo problema è legato alle competenze degli insegnanti nella didattica laboratoriale: gli insegnanti devono poter affrontare problemi di laboratorio inaspettati e osservazioni inaspettate da parte degli studenti e devono essere in grado di integrarli come parte del processo di scoperta. Ciò richiede una profonda comprensione dei fenomeni, che possono provenire solo da una grande quantità di lavoro personale sull'argomento.

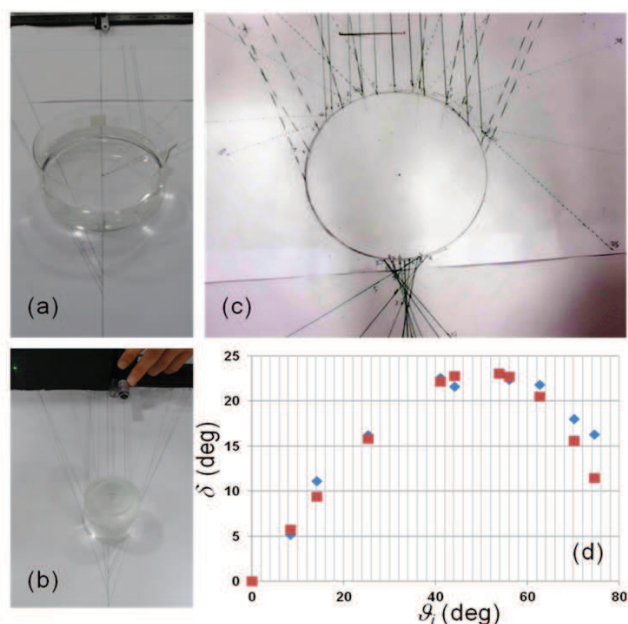


Figura 3.11: Fasi della misura della dipendenza dell'angolo di uscita dall'angolo di incidenza. Pannelli (a) e (b): puntatore laser e cilindri (glicerolo e plexiglass) utilizzati per le misurazioni; pannello (c): tracciamento del percorso del raggio; pannello (d): valori dell'angolo di deviazione in funzione dell'angolo di incidenza: dati sperimentali ottenuti dal tracciamento dei raggi (rombi blu) e teoria (quadrati rossi).

3.2 Olografia

L'ultimo esempio di attività laboratoriale nel campo dell'Ottica è incentrato sull'Olografia. La scelta dell'olografia come attività laboratoriale nasce da una serie di considerazioni.

Innanzitutto, si osserva che gli studenti e le persone in generale hanno difficoltà a pensare che sia possibile ottenere delle immagini senza un sistema di lenti, perché la loro attenzione è incentrata sul sistema ottico e non sulla luce. Quando chiediamo a qualcuno: “Che cosa stai vedendo quando dici che vedi qualcosa?”, è difficile qualcuno che risponda “Vedo della luce”. Piuttosto, le risposte sono “vedo la penna, la bottiglia...”, ovvero gli oggetti e non la luce che entra negli occhi! Questo può indurre alcune idee sbagliate circa i fenomeni ottici e la formazione delle immagini.

Consideriamo un esempio che illustra questa situazione. Supponiamo di costruire l'immagine di oggetto con una lente su uno schermo. Chiediamo agli studenti (ad esempio con il questionario sui misconcetti discusso in Sez. 2), di prevedere che

cosa succede all'immagine se la lente viene parzialmente coperta con un cartoncino nero. La maggior parte degli studenti risponderà che si vedrà metà dell'immagine sullo schermo anziché l'intera immagine mentre solo alcuni risponderanno che l'immagine rimarrà intera anche se meno luminosa e definita.

Un percorso che affronti il concetto di immagine e le proprietà delle immagini analizzando sistemi ottici diversi, dalle camere stenoscopiche all'olografia, può aiutare a superare tali idee sbagliate.

In secondo luogo, la ricerca internazionale indica l'olografia come uno strumento didattico di successo, altamente motivante per insegnamento sperimentale dell'ottica in generale (Olson, 1992; Abramson, 1991; Pombo, 2001; John, 2000) e i vari documenti che si trovano in letteratura descrivono come l'olografia può essere usata in classe (Olson, 1992; WCPE 2012 Istanbul, Dyomin, Polovtsev e Olshukov, 2009; Jeong, 2000; Hansen, 1995; Wirth, 1991) e anche con i bambini (Jurewicz, 1989). L'olografia non è solo un argomento con un certo fascino ("appeal glamour", Hansen, & Swez, 1995) ma i concetti fisici e le fasi di creazione di un ologramma si dimostrano uno strumento potente per comprendere molti concetti di ottica come l'interferenza, la diffrazione, la formazione delle immagini, rendendo in tal modo concreta l'esperienza di questi concetti nel mondo reale (Latham, 1986).

Tuttavia, in Italia l'olografia come opportunità didattica è trascurata. L'olografia sembra essere un argomento difficile adatto solo ai corsi universitari e che richiede attrezzature di laboratorio costose. Quindi l'olografia non viene presentata durante la normale attività scolastica e fa parte di programmi standard in pochissimi corsi universitari. Inoltre, gli insegnanti di Scuola Secondaria hanno scarse possibilità di migliorare le loro conoscenze semplicemente basandosi sulla letteratura accademica.

Il percorso che descriviamo nel seguito è quindi stato progettato per aiutare sia insegnanti che studenti ad affrontare gli argomenti di ottica in modo interessante e originale o ad approfondire la conoscenza dell'ottica standard.

Nella sua forma più completa, il percorso educativo è stato pensato per la Scuola Secondaria di Secondo Grado. Il laboratorio è stato realizzato a partire dall'anno scolastico 2011/2012 sia nella forma di Laboratorio Extracurricolare nell'ambito del Progetto Lauree Scientifiche (PLS) effettuato nelle strutture dell'Università degli Studi dell'Insubria a Como, che come attività di approfondimento organizzata presso alcune scuole in orario scolastico. Ai vari corsi che si sono tenuti negli anni hanno partecipato prevalentemente studenti del quarto anno di Liceo Scientifico, che al momento del corso avevano o meno già affrontato argomenti di

ottica ondulatoria in classe. A seconda del grado di approfondimento richiesto, gli studenti sono stati coinvolti in otto ore di lezioni teoriche supportate da dimostrazioni sperimentali e otto ore di laboratorio pratico o in un percorso più corto che dura solo cinque ore. Il corso inizia dalla visione, passa attraverso la fotografia, l'interferenza e la diffrazione e infine arriva all'olografia. In realtà, gli argomenti non sono strettamente separati in una rigida scansione temporale e sono arricchiti di dimostrazioni. Ai nostri scopi, il lavoro sperimentale non viene utilizzato esclusivamente in modo accademico e dimostrativo o come attività "chiusa" in cui gli studenti seguono semplicemente i "passi" di un protocollo, ma come strumento utile per costruire una nuova conoscenza a partire da meraviglia. Al termine del corso gli studenti avranno un'ampia panoramica sui principi della formazione dell'immagine dal punto di vista pratico e teorico.

In forma ridotta, ovvero senza la registrazione degli ologrammi, il percorso è stato proposto anche a bambini della Scuola Primaria e a ragazzi della Scuola Secondaria di Primo Grado e ad un pubblico generalista durante attività di divulgazione scientifica.

Nel seguito discuteremo la struttura del corso nella sua forma più completa.

3.2.1 Descrizione del corso

A seconda della preparazione iniziale degli studenti che partecipano al corso, si può decidere o meno di mostrare alcuni ologrammi all'inizio del corso, per poter confrontare le loro caratteristiche con quelle di normali fotografie, o alla fine del corso, come logica conclusione del corso stesso. In ogni caso, seguendo l'approccio descritto in Sez. 2, gli studenti sono invitati a riflettere su alcune questioni generali che hanno l'obiettivo di mettere in evidenza preconcetti e misconcetti, e di concentrare l'attenzione su aspetti dei fenomeni di solito trascurati:

- Cosa significa fare un'immagine?
- Cosa intendiamo esattamente dicendo "vedo un ologramma" o "vedo questa è una foto"?
- Dove è davvero l'oggetto che vedo in un ologramma?
- Perché il nostro apparato visivo costruisce immagini tridimensionali?
- Perché le fotografie non sono immagini tridimensionali?

- Come possiamo ingannare il nostro cervello affinché veda in modo tridimensionale?

Durante il percorso di insegnamento, sorgeranno domande riguardo a che cosa sia un'onda, che cosa sia la fase dell'onda e che cosa abbiamo a che fare con l'olografia, che cos'è una luce coerente, perché abbiamo bisogno di un laser per produrre un ologramma, quanti modi esistono per produrre ologrammi e molti altre ancora. È proprio a partire da queste domande che prendono il via le lezioni.

Partendo dalle parole di D. Gabor “L'olografia è un metodo di fotografia con luce coerente in cui un'onda luminosa che emerge da un oggetto viene ‘congelata’ in un'emulsione fotografica mediante un secondo fascio di luce coerente e successivamente fatta ‘rinvenire’ dal solo secondo fascio” [56], gli studenti vengono introdotti al concetto di formazione delle immagini e ricostruzione dei fronti d'onda attraverso presentazioni multimediali e dimostrazioni pratiche.

Sistemi per la formazione di immagini

Si analizzano diversi sistemi per la formazione di immagini per vedere che tipo di informazioni riguardo all'oggetto vengano selezionate da ciascuno di essi e quindi che tipo di immagine venga prodotta.

Camera stenoscopica Le camere stenoscopiche sono il modo più semplice per realizzare immagini di oggetti illuminati (Fig. 3.12). Il principio fisico, noto sin dal Medioevo, è che un piccolo foro seleziona la luce proveniente da una sola direzione (un solo raggio) a partire da ciascun punto dell'oggetto, così che l'immagine risulti costruita tramite una perfetta corrispondenza di ogni punto dell'oggetto con ogni punto dello schermo. Tra le caratteristiche della luce proveniente dall'oggetto, le camere stenoscopiche selezionano solo colore, intensità e un solo raggio per punto. Il risultato è un'immagine bidimensionale, colorata, di debole intensità (solo una piccola quantità di luce passare attraverso il foro), tanto più nitida quanto più è piccola la dimensione del foro, senza un piano di messa a fuoco e che scala come dimensione con la distanza. L'immagine risulta piatta come se fosse generata da un oggetto piatto.

Sistemi di lenti Le lenti, insieme agli specchi, sono i dispositivi più comunemente utilizzati per produrre immagini, a cominciare dall'occhio, che include un sistema ottico molto sofisticato. Per questo motivo, è molto importante capire correttamente il principio di funzionamento delle lenti. L'uso delle lenti migliora

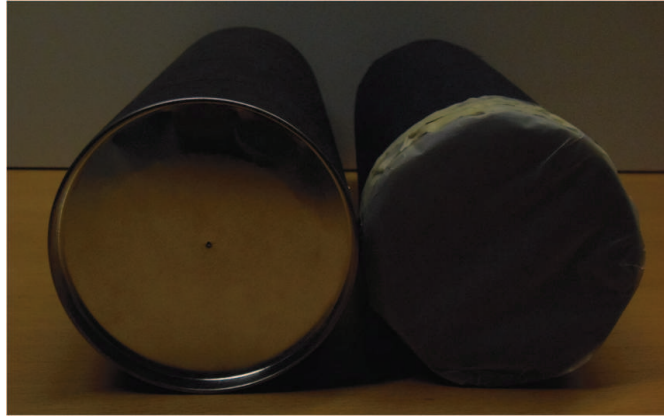


Figura 3.12: Semplice camera stenoscopica realizzata con un tubo di cartone chiuso nel quale viene praticato un piccolo foro. Montando uno schermo traslucido su un tubo più piccolo che scorre all'interno della camera, possiamo vedere l'immagine stenopeica guardando direttamente all'interno della camera.

la luminosità dell'immagine, poiché viene raccolta più luce proveniente dai vari punti dell'oggetto. Le lenti producono immagini bidimensionali, colorate, brillanti e che vanno a fuoco su un piano ben definito. Come per le camere stenoscopiche, c'è una corrispondenza biunivoca tra i punti dell'oggetto e i punti dell'immagine nel piano dell'immagine.

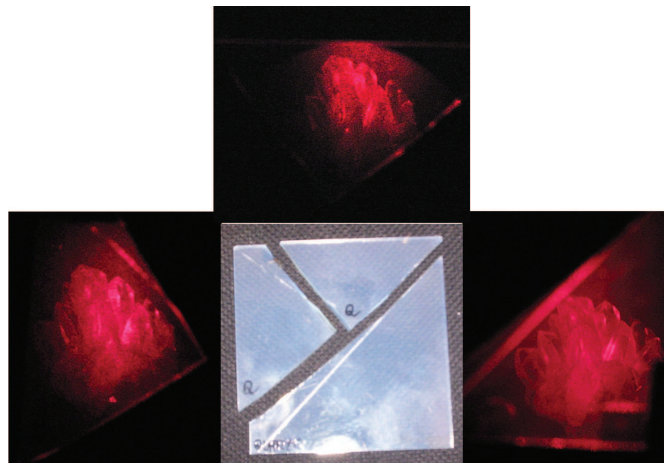


Figura 3.13: Ologramma suddiviso in tre frammenti e immagini virtuali ricostruite dai frammenti: tutti contengono la stessa immagine.

Olografia Come diceva Gabor, l'olografia è una tecnica di formazione di immagini che non richiede lenti e si basa sulla registrazione della figura di interferenza

prodotta dal campo luce diffratto dall'oggetto e un campo di riferimento [56]. La registrazione avviene su una lastra fotografica. Essendo basata sull'interferenza, l'olografia richiede l'uso di luce laser monocromatica: una porzione della luce laser viene allargata ed utilizzata per illuminare l'oggetto e il resto viene utilizzato per il campo di riferimento. L'olografia non opera alcuna selezione sul campo proveniente dall'oggetto (ad eccezione della selezione operata dalla dimensione della lastra olografica) e così viene registrata l'intera informazione contenute nella luce. Naturalmente, poiché la luce laser è monocromatica, il colore dell'oggetto non viene registrato.

Dopo la fase di registrazione, la lastra olografica deve essere sottoposta a sviluppo fotografico ed infine può essere ri-illuminata con un laser che riproduce un campo uguale a quello diffratto dall'oggetto. L'immagine risultante è tridimensionale, nel senso che possiamo osservarla come osserviamo l'oggetto originale: si ha conservazione completa della parallasse.

Notiamo che in un ologramma le informazioni sui punti dell'oggetto non sono localizzate ma sono sparse su tutta la lastra olografica in modo che anche se un ologramma viene spezzato, tutti i frammenti contengono le informazioni dell'intera immagine, sebbene viste da un diverso punto di vista (Fig. 3.13).

3.2.2 Realizzazione di ologrammi con il set-up portatile

La metodologia del percorso delineato richiede una consistente attività sperimentale, fatta di dimostrazioni e attività di laboratorio, che richiedono apparecchiature dedicate di complessità differente. In particolare, per poter realizzare il percorso nelle scuole facendo registrare gli ologrammi agli studenti, abbiamo costruito un apparato sperimentale portatile contenente il laser e il sistema ottico per la registrazione dell'ologramma e i materiali necessari per lo sviluppo delle lastre olografiche [57]. Lo sviluppo olografico è molto simile a quello delle pellicole in bianco e nero, quindi richiede un ambiente buio. Esistono altri apparati didattici portatili per l'olografia: Voslion e Escarguel [58] hanno creato un apparato che può essere imballato in una piccola valigia e può essere utilizzato per illustrare alcuni principi fondamentali dell'olografia; "Litiholo", una divisione di Liti Holographics, ha recentemente rivoluzionato la produzione semplice di ologrammi, realizzando una pellicola per la registrazione che non necessita di sviluppo, rendendo possibile la produzione di ologrammi senza l'uso di sostanze chimiche [59].

Le caratteristiche principali dell'apparato portatile che abbiamo sviluppato sono le seguenti:

- Non richiede una stabilità meccanica estrema. Normalmente questo è uno dei requisiti più rigidi per ottenere gli ologrammi. Nel nostro apparato il controllo attivo delle vibrazioni non sembra un requisito così critico.
- Non contiene un filtraggio spaziale. Ciò significa che il set-up è più facile da allineare.
- È estremamente compatto. È montato su un pannello in alluminio da $60 \times 50 \times 0.5 \text{ cm}^3$ con fori filettati per fissare gli elementi ottici con delle viti.
- È modulare: serve per registrare ologrammi sia secondo lo schema di Leith-Upatnieks che di Denisyuk.
- Consente di tracciare il percorso della luce per l'illuminazione e la sovrapposizione del campo dell'oggetto con il campo di riferimento sulla lastra olografica.
- È relativamente a basso costo. Ad esempio, l'apparato in Fig. 3.14 è costato circa 4000 Euro.



Figura 3.14: Apparato portatile per la registrazione degli ologrammi, montato su un pannello in alluminio da $60 \times 50 \times 0.5 \text{ cm}^3$ con fori filettati. Il pannello poggia su piedini antivibranti

Per realizzare un ologramma di trasmissione, il fascio di luce da un laser verde da 22 mW passa attraverso una vecchia telecamera analogica utilizzata come otturatore (l'otturatore elettronico è costoso), colpisce uno specchio e arriva ad un divisore di fascio (beam splitter, BS) dove viene diviso in due fasci: il campo di riferimento e il campo dell'oggetto. A sua volta, il campo dell'oggetto viene diviso

da un altro BS in due parti in modo da illuminare meglio l'oggetto da registrare. I campi provenienti dall'oggetto ed il riferimento si incontrano insieme sulla lastra olografica dove interferiscono. È importante mantenere sotto controllo l'intensità luminosa relativa dei due campi. Infatti il rapporto ideale fra l'intensità del fascio di riferimento e l'intensità del campo dell'oggetto va da 4 a 6. Per ottenere questa condizione, il primo BS divide il campo con un rapporto 30/70 (T:R) e un filtro attenuatore a densità ottica variabile può attenuare il fascio di riferimento (vedere lo schema ottico di Fig. 3.15. Per ottimizzare il rapporto delle intensità, si

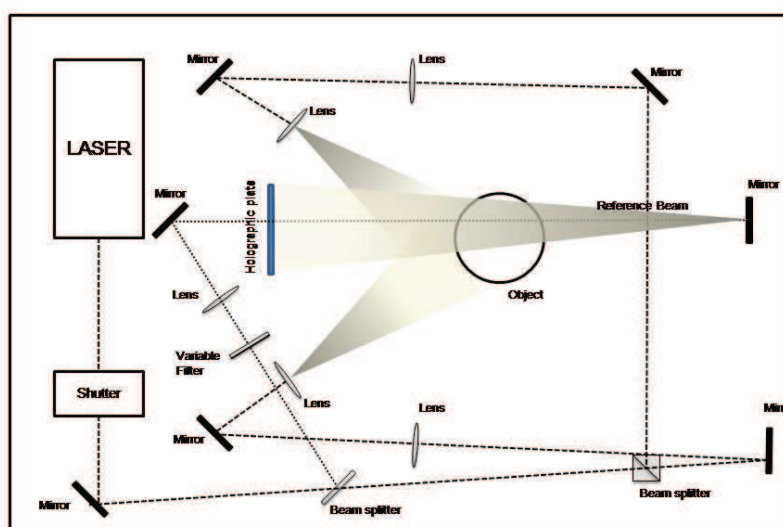


Figura 3.15: Schema dell'apparato portatile per la registrazione degli ologrammi.

misura con un fotodiodo. Il filtro variabile è necessario per compensare la diversa intensità della luce da oggetti diversi. Usiamo lastre olografiche con emulsioni ad alta risoluzione (VRP-M Slavich): la dimensione media del grano è di 35 – 40 nm e il potere risolutivo è superiore a 3000 righe/mm e la sensibilità spettrale copre diverse lunghezze d'onda (488 nm, 514 nm, 526 nm, 532 nm). Con un laser TM00 verde da 22 mW, un tipico tempo di esposizione della lastra è di circa 4-8 secondi fortemente dipendente dalla riflessione superficiale degli oggetti. Le dimensioni delle lastre sono di 102 mm×127 mm, ma sono state divise in due per renderle adatte al nostro apparato sperimentale. Le vibrazioni sono evidenziate da molti autori come causa di cattivi ologrammi. Per ridurre le vibrazioni abbiamo montato la base su piccoli piedi antivibranti. In realtà il nostro apparato non sembra

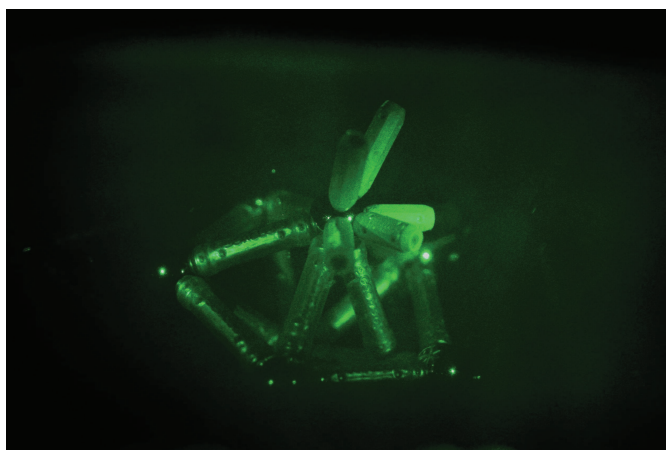


Figura 3.16: Immagine virtuale da un ologramma in trasmissione di una composizione di GeoMag.

troppo sensibile alle vibrazioni. Dopo che l'ologramma è registrato, deve essere sviluppato. Per praticità e risparmio di tempo, solitamente portiamo con noi i reagenti chimici già pronti. Tuttavia, è possibile preparare le soluzioni chimiche prima della sessione di registrazione insieme agli studenti, per introdurre un altro argomento interessante e interdisciplinare: il processo di registrazione e sviluppo di lastre e film fotografici/olografici. Una volta che le lastre sono asciutte, si dedica molto tempo ad esaminare gli ologrammi, osservando tutte le immagini olografiche che possono essere ottenute illuminando l'ologramma. In particolare, possiamo illuminare la lastra con luci di tipo diverso (bianca, quasi monocromatica e monocromatica) per osservare le differenze nelle immagini ricostruite. Questo consente di parlare di coerenza della luce. In Fig. 3.16 mostriamo un esempio di ologramma registrato durante una sessione di laboratorio.

Uno dei modi più sorprendenti di osservare un'immagine olografica è di posizionare la lastra olografica nella stessa posizione utilizzata per la registrazione. Quando l'ologramma viene illuminato dal solo fascio di riferimento, la luce diffratta ricostruisce i fronti d'onda della luce dall'oggetto originale. Quindi, si osserva un'immagine (virtuale) quasi indistinguibile dall'oggetto originale. L'immagine virtuale può essere molto nitida e tridimensionale.

Infine, se si illumina un ologramma con un fascio laser, ad esempio da un puntatore, in direzione opposta rispetto alla direzione del fascio di riferimento, si ottiene un'immagine reale proiettata su uno schermo situato nella posizione originale dell'oggetto. Spostando il fascio laser sulla lastra si osserva che ogni punto ricrea un'immagine bidimensionale dell'oggetto che ricostruisce un punto di vista

diverso. Tutte queste osservazioni permettono agli studenti di comprendere meglio alcune caratteristiche ottiche dell'ologramma, come la parallasse (cioè l'immagine cambia se la si guarda da un angolo diverso, proprio come se si guardasse un vero oggetto tridimensionale) o la caratteristica sorprendente per cui ogni parte di un ologramma contiene l'immagine dell'intero oggetto, vale a dire che ogni pezzo di un ologramma contiene una particolare prospettiva dell'immagine, ma include l'intero oggetto.

3.2.3 Osservazioni

Con lo sviluppo tecnologico e la diffusione delle applicazioni della luce laser nella società odierna, l'olografia ha acquisito un grande potenziale didattico in molti contesti [60]. L'olografia sperimentale non solo può essere considerata uno strumento efficace per l'insegnamento contestualizzato dell'ottica nelle Scuole Secondarie di Secondo Grado, ma rende anche l'ottica più interessante e “attraente” anche nelle attività di divulgazione.

Possiamo riassumere i vantaggi e i punti deboli dell'insegnamento dell'olografia all'interno dei programmi di ottica nelle Scuole Secondarie di Secondo Grado:

- **Punti di forza:** Fortemente motivante, vastità degli argomenti trattati, stimolazione della curiosità, possibilità di livelli diversi di approfondimento.
- **Punti deboli:** Costo delle lastre olografiche, necessità di alcune competenze di ottica e di sviluppo fotografico, presenza di tempi morti durante il lavoro sperimentale legati allo sviluppo e asciugatura delle lastre.

Probabilmente insegnanti che non abbiano competenze specifiche teoriche e sperimentali nel campo dell'ottica avranno bisogno di un periodo di formazione per poter realizzare un percorso di olografia con le loro classi, anche se pensiamo che questo programma possa contribuire ad un apprendimento più efficace dell'ottica e ad una migliore comprensione del suo rapporto con altri settori della fisica.

Capitolo 4

Laboratorio subacqueo

In questa sezione del lavoro di tesi, presento un'attività laboratoriale che è stata sviluppata in particolare con studenti dei percorsi del Piano Lauree Scientifiche proposti dal Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia [71]. “Laboratorio sott'acqua” nasce nel 2009 quando insegnavo all'Istituto di Istruzione Superiore indirizzo Grafico di Paderno Dugnano vicino a Milano. In origine l'intento era quello di trovare una via per interessare degli studenti che della fisica non ne volevano sapere. Volevo anche verificare se un approccio più esperienziale alla solita fisica scolastica studiata solo sui libri poteva favorire anche l'apprendimento di concetti altrimenti lontani e astratti e comunque considerati difficili. Da quella esperienza assolutamente positiva è nata l'intenzione di sviluppare un percorso completo che potesse fornire non solo i contenuti “scolastici” di quella parte di fisica data dalla fluidostatica e dalla fluidodinamica, ma anche un approccio laboratoriale il più possibile vicino alle dinamiche utilizzate nella ricerca scientifica. L'interesse e l'utilizzo di esempi tratti dalle discipline sportive per spiegare concetti di fisica di base è ormai diffuso [72]. Spesso infatti un esempio tratto dallo sport può essere di molto aiuto per spiegare la fisica delle particelle, la fluidodinamica e la termodinamica. In particolare la disciplina di cui mi sono occupato è la subacquea.

Negli ultimi decenni la subacquea ricreativa è diventata un'attività sempre più popolare e diffusa. In molti libri di fisica per le scuole si tratta di questa attività in particolare facendo riferimento all'equilibrio idrostatico al galleggiamento e agli effetti dovuti alla pressione dei fluidi [73]. Spesso chi si avvicina alla subacquea anche frequentando un corso presso scuole autorizzate, non comprende i principi fisici che sottostanno alle immersioni rendendo di conseguenza più rischioso uno sport entusiasmante. In realtà ogni corso di subacquea comprende alcune lezioni e alcune attività che riguardano i concetti di fisica implicati nelle immersioni ma

molto spesso i subacquei li dimenticano o comunque non li tengono in seria considerazione nelle loro immersioni. Essi usano manometri, BDC (Buoyancy Control Device, giubbotto per il controllo dell'assetto), respiratori ma non ne comprendono il funzionamento o comunque ne hanno una scarsa conoscenza. In questo capitolo della tesi descrivo il percorso didattico che prende spunto dalla subacquea per introdurre i principi basilari della fluidostatica e della fluidodinamica per la scuola superiore di secondo grado. Uno sport ricreativo e un argomento di fisica spesso considerata materia difficile sono affiancati in un percorso che ha come tratto innovativo la sperimentazione direttamente in piscina non solo come elemento esplicativo ma anche come momento di effettiva attività di laboratorio scientifico con lo sviluppo di veri e propri esperimenti.

4.1 Il metodo

Il percorso è stato proposto in tre differenti ambiti: un prima volta, come citato in precedenza, con circa 40 studenti di un Istituto Tecnico Grafico durante le ore curricolari di fisica; una seconda volta durante una Scuola Estiva per studenti selezionati e successivamente è stato proposto nell'ambito delle attività del Piano Lauree Scientifiche (PLS) con più di 40 studenti. In particolare presento qui l'esperienza con il PLS. Gli studenti a cui è stato proposto il percorso erano iscritti agli ultimi due anni della scuola superiore di secondo grado quindi avevano diciassette e diciotto anni. Il percorso è stato pensato per essere utilizzato sia nel monte ore indicato dal PLS sia per il monte ore curricolare quindi 16-20 ore in tutto. Seguendo l'esperienza di Kresta [74] e le indicazioni tratte da "Insegnare Scienze Sperimentali" [75], le lezioni teoriche sono state accompagnate da dimostrazioni pratiche contestuali in forma di semplici esperimenti illustrativi dei principi di base della meccanica dei fluidi, così che la maggior parte dei concetti introduttivi e fondanti il corso sono stati illustrati in forma pratica. Questo ha permesso di rendere le ore di introduzione teorica più efficaci e interessanti. Si è posta particolare cura a far sì che le dimostrazioni pratiche fossero non solo appariscenti, di effetto ma anche rilevanti nel contenuto e chiaramente illustrative dei concetti affrontati. Inoltre dovevano essere facili da eseguire e da ricordare così da poterle richiamare nelle fasi successive. È noto che l'apprendimento è maggiore quando si riesce a coinvolgere gli studenti [76] rendendoli anche parte viva e partecipe delle attività stesse.

Le lezioni sono state quindi sviluppate in tre fasi: osserva, prevedi, discuti. Inizial-

mente gli studenti hanno guardato le dimostrazioni seguendo l'iniziale spiegazione del docente; successivamente agli studenti è stato chiesto di prevedere i risultati degli esperimenti magari dopo piccole modifiche degli stessi; infine hanno potuto discutere sui risultati ottenuti e sulle discrepanze tra le previsioni e l'esperienza. Un altro elemento di coinvolgimento degli allievi è stato l'utilizzo di un questionario iniziale sottoposto agli studenti prima dell'inizio delle lezioni. Il questionario ha permesso di cogliere eventuali misconcetti o conoscenze pregresse e comunque ha suscitato interesse per risolvere le questioni poste. Il questionario utilizzato è composto da 11 domande o affermazioni a risposte multiple chiuse alcune delle quali non teoriche ma contestualizzate in un esperimento. Il questionario è stato proposto all'inizio e alla fine del corso così da poter registrare le eventuali variazioni nelle risposte degli allievi senza che un riferimento diretto alle domande del questionario sia stato fatto durante il corso. Non è stato possibile effettuare una raccolta statisticamente significativa di questionari pre e post corso per evidenziare con certezza le differenze ma si può affermare comunque che in generale il numero di risposte corrette è superiore per il questionario dopo la fine del corso come ci si potrebbe aspettare; rimangono comunque dei misconcetti sulla valutazione della pressione in differenti punti di un fluido reale (per esempio in una immersione in mare aperto) o rispetto al galleggiamento [77, 78].

4.2 Attività e esperimenti in piscina

Vediamo ora in particolare le attività proposte in piscina e come queste si collegano con i concetti teorici affrontati nelle lezioni frontali. Le attività nel nostro "laboratorio" possono essere divise in due sessioni che si svolgono anche simultaneamente: con e senza il sistema SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus) indossato. Gli studenti vengono divisi in due gruppi: il primo gruppo viene guidato in attività a corpo libero e il secondo gruppo viene introdotto alle tecniche d'immersione e all'uso delle attrezzature così da sentirsi più sicuri e confidenti durante la sessione di vera e propria sperimentazione in immersione. Durante le attività in immersione, vengono effettuate misure che essendo principalmente qualitative e quindi approssimate non permettono una accurata stima dell'errore sebbene si possano fare alcune considerazioni statistiche.



Figura 4.1: Alcuni momenti delle attività in piscina senza l'attrezzatura SCUBA specifica per le immersioni

4.2.1 Attività senza apparato SCUBA

Prima di una vera e propria immersione è necessario apprendere alcune tecniche o abilità di base semplici ma importanti per la buona riuscita dell'immersione stessa e per la sicurezza personale. In questa fase del corso vengono proposte agli allievi sia esperienze che richiamano le dimostrazioni fatte in classe dalla cattedra sia esperienze che si possono fare solo in piscina (Fig. 4.1) comunque senza l'uso dell'apparato SCUBA cioè per le quali sia necessario l'utilizzo dell'autorespiratore con bombole e giubbotto per il controllo dell'assetto.

Pulizia della maschera

La pulizia della maschera è una delle abilità tra le più basilari della subacquea, poiché una maschera resa opaca dalla condensa o allagata d'acqua può essere causa non solo dell'interruzione dell'immersione ma anche di veri e propri incidenti. Quindi sebbene sembri controintuitivo allagare intenzionalmente una maschera a buona tenuta, tutti i subacquei sono tenuti a saper pulire la maschera sott'acqua togliendosela e rimettendola espellendo l'acqua all'interno della stessa, senza risalire e soprattutto senza farsi prendere dal panico.

Ma quale principio o esperimento di fisica è inerente a tale abilità? Tale tecnica ha delle analogie con il tentativo di innalzare o abbassare il livello di fluido all'interno di un tubo nell'esperimento di Torricelli. Lo svuotamento e pulizia della maschera, supponendo che sia piena di acqua, richiede che si soffi con il naso all'interno della maschera posta sul viso prendendo l'aria dal respiratore, e nel contempo si pieghi la testa verso l'alto premendo sul lato superiore della maschera. Dal naso le bolle d'aria risalgono verso la parte superiore della maschera incrementando la pressione all'interno della maschera stessa così che l'acqua sia forzata ad uscire dalla parte bassa della maschera. È importante alzare la testa così da favorire il processo di uscita dell'acqua dal fondo e tenere premuto l'estremo superiore altrimenti si permette all'aria di prendere quella via d'uscita.

Come accennato in precedenza è possibile generare una situazione simile in un laboratorio scolastico; bisogna procurarsi una provetta lunga almeno 20 cm con un diametro interno non troppo piccolo e, dopo averla riempita d'acqua, tappare l'estremità aperta e immergerla rovesciata in un recipiente riempito sempre d'acqua (Torricelli nell'esperimento storico usò mercurio: perché?). Togliendo il "tappo" ci si accorge che indipendentemente dall'altezza del liquido all'interno della provetta, dalla sua inclinazione, e dalla profondità a cui è immerso l'estremo della provetta, il livello dell'acqua interna non scende rimanendo costante su un certo valore che dipenderà dall'equilibrio tra pressione esterna (tipicamente atmosferica), pressione interna dell'aria contenuta sopra la colonna di fluido e la pressione idrostatica della colonna di liquido interno rispetto il pelo libero dell'acqua nel recipiente. Questa sarà la situazione analoga al subacqueo a una certa profondità in immersione con la maschera sul viso allagata con un po' di aria e un po' di acqua dentro. Sarà possibile soffiare dell'aria all'interno della provetta tramite una cannucchia e quello che si osserverà sarà un abbassamento del livello dell'acqua nella provetta: lo svuotamento della maschera appunto (se il setup è costruito opportunamente si osserverà anche un innalzamento del livello d'acqua nel contenitore il che può suggerire qualche osservazione).

Nelle attività in piscina, è stata usata una tanica da 10 litri di volume (mostrata in fig. 4.2), riempita d'acqua e capovolta nella piscina facendo attenzione a non far uscire l'acqua dalla tanica e avendo cura che l'apertura fosse il più possibile mantenuta a pochi millimetri sott'acqua con inserito un tubo all'interno. Così come nell'esperimento in laboratorio, si osserva che il livello dell'acqua nella tanica non cambia rimanendo a una certa quota. Se si soffia nel tubo, l'aria immessa spinge fuori l'acqua dalla tanica per riequilibrare le pressioni. Calibrando i volumi

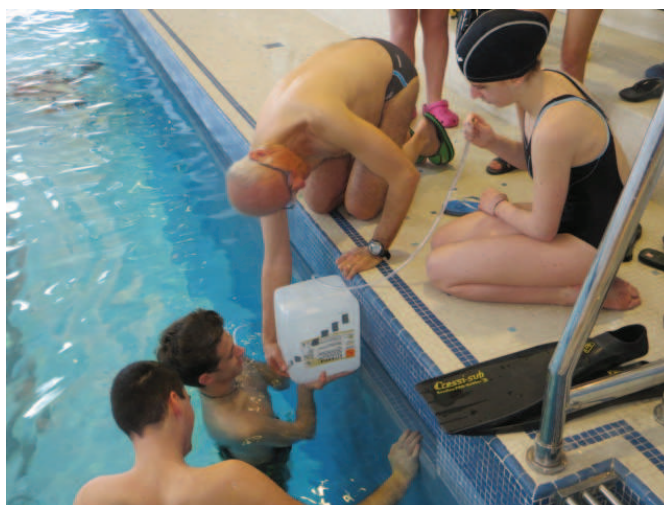


Figura 4.2: Uso di una tanica da 10 l per la misura del volume polmonare

con opportuni riferimenti sulla tanica, sarà possibile determinare il massimo volume polmonare vitale (la quantità d'aria che si può espirare dopo una profonda inspirazione) per ciascun allievo conducendo così una piccola ricerca statistica. La capacità polmonare in prima approssimazione dipende da diversi fattori come il peso, l'età, il genere sessuale, l'attività fisica. Per esempio le donne tendono ad avere circa il 20-30% in meno di volume polmonare. Nelle misure condotte durante l'attività con gli allievi del PLS, si è ottenuto un valore medio di 3,5 litri per le femmine e 4,5 litri per i maschi.

Legge di Stevin: la pressione cresce con la profondità

Il peso dell'acqua al di sopra dei sommozzatori esercita una pressione sui loro corpi. Maggiore è la profondità maggiore è la pressione che viene esercitata. La pressione sarà la somma della pressione dell'aria (atmosferica) e della pressione dell'acqua soprastante (idrostatica). Questa osservazione ci riporta direttamente alla legge di Stevin sulla pressione idrostatica assoluta. In un laboratorio scolastico è possibile verificare anche numericamente tale legge immergendo un imbuto capovolto, collegato a un tubo a U, in un vaso. Man mano che l'imbuto va in profondità subendo così un aumento di pressione, nel manometro a U aumenta la differenza di livello del liquido manometrico nei due rami del tubo. Dalla misura della differenza dei due livelli si risale alla profondità raggiunta dall'imbuto con una correzione dovuta alla compressione dell'aria nel tubo di collegamento tra imbuto e manometro.

È noto che la pressione idrostatica dell'acqua aumenta di una atmosfera ogni 10 metri in profondità. In un laboratorio scolastico è però difficile raggiungere grandi

differenze di pressione senza l'ausilio di pompe a vuoto e camere a tenuta stagna, comunque di dimensioni limitate. L'unico modo per poter sperimentare, sul proprio corpo, gli effetti diretti della pressione idrostatica è quello di potersi immergere in sicurezza. I sommozzatori risentono della pressione idrostatica solo relativamente alle zone del corpo comprimibili poiché piene di aria, come polmoni e torace, orecchie, bocca. In generale il corpo risente poco della profondità poiché è composto da acqua per il 70 % quindi sostanzialmente incompressibile. Per le cavità, come seni nasali e paranasali e padiglioni auricolari, la pressione dell'aria inspirata equilibra la pressione esterna evitando il collasso della cavità stessa. Quindi durante la fase discendente dell'immersione, un subacqueo potrà sentire la variazione di pressione solo sulle orecchie (magari con dolore) e troverà la respirazione un po' più faticosa poiché dovendo respirare aria alla pressione esterna, quella dell'acqua alla profondità a cui si trova, questa sarà anche più densa. Inoltre la pressione agirà anche sul torace rendendo più faticosa la respirazione impedendo l'espansione del torace stesso. In piscina è possibile sperimentare questi effetti facendo respirare gli studenti posti dentro e fuori dall'acqua mentre tentano di gonfiare un palloncino collegato a un tubo rigido di 2 m di lunghezza. Questa è la sequenza delle prove: prima sia lo studente che il palloncino sono fuori dall'acqua, poi il palloncino è immerso e lo studente fuori e in ultimo lo studente è immerso e il palloncino è fuori. Questa esperienza dimostra quanto sia difficile

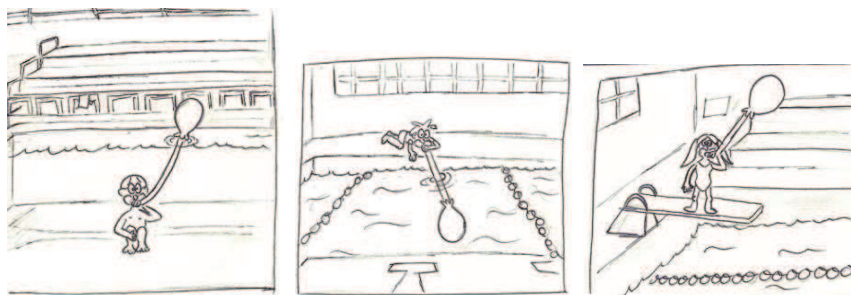


Figura 4.3: Respirando fuori e dentro l'acqua si sperimenta una pressione differente: fuori è solo la pressione atmosferica, dentro all'acqua si somma la pressione idrostatica alla pressione atmosferica.

gonfiare il palloncino quando questo è immerso nell'acqua anche solo per 60 cm o più a seconda dello studente. Infatti per gonfiarlo bisogna vincere non solo la forza dovuta alla tensione elastica delle pareti del palloncino, ma anche la forza dovuta alla pressione esterna dell'acqua alla profondità alla quale è immerso il palloncino. Misurando con un manometro la pressione esercitata mediante un'espirazione, si trova che questa è equivalente alla pressione di 1,3 m mediamente per i maschi e

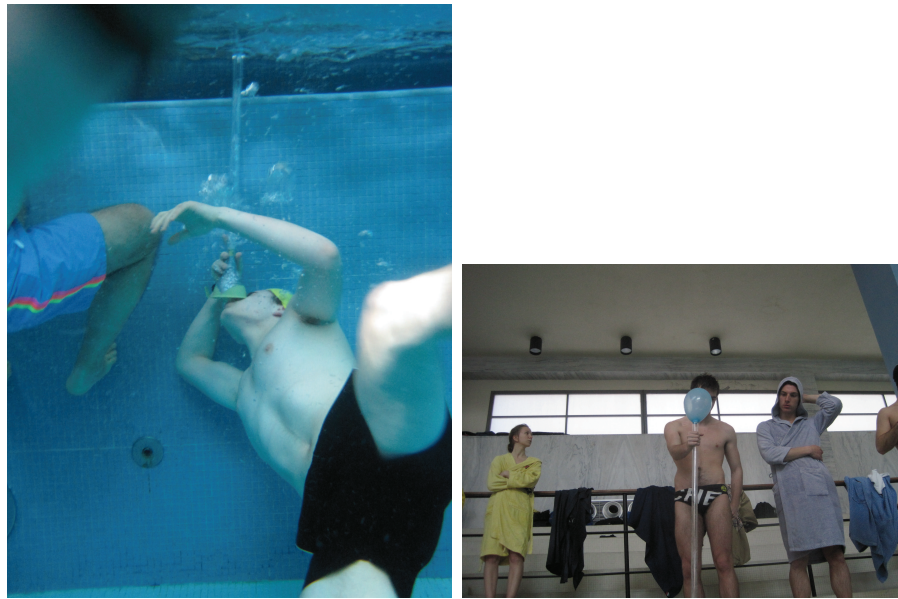


Figura 4.4: Riproduzione in piscina della formazione delle bolle ad alta pressione che risalgono dal fondo di un pozzo petrolifero.

0,8 m per le femmine, espressa un unità di metri d'acqua. Anche se si dovrebbe verificare queste misure con maggiore attenzione, ci danno comunque un'indicazione coerente con le misure qualitative con il palloncino in acqua. Si può anche dire che gli studenti fanno esperienza di quanto sia più facile gonfiare il palloncino quando sono immersi grazie alla pressione dell'acqua sul loro corpo e quindi sui polmoni.

Perforazione di un pozzo petrolifero: un possibile problema

È noto che le bolle di gas provenienti dal fondo di un pozzo petrolifero possono pericolosamente innalzare la pressione sulle valvole alla testa del pozzo [79]: è buona norma quindi non chiudere mai completamente le valvole. Una bolla di gas intrappolata al fondo di un pozzo che si trova a 7000 m di profondità ha una pressione interna di circa 700 atm per contrastare la pressione idrostatica esterna della colonna di liquido (petrolio) soprastante. Se consideriamo le pareti del condotto del pozzo rigide, il fluido (petrolio) incomprimibile e il gas non solubile nel fluido allora il volume della bolla rimane costante durante la risalita nel condotto così che la pressione sulle valvole in cima alla piattaforma è la stessa del fondo, quindi potenzialmente pericolosa. Anche questa situazione può essere in parte riprodotta in piscina, come si può vedere dalla Fig. 4.4. Lo studente immerso a una profondità di 1-1,5 m nella piscina, genera una bolla che grazie a un imbuto viene

incanalata in un tubo di 2 m (la condotta della piattaforma) uscente dall'acqua al cui estremo è fissato un palloncino (che simula la valvola). Quando la bolla arriva in cima il palloncino si gonfia facilmente.

Galleggiamento controllato con la respirazione

Il controllo dell'assetto è una abilità fondamentale per ogni sommozzatore. Durante un'immersione risulta chiara quale sia la difficoltà legata a un assetto instabile a causa della comprimibilità delle attrezzature (giubbotto, mute, corpo stesso) mentre si discende. Il subacqueo mentre "galleggia" in mezzo all'acqua deve regolare il proprio assetto per renderlo stabile mediante regolazioni fini utilizzando il respiro e il proprio dispositivo di controllo dell'assetto (BCD) qualora la quota a cui si trova vari. I nostri polmoni, infatti, sono un naturale "sistema di compensazione" del galleggiamento potendo offrire circa fino a 5 kg di spinta di galleggiamento. Nella normale respirazione da fermo i nostri polmoni si espandono di circa mezzo litro permettendo così una spinta di mezzo chilogrammo in più o in meno. Così un subacqueo mediamente esperto ha a disposizione un sistema per regolare l'assetto in un range di più o meno mezzo chilogrammo, in modo da regolare la quota a cui avviene l'immersione solo con la respirazione.

Dai loro studi gli studenti sanno che il galleggiamento di un oggetto è regolato da una forza diretta dal basso verso l'alto (spinta archimedeica) che si oppone al peso dell'oggetto stesso e che dipende dal volume del fluido spostato in cui è immerso il corpo. Nell'attività proposta gli studenti possono sperimentare direttamente sul loro corpo l'azione delle forze e del conseguente galleggiamento. Entrati in acqua, devono mantenere fermi tutti gli arti, braccia, gambe, piedi e inspirare fino a riempire i polmoni. In questa condizione si osserva che la testa e parte del collo e per qualcuno anche le spalle sono completamente fuori dall'acqua. Poi espirando con calma inizieranno ad affondare. Quelli con più acquaticità e meno ansiosi, comunque seguiti da un istruttore, riusciranno ad andare ben sotto il livello d'acqua immergendosi senza sforzo. Una stima grossolana dei volumi in gioco permette di confrontare il volume della testa e collo con il volume d'aria inspirato. È facile osservare che l'uso della respirazione per regolare il galleggiamento è una capacità essenziale non solo a corpo libero ma anche con l'attrezzatura indossata.

Un'altra osservazione che si può proporre è correlata alla posizione relativa del centro di massa del nostro corpo e al punto di applicazione della spinta di galleggiamento. In generale questi due punti non coincidono per cui il corpo di un nuotatore fermo tenderà, se disteso, a ruotare alla ricerca di un equilibrio stabile.

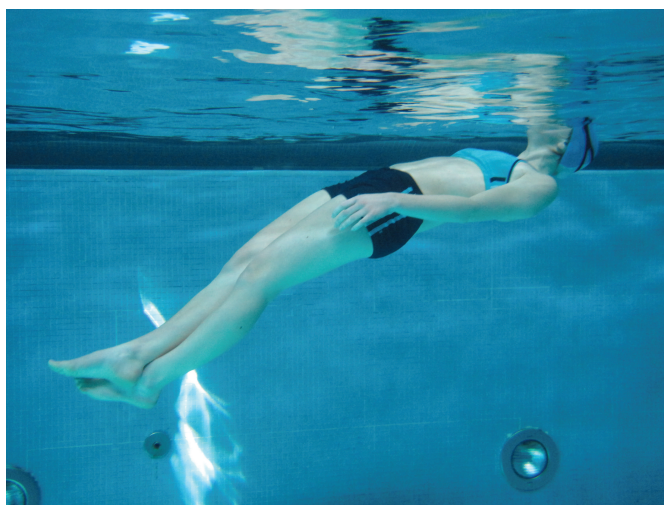


Figura 4.5: La condizione di equilibrio corrisponde ad avere le gambe e il bacino immersi a una profondità maggiore di testa e spalle

Fatta la prova con gli studenti si è notato che la condizione di equilibrio corrisponde ad avere le gambe e il bacino immersi a una profondità maggiore di testa e spalle (FIG. 4.5, cioè la posizione di maggiore equilibrio non è come si potrebbe pensare quella di perfetta orizzontalità. Si è notata anche una leggera differenza tra i maschi e le femmine. Sarebbe interessante verificare se queste osservazioni hanno un qualche riscontro in modelli di fisiologia del corpo umano.

4.2.2 Esperienze con l'attrezzatura da immersione

Per questa parte del percorso è necessaria una piscina con una vasca profonda almeno 4 m così da eseguire meglio tutte le esperienze. Gli studenti sono guidati in due differenti sessioni. La prima è un'introduzione alle regole di sicurezza e all'uso dell'attrezzatura per immersioni sotto la guida di istruttori qualificati e certificati. Questa fase è essenziale per due motivi: poiché anche a profondità limitate rapidi cambiamenti di pressione dovuti a variazioni di quota possono provocare dolore se non danni alle orecchie e ai polmoni; inoltre è un momento per verificare se tutti gli studenti sono in grado di immergersi senza ansia o panico. Per le attività in piscina, dimostrazioni e misure, è necessario immergersi a una profondità di circa 4 m così da far esperienza di una variazione di 0,3-0,4 atm, quanto basta per rendere necessaria la compensazione delle orecchie e della maschera. In particolare la compensazione della pressione sulle orecchie può rivelarsi per qualcuno particolarmente difficoltosa. Dopo l'introduzione teorica gli istruttori guidano gli studenti alla loro prima immersione. Chiaramente questa introduzione alle immersioni non

può minimamente essere considerata alla pari di un corso SCUBA Open Diving. Gli studenti provano la maschera, le pinne, e lo snorkel. Imparano a respirare nel respiratore prima fuori dall'acqua e poi dentro, imparano a compensare le orecchie così da non sentire dolore.

Legge di Archimede e galleggiamento

Il “Principio di Archimede” è probabilmente uno dei più famosi principi della fisica. Spesso la gente è curiosa di sapere se un oggetto galleggia o affonda e molti credono che gli oggetti piccoli possano galleggiare e quelli grandi affondare [80]. Molte persone hanno idee alternative se non errate che faticano a modificare e che spesso sono incompatibili con la corretta spiegazione scientifica. Per esempio molti studenti delle scuole medie ritengono che gli oggetti galleggiano o affondano in base al peso senza considerare il loro volume. Molti studenti fanno previsioni considerando proprietà specifiche degli oggetti come cavità, buchi [81]. In piscina, per indagare sull'origine della forza di Archimede, si può considerare un contenitore vuoto in plexiglass quadrato con le superfici laterali elastiche completamente immerso nell'acqua. La pressione P_1 sulla superficie superiore S_1 è minore della pressione P_2 sulla superficie inferiore S_2 poiché la seconda superficie si trova a una profondità maggiore. Di conseguenza la forza $F_1 = P_1 \cdot S_1$ agente sulla superficie superiore è inferiore alla forza $F_2 = P_2 \cdot S_2$ esercitata sulla faccia inferiore. La spinta di Archimede deriva dalla composizione di queste due forze e proprio perché la seconda è superiore alla prima la spinta sarà dal basso verso l'alto. Come si può chiaramente vedere dalle immagini, quando il contenitore è completamente immerso, la superficie laterale elastica inferiore è maggiormente incurvata rispetto a quella superiore. Inoltre, come ci si attende, le superfici laterali si incurvano della stessa misura.

Principio di Archimede: il galleggiamento

Ci domandiamo ora: una bombola di gas (aria) usata in immersione galleggia o affonda? Qual è il peso di una bombola piena in acqua e fuori dall'acqua? Rispondere a questo tipo di domande significa saper determinare il cosiddetto “proper weight”, la giusta pesata. In una sessione di laboratorio a scuola si usa il ben noto Diavoleto di Cartesio come dimostrazione per illustrare la relazione tra la legge di Archimede e la legge di Boyle. In piscina si può illustrare tale relazione, simulando il funzionamento di un sottomarino, il quale non cambia il suo volume ma la densità media per poter risalire o immergersi. Quando galleggia la densità

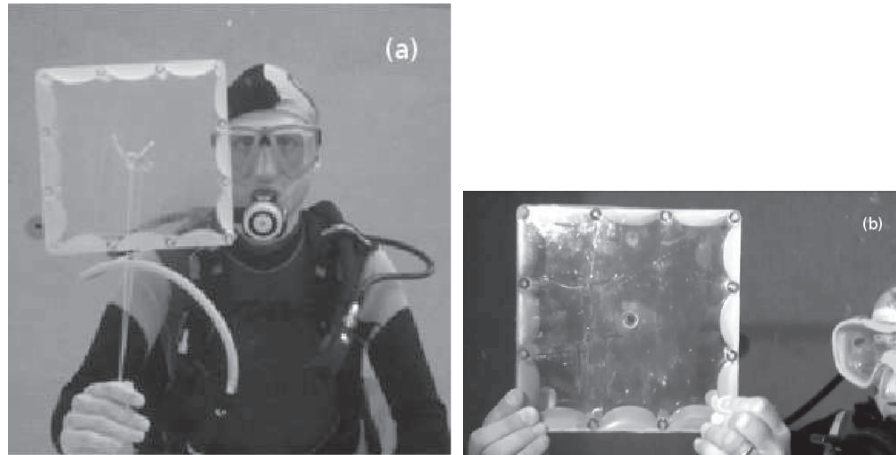


Figura 4.6: (a) Uno studente tiene in mano il box mentre è in immersione a 3 m di profondità. (b) Le pareti elastiche del box sono incurvate. Si può notare la differente curvatura del lato superiore rispetto a quello inferiore.

media del sottomarino è uguale a quella dell'acqua, mentre quando si immerge aumenta la sua densità allagando le “stanze” apposite e quando deve risalire svuota le “stanze” con delle pompe e immette aria. Nella simulazione si usa un cilindro



Figura 4.7: Me stesso durante la simulazione e la ricerca delle posizioni di equilibrio di un sottomarino in immersione.

graduato parzialmente riempito di acqua che capovolto viene immerso completamente nella piscina. Dopo aver trovato la posizione “di neutralità” rispetto al galleggiamento cioè quando il cilindro rimane fermo in mezzo all'acqua, lo si muove di poco verticalmente. In questo modo, aumenta o diminuisce la pressione sulla superficie aperta del cilindro e in accordo con la legge di Boyle cambierà il volume dell'aria interna al cilindro e di conseguenza la corrispondente densità. Da ciò se si sposta il cilindro di poco verso l'alto, questo inizierà a risalire viceversa se lo si

muove verso il basso inizierà ad affondare. Come sempre ci vuole un esempio che coinvolga il corpo: Fin Pivoting. Il Pivoting è un esercizio apparentemente molto facile e basilare per un subacqueo: si distende lo studente prono sul fondo della vasca con le gambe allungate e la punta dei piedi che toccano il fondo, tutto il resto del corpo rimane staccato dal fondo. L'esercizio consiste nel far sollevare il solo busto semplicemente controllando il respiro. L'esercizio è simile ai piegamenti sulle braccia sostituendo l'azione dei muscoli con l'azione della spinta archimedeica regolata dai polmoni.

Legge di Boyle e misura dell'accelerazione di gravità g

Anche un subacqueo impegnato in un'immersione ricreativa deve essere in grado di imparare e saper applicare basilari concetti di fisica che normalmente possono sembrare poco familiari. Uno di questi è sicuramente la legge di Boyle. Una delle dimostrazioni eseguibili in un laboratorio scolastico, premere su una siringa sigillata ad uno estremo, è tanto semplice quanto imprecisa a causa degli attriti. In piscina è invece possibile eseguire un esperimento che prende spunto dalla Campana di Alexander [82] e che richiede solo la possibilità di immergersi. La legge di Boyle afferma che la relazione tra la pressione esercitata su un gas ideale e il volume da questo occupato a temperatura costante è caratterizzata da una proporzionalità inversa. Questo significa che all'aumentare della pressione il volume deve diminuire. Per chi si immerge, questa legge conduce a conseguenze fisiologiche sul corpo umano: sebbene il corpo sia fatto principalmente d'acqua e l'acqua sia incompressibile, come accennato nei paragrafi precedenti, ci sono diverse cavità riempite di aria, come il torace, l'orecchio medio, i seni nasali e l'intestino. Essendo un gas, si espanderà e contrarrà: saranno queste le parti soggette alla legge di Boyle. La pressione dei gas interni a qualunque cavità non rigida deve corrispondere, eguagliandosi, alla pressione esterna. Durante la discesa le parti sopraccitate risentiranno di una pressione esterna superiore contraendosi, di conseguenza, in volume e viceversa durante la risalita. Il Barotrauma è proprio il danno procurato al nostro corpo da un cambiamento della pressione non controllato o più correttamente da una differenza tra la pressione interna ed esterna non compensata. Uno degli scopi principali delle attività in piscina è quello di poter verificare la legge di Boyle. In realtà con l'attrezzatura a disposizione sarà possibile avere solo una verifica indiretta non potendo usare un vero e proprio manometro. Consideriamo un cilindro graduato parzialmente riempito d'acqua e portiamolo ribaltato sul fondo della piscina. Sistemiamo un metro a nastro sulla parete della vasca per deter-

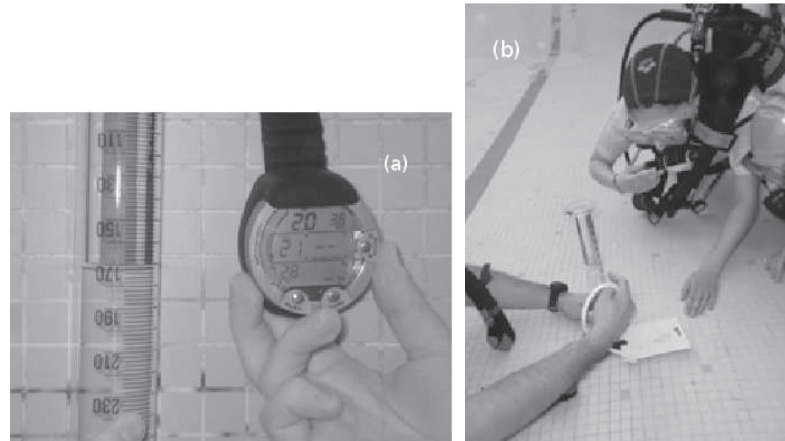


Figura 4.8: (a) Cilindro graduato e computer per immersioni. (b) L'autore prende i dati al fondo della piscina insieme agli studenti.

minare a quale profondità si trovi il cilindro assumiamo; vera la legge di Stevin per la determinazione della pressione idrostatica a temperatura costante. Si può così esprimere il volume dell'aria contenuta nel cilindro graduato in funzione delle profondità. Dalle due espressioni:

$$P(h) = P_0 + \rho gh \quad (4.1)$$

$$P(h)V(h) = P_0V_0 \quad (4.2)$$

possiamo ricavare l'espressione per il volume

$$V(h) = \frac{V_0}{1 + (\rho g/P_0)h} \quad (4.3)$$

dove

P_0 = Pressione atmosferica (Pa)

V_0 = Volume iniziale (m^3)

ρ = densità dell'acqua (kg/m^3)

g = accelerazione di gravità (m/s^2)

h = profondità (m)

Nelle misure eseguite con gli studenti, siamo partiti dal fondo della piscina, usando un cilindro graduato di 200 ml (± 2 ml) per la misura dei volumi e un computer da immersioni Suunto Viper 1 per controllare la profondità di lavoro con una risoluzione di ± 1 m. Nella figura 4.9 è possibile osservare tre grafici a confronto: i valori teorici (linea tratteggiata), i dati sperimentali (i punti) e la curva interpolante (li-

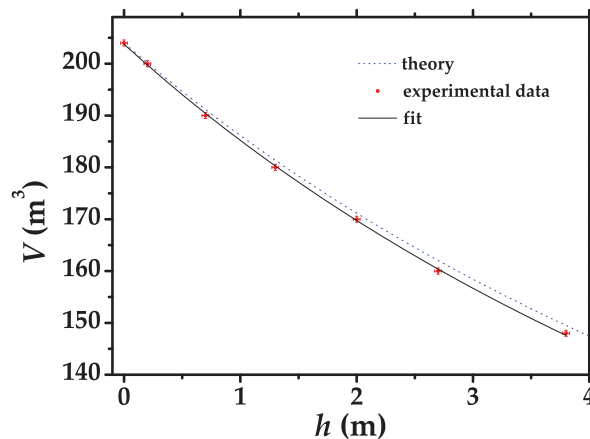


Figura 4.9: Il grafico rappresenta il volume di aria nel cilindro graduato in funzione della profondità.

nea continua). Come si può vedere i risultati sperimentali sono consistenti con i valori attesi. Dai parametri del fitting è stato possibile ricavare il valore dell'accelerazione di gravità. Il valore ottenuto è $g = (10.25 \pm 0.09)m/s^2$, che nonostante la relativa semplicità dell'esperimento, è un valore che si discosta solo del 4% dal valore standard accettato in letteratura. È possibile eseguire un esperimento simile in un laboratorio scolastico usando la già citata Campana di Alexander [82], ma la modalità qui descritta è sicuramente più coinvolgente e efficace.

4.2.3 Osservazioni

L'argomento in esame, molto vicino alla vita quotidiana degli studenti, come altri percorsi educativi legati allo sport, è utile per una migliore comprensione di questo semplice ma non banale argomento di fisica [78]. Il corso è composto da un solido background di fisica e offre molte idee per ulteriori analisi approfondite. Inoltre, l'esperienza diretta degli effetti di pressione e delle variazioni di pressione sul corpo potrebbe prevenire le idee scorrette e idee ingenuie degli studenti sul comportamento dei liquidi. Il condizionale è d'obbligo. Infatti il fatto che tutti i giorni e in molte situazioni gli studenti facciano esperienza dei fluidi non significa che sia semplice scardinare, anche con un percorso così articolato, alcune idee errate ormai sedimentate nel pensiero degli studenti. Dai dati del questionario iniziale riproposto alla fine del percorso, emerge che rimangono difficoltà di comprensione sul galleggiamento degli oggetti e sul concetto di pressione idrostatica.

Sfortunatamente è necessario tenere in considerazione alcuni vincoli importanti. È importante fornire un periodo di formazione per gli insegnanti se non sono già subacquei. È anche importante avere un buon feeling con gli istruttori subacquei. Sebbene tutte le dimostrazioni durante le lezioni di classe e le attività in piscina siano eseguite con materiale economico, l'accesso alle piscine e la presenza degli istruttori può generare qualche difficoltà per l'impegno economico. È importante, soprattutto nelle attività in piscina, andare oltre l'entusiasmo iniziale, aiutando gli studenti a capire e imparare il più possibile dalle semplici esperienze che svolgono. L'ulteriore sviluppo del percorso presentato sarà mirato a eseguire misurazioni più accurate.

Allegati alla Parte II

B.1 Testo del questionario sui misconcetti

PLS 2011-2015 – “Fotografia e olografia”
LuNa – “La natura della Luce nella luce della Natura”




Indagine iniziale: un po' per rompere il ghiaccio


1. Il colore è una proprietà intrinseca di ogni corpo.	Vero	falso
2. C'è un oggetto su un tavolo. L'oggetto è posto davanti a uno specchio e tu come osservatore sei seduto davanti allo specchio in tre possibili posizioni A, B e C. Indica dove sarà posizionata l'immagine dell'oggetto secondo ciascun punto di osservazione.		
3. C'è un oggetto su un tavolo. L'oggetto e l'osservatore si trovano appena oltre lo spigolo dello specchio. Cosa vedrà l'osservatore nello specchio?		
4. Nella scatola completamente oscurata e chiusa viene posta una lastra fotografica e su un lato viene praticato un foro perfettamente circolare.		
5. Con una lente realizziamo su uno schermo l'immagine di una candela. Se copriremo metà della lente cosa vedremmo sullo schermo?	<p>a) Si potrà registrare sulla lastra un'immagine chiara dell'oggetto (il microscopio)?</p> <p>b) Cosa cambia aumentando o diminuendo le dimensioni del foro sulla scatola?</p> <p>c) Spostando la lastra all'interno della scatola cosa si può osservare?</p>	
6. Con una lente realizziamo su uno schermo l'immagine di una candela. Se copriremo metà della lente cosa vedremmo sullo schermo?	<p>a) Comunque l'immagine intera della candela. b) Parte dell'immagine verrebbe coperta. c) Un'immagine sfuocata. d) Non saprei.</p>	
6. La velocità delle onde radio è diversa dalla velocità del suono	Vero	Falso
7. Il cielo è azzurro perché l'aria è azzurra	Vero	Falso
8. La velocità della luce non cambia mai	Vero	Falso
9. La luce viaggia sempre seguendo il percorso fisico più corto	Vero	Falso
10. Un raggio luminoso viene riflesso solo da superfici lisce.	Vero	Falso
11. Perché la pupilla dell'occhio appare nera?	E' di colore nero	E' un buco
		Altro


B.2 Testo del questionario sui fluidi

Università Dell'Insubria di Como Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia
 Progetto Lauree Scientifiche 2013 "La Fisica sott'acqua"


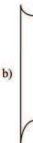

Domanda 1

a)  Un cilindro cavo con due pareti di base elastiche, viene totalmente immerso in acqua orizzontalmente. Quale forma assumeranno le superfici di base?

b)  a) b) c)

c) 

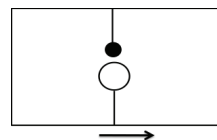
Domanda 2

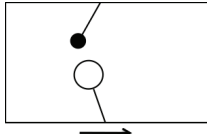
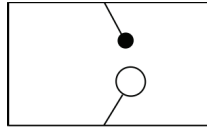
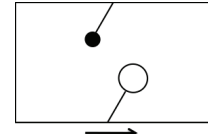
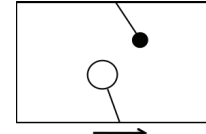
a)  b)  c)  Lo stesso cilindro con le due pareti di base elastiche, viene totalmente immerso in acqua verticalmente. Quale forma assumeranno le superfici di base?

a) b) c)

Domanda 3

Alle pareti di un contenitore, appoggiato su un carrello, vengono attaccati con un filo un pendolo (superiore) e un palloncino riempito di elio (inferiore). Inizialmente il sistema è in quiete e la posizione del palloncino e del pendolo è quella indicata in figura. Il contenitore viene mosso con accelerazione costante nella direzione e verso della freccia in figura. Quale sarà la posizione del palloncino e del pendolo durante il moto accelerato?



a)  b)  c)  d) 

Domanda 4

Due palloncini vengono legati insieme con un lungo spago e sono gonfiati della stessa misura. Uno viene gonfiato con elio, l'altro con aria. Il sistema dei due palloncini sale fino al soffitto della stanza in cui si svolge l'esperienza.

Quale palloncino sarà attaccato al soffitto? Cosa fa l'altro?

Se poniamo il palloncino d'aria in azoto liquido, si contrarrà sgonfiandosi (senza essere bucatto) per effetto del freddo. Cosa potrà accadere al sistema e perché?

.....

.....

.....

.....

Domanda 5

Un sommergibile galleggia sulla superficie del mare grazie alla spinta di galleggiamento (Spinta archimedeo). Quando si immerge agisce ancora la spinta Archimedeo? L'intensità della spinta sarà maggior minore o uguale?

**Università Dell’Insubria di Como Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia
Progetto Lauree Scientifiche 2013 “La Fisica sott’acqua”**

Domanda 6

I due punti A e B si trovano alla stessa quota all’interno dei due contenitori riempiti con acqua. Sui due punti viene esercitata una pressione dovuta al liquido:

- a) Maggiore in A
- b) Maggiore in B
- c) Uguale tra A e B



Domanda 7

Considera la situazione in figura. La pressione percepita dai due pesci è:

- a) Uguale per i due pesci
- b) Maggiore per il pesce in mare aperto
- c) Maggiore per il pesce nella caverna



Domanda 8

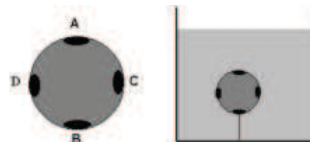
I tre contenitori in figura sono riempiti di acqua allo stesso livello. La forza esercitata sulla base dei contenitori è

- a) La stessa per tutti e tre i contenitori
- b) Maggiore per il contenitore A rispetto gli altri
- c) Maggiore per il contenitore B rispetto gli altri
- d) Maggiore per il contenitore C rispetto gli altri



Domanda 9

Un pallone da calcio viene immerso totalmente in acqua (se necessario viene tenuto forzatamente). Quattro dischi identici vengono applicati sul pallone in posizioni diametralmente opposte nei punti A-B-C-D (vedi figura)



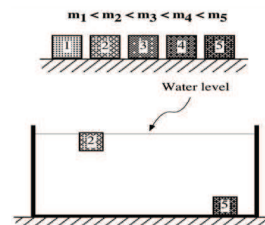
L’acqua esercita una forza: (se la risposta è sì indica la direzione della forza con una freccia)

- a) Sul disco A? Sì No
- b) Sul disco B? Sì No
- c) Sul disco C? Sì No
- d) Sul disco D? Sì No

Se hai risposto sì in almeno due casi, indica se le forze hanno la stessa intensità o elencale in ordine crescente

Domanda 10

Considera cinque blocchi delle stesse dimensioni e forme ma di differenti masse. I blocchi sono numerati in ordine di massa crescente ($m_1 < m_2 < m_3 < m_4 < m_5$). Tutti i blocchi sono inizialmente mantenuti immersi in un acquario riempito d’acqua (assumi l’acqua incompressibile). Quale sarà la posizione dei blocchi una volta che sono stati lasciati liberi di muoversi? Indica le posizioni nel diagramma dove sono già riportate le posizioni finali del blocco 2 e 5



Parte III

Conclusioni

Il materiale presentato in questo lavoro di tesi è espressione di una parte delle numerose esperienze vissute nel periodo trascorso al Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia per il Dottorato di ricerca. Sono arrivato al Dottorato, dopo 16 anni di insegnamento a vari livelli della Scuola Secondaria di Secondo Grado, carico di aspettative rispetto questa esperienza. Pensavo di poter trovare nel tempo concessomi delle ricette per risolvere i miei dubbi e i problemi dei miei colleghi nell'insegnamento della fisica. Sono partito dalla convinzione che per insegnare fisica non si potesse prescindere dall'aspetto sperimentale di questa affascinante disciplina. Allo stesso modo sono stato sempre convinto che la formazione continua dei docenti fosse una attività cardine del sistema scolastico. Ecco allora lo sviluppo della mia ricerca su due percorsi che hanno poi trovato un punto comune d'intersezione. Il primo percorso è una ricerca sulle convinzioni e attitudini che guidano gli studenti nello studio della fisica così come risultano dopo il periodo delle scuole superiori, cioè all'inizio primo corso universitario di fisica, chiaramente per i Corsi di Laurea che lo prevedono. La ricerca va a sondare le convinzioni che riguardano come gli studenti vedono la fisica e il modo di studiarla, si potrebbe dire il pensiero epistemologico degli studenti sulla fisica. Come descritto nella Parte I, lo studio è partito dalla somministrazione del questionario CLASS redatto dal gruppo di Ricerca in Didattica della Fisica della Colorado Boulder University (Colorado Learning Attitudes about Science Survey "CLASS"). I dati raccolti, pur non essendo numerosi, sono comunque in linea con altre ricerche a me note e possono essere già statisticamente significativi vista la diversificata provenienza territoriale (diverse città) e accademica (diversi Corsi di Laurea). L'analisi dei dati del questionario può diventare un valido strumento per le ricerche in didattica della fisica e per il miglioramento del suo insegnamento. Uno sguardo iniziale ai dati suggerisce di considerare l'importanza di certe convinzioni per il successo formativo dei corsi di fisica e per confermare nello studente l'intenzione di continuare o meno l'impegno nello studio della fisica. I dati mostrano anche come certi stili di insegnamento possono avere un impatto negativo sulle concezioni degli studenti, così come, al contrario, certe pratiche di insegnamento dirette a influenzare gli stili di apprendimento e la considerazione verso la fisica da parte degli studenti possono avere effetti misurabili nel tempo. Dai dati infatti si evince che chi ha scelto di iscriversi al Corso di Laurea in fisica ha effettivamente, già dall'inizio del suo percorso universitario, un'attitudine e un pensiero rispetto allo studio della più vicini al pensiero del fisico "esperto". Avendo poi sottoposto il questionario a fasce di "fisici" differenziate per esperienza, dalle matricole agli studenti di dot-

torato e post-dottorato, dai ricercatori ai professori universitari, posso dire che raggiungere il “pensiero esperto” richiede veramente tanti anni e tanta “pratica”. Questo spiega come mai spesso gli insegnanti e gli allievi usino dei registri comunicativi assai diversi. L’insegnante incorre nella tentazione di pensare che certi stili di apprendimento e di approccio alla fisica siano il punto di partenza per l’allievo mentre invece sono il punto di arrivo, raggiungibile dopo molti anni di “pratica”, col conseguente rischio di non riuscire a comunicare con gli allievi. I dati del questionario mettono inoltre in rilievo una marcata differenza tra le ragazze e i ragazzi nell’atteggiamento verso lo studio della fisica e la fisica stessa che sicuramente va tenuta in considerazione se si vogliono sviluppare dei percorsi che incentivino il coinvolgimento delle ragazze negli studi scientifici.

In generale, si riscontra una ragionevole corrispondenza tra le risposte date e la scelta del percorso universitario, come a seguito di una auto-selezione degli studenti all’uscita delle superiori. Statisticamente gli studenti che hanno scelto di frequentare fisica sono anche quelli che hanno posizioni “epistemologiche” più vicine a quelle degli “esperti” mentre chi se ne discosta maggiormente effettivamente ha scelto percorsi che poco hanno a che fare con la fisica, come scienze della formazione primaria o medicina. Per un’analisi più approfondita e per ottenere delle indicazioni più fruibili da una progettazione di nuovi percorsi di insegnamento/apprendimento, sarebbe utile lavorare su due fronti: il primo, seguendo gli studenti nel tempo, in modo “longitudinale”, e il secondo indagando sulla docenza. Per operare in modo longitudinale, è necessario seguire gli studenti negli anni successivi all’ingresso in università, verificando l’evoluzione del loro pensiero sulla fisica verso il pensiero esperto. Per quanto riguarda i docenti, il lavoro da fare è duplice: da una parte, indagare quale sia la posizione dei docenti di matematica e fisica rispetto alle stesse domande del CLASS e dall’altra parte verificare se gli allievi che più si sono avvicinati alle concezioni/attitudini “esperte” abbiano maturato tali concezioni da soli o perché guidati da una didattica opportuna. Pur avendo già espresso delle considerazioni in merito a conclusione della Parte I di questo elaborato, è necessario disporre di un numero maggiore di dati e di una maggiore distribuzione sul territorio italiano per poter raggiungere una migliore confidenza sull’interpretazione dei dati stessi.

Una delle indicazioni che emerge dalla lettura dei dati del CLASS, è che gli studenti arrivano con un loro bagaglio di conoscenze, convinzioni e attitudini rispetto alla fisica che spesso non sono quello che i docenti si aspettano. Durante i loro anni di studio “costruiscono” il loro sapere e le loro competenze, a partire da quei

fondamenti ingenui, corretti o errati che hanno acquisito negli anni precedenti. Tali fondamenti saranno un filtro, talvolta un ostacolo oppure un aiuto, che essi utilizzeranno per interpretare i nuovi contenuti proposti a lezione. Ecco allora che, insegnando, diventa essenziale partire da lì, dai contenuti pregressi che hanno formato la conoscenza e le abilità interpretative degli studenti fino al momento della lezione che stiamo offrendo.

Come fisici e come insegnanti sappiamo che un importante risultato dello studio della fisica dovrebbe essere la capacità di mettere in relazione i principi fisici generali con l'esperienza quotidiana. Molte ricerche hanno mostrato che anche gli studenti delle scuole superiori conservano misconcetti e idee ingenue o errate anche dopo un lungo percorso di istruzione. Questo è emerso chiaramente anche dalla nostra attività di divulgazione nel campo dell'Ottica, in particolare grazie all'uso del questionario sui misconcetti presentato nella Sezione 2 e che abbiamo utilizzato per innescare la discussione fra gli studenti. Il questionario è stato utile per aumentare la nostra consapevolezza delle opinioni degli studenti sul funzionamento di alcuni sistemi ottici e per fornire interessanti spunti di discussione a partire da situazioni quotidiane.

Possiamo supporre che le ragioni per cui gli studenti mantengano errate opinioni anche dopo anni di scuola (spesso anche dopo i corsi universitari) debbano essere ricercate in un'educazione scientifica fuorviante o troppo semplificata veicolata sia dalla Scuola Primaria che dal Primo Grado della Scuola Secondaria, sia da alcune trasmissioni televisive o articoli di giornale a scopo prettamente divulgativo. Il modo in cui viene insegnata l'ottica e altri argomenti della fisica spesso non riesce a produrre una comprensione funzionale dei fenomeni fisici. Inoltre, i libri di testo non di rado usano esempi di vita quotidiana, ma troppo semplici per consentire agli studenti di avere un'idea della complessità della realtà. Pensiamo ci sia la necessità di un lavoro sistematico per valutare i contenuti dei libri di testo e le conoscenze degli insegnanti [83]. Anche da queste ultime considerazioni nasce il secondo percorso, su cui si è sviluppato il lavoro di ricerca che ci ha visto indagare sulla fattibilità di proposte di Didattica Laboratoriale che fossero in sintonia sia con le indicazioni implicitamente espresse nelle risposte degli "esperti" del CLASS sia con le indicazioni che ormai da qualche anno giungono dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca per l'insegnamento della fisica.

Mi sono interessato a due ambiti: l'ottica e la fisica dei fluidi. L'ottica in quanto il gruppo di ricerca universitario in cui mi sono inserito si occupa di ottica quantistica e già aveva maturato una lunga esperienza di didattica e divulgazione

nel campo. L'ottica offre infiniti argomenti per presentazioni e discussioni che si fondano sull'esperienza quotidiana, e possono avvalersi della riproduzione dei fenomeni in laboratorio. I fenomeni legati alla luce sono inoltre dotati di un'elevata dose di spettacolarità e suscitano sorpresa, e questo non guasta per in coinvolgimento degli studenti nelle lezioni. L'olografia in particolare riassume in sé l'intero percorso dell'ottica classica e fornisce un risultato che, come ho potuto osservare nei numerosi interventi realizzati, è sempre sorprendente per tutti.

Il percorso "La fisica sott'acqua", descritto nel Capitolo 4 è fortemente motivante per tutte categorie di studenti e soprattutto per chi segue corsi di studio non orientati alla scienza. La statica dei fluidi può sembrare facile, ma non lo è affatto, come evidenziato da U. Besson nel suo articolo [77], e l'utilizzo di uno sport, la subacquea, per affrontare l'argomento, aiuta la comprensione. Il percorso consiste in un solido background di fisica e fornisce molti spunti per ulteriori analisi. Inoltre, l'esperienza diretta di alcuni effetti fisici, come la pressione e le variazioni della pressione sul proprio corpo possono aiutare a superare misconcetti e idee ingenuie sul comportamento dei fluidi. Il percorso di fisica sott'acqua è molto efficace ma ha alcuni vincoli che vanno tenuti in considerazione. Innanzi tutto è necessario prevedere un periodo di formazione per gli insegnanti se già non sono esperti subacquei. Inoltre, è importante avere un buon affiatamento con gli istruttori subacquei. Infine, sebbene tutte le dimostrazioni durante le lezioni di classe e le attività in piscina vengano svolte con materiale a basso costo, l'accesso alle piscine e la presenza degli istruttori possono richiedere un certo impegno economico. L'insieme di questi vincoli rende impegnativa la realizzazione dell'attività di subacquea nelle scuole.

Volgendo lo sguardo indietro come colui che andando in montagna guarda al cammino fatto, accorgendosi che è molto, per darsi coraggio e forza per raggiungere una vetta che vede ma che ancora è lontana, cosa posso dire? Cosa porto in vetta custodito in uno zaino che al posto di alleggerirsi si riempie ma di tesori da portare a casa?

Certamente una grande esperienza di condivisione della stessa passione per la fisica. Una passione che si manifesta in piccoli e semplici atteggiamenti quotidiani come il non mollare mai ma sospendere, magari per un breve periodo, quasi a far decantare il turbinio di idee che si genera spontaneo in tutti quando qualcuno propone una questione, un fatto da interpretare, da modellizzare e da spiegare. È la stessa condivisione che nei desideri dei docenti di Scuola Secondaria è presente, ma poi suona la campanella dell'ultima ora e tutti a casa.

Certamente porto con me una grande esperienza di “profondità”. Ogni argomento e fenomeno fisico, per quanto apparentemente banale, cela spiegazioni, modelli e interpretazioni più interessanti della semplice e iniziale soluzione. Nella Scuola Secondaria capita, non necessariamente con intenzione dolosa ma anche solo per consuetudine, che si diano spiegazioni affrettate e incomplete, vestite di tutto punto come spiegazioni esaustive ed esatte. Capita anche che gli allievi facciano domande proprio su quell’argomento, su quella spiegazione, su quell’esperimento visto in classe e vengano licenziati con un solenne «... no ma guarda che non hai capito bene...» oppure «... non c’è tempo...» o peggio «...l’attrezzatura non è adeguata...», lasciando così sfuggire un’occasione preziosa per far crescere o fortificare quella sana e innata curiosità che i nostri studenti hanno e che purtroppo la maggior parte di loro ha imparato a far tacere perché tanto «... non mi aiuta a prendere 6...»

Questa tensione a non lasciare nulla in sospeso, nulla di meramente nozionistico si sviluppa in un luogo e ha un prezzo. Il luogo è il laboratorio e il prezzo è il tempo. Laboratorio non solo come luogo fisico a scuola o in università ma soprattutto come luogo mentale. Sperimentare prima con la mente e poi con gli strumenti e viceversa. È la Didattica Laboratoriale che è stata presentata attraverso la proposta di alcune esperienze nella Parte II di questo elaborato. Sono convinto che la Didattica Laboratoriale sia un problema per gli insegnanti non per gli studenti. Richiede formazione e autoformazione continua mediante la partecipazione a workshop, a conferenze, investendo alcuni anni a riprendere gli studi (in realtà mai cessati) con l’esperienza di un dottorato in didattica della propria materia, con la possibilità di aggiornarsi accedendo al materiale accademico pubblicato sulle riviste specializzate.

La Didattica Laboratoriale, come evidenziato nelle pagine precedenti, è nutrita e contemporaneamente nutre la cultura della ricerca e non del semplice insegnamento, magari astratto e scollegato dalla realtà. Ritengo che ogni buon insegnante migliori la sua lezione arricchendola con i frutti della propria ricerca, sia essa teorica o sperimentale. Il percorso descritto sull’arcobaleno, prima di tutto è interessante per gli insegnanti. Quando l’abbiamo proposto, le domande dei docenti sono state inizialmente le stesse che poi ci avrebbero fatto i loro studenti. Così è accaduto anche col percorso sui fluidi e sull’olografia. Per l’insegnante la Didattica Laboratoriale richiede di imparare a gestire l’imprevisto che va dalla domanda dello studente a cui non sa rispondere al risultato sperimentale che non torna. Un insegnamento astratto porta a trasmettere spiegazioni errate per anni, solo perché

sono scritte sui libri (sono esempi famosi l'interpretazione del comportamento del Radiometro di Crookes e la traiettoria dei getti d'acqua dai buchi ad altezze diverse in una bottiglia).

Non ultimo, la Didattica Laboratoriale è un problema per il docente poichè richiede una nuova modalità di valutazione: la valutazione in itinere e non solo finale. Si valuta anche l'operato dello studente mentre "agisce" in laboratorio e quindi anche mentre sbaglia. Si valuta come reagisce all'errore, come si relaziona coi compagni e con il docente sulle questioni direttamente coinvolte nell'attività di laboratorio. Alla fine, la valutazione del suo sapere sarà solo un tassello in più che va ad aggiungersi per comporre il giudizio finale. In questo modo forse sarà possibile restituire alla fisica il suo senso originario di indagine del mondo reale. Al di là poi del valore positivo o meno del "voto", allo studente rimarrà, oltre alla conoscenza degli argomenti, il metodo con cui ha studiato, sperimentato, analizzato e interpretato la realtà fisica e che potrà utilizzare anche nei suoi studi o lavori futuri, anche non pertinenti alla fisica. Ma soprattutto avrà avuto l'occasione per incontrare la fisica "vera", non solo quella delle formulette. La fisica come quella che fanno i fisici e di cui forse si era fatta un'idea chiara ma che non ha mai considerato per se stesso. Da bravo insegnante, sono tornato in classe e ho provato a vivere tutte queste sollecitazioni. In questi quattro anni, da quando ho finito l'attività quotidiana al Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria, ho sperimentato con le mie classi di seconda Liceo Scientifico il percorso sull'arcobaleno e con le classi di quarta il percorso sui fluidi. Ho fatto anche formazione con i miei colleghi sull'olografia e sulle onde proponendo loro attività di laboratorio. Rimanono aperte alcune questioni. Qual è il fine dell'istruzione? Come può avvenire un'istruzione di massa che punti al successo formativo dei singoli? È vero che tutti possono capire? Dove si annidano le difficoltà di comunicazione e quindi di apprendimento? La scuola italiana oggi è in grado, con le sue riforme, di perseguire le linee formative sottointese nella Didattica Laboratoriale? Come convincere e formare i docenti, a qualunque livello, della necessità di un cambiamento nella didattica delle scienze? Chiudo con una suggestione che viene da Howard Gardner «*Vorrei che le persone che hanno ricevuto un'istruzione potessero capire il mondo in modo diverso da come l'avrebbero capito se non l'avessero ricevuta. Quando parlo del mondo mi riferisco al mondo fisico, biologico, sociale, il loro mondo personale e insieme il più vasto mondo sociale e culturale. Ci sono domande a cui ogni essere umano è interessato fin dalla tenera età. Sono domande che i bambini fanno continuamente...*» [84].

Publicazioni

1. F. Favale and M. Bondani, “UNDERWATER LABORATORY: Teaching physics with diving practice” Proceedings of ICPE-EPEC 2013, The International Conference on Physics Education, 690-697, (2014).
2. M. Bondani, A. Allevi, L. Nardo and F. Favale, “The “LuNa” Project: experimental didactic modules to teach optics in Primary and Secondary Schools”, Proceedings of ICPE-EPEC 2013 The International Conference on Physics Education, 309-316, (2014).
3. M. Bondani and F. Favale, “Following the path of light: recovering and manipulating the information about an object” Proceedings of SPIE, 92892G, “12th Education and Training in Optics and Photonics Conference”, (2014).
4. M. Bondani, A. Allevi, L. Nardo and F. Favale, “The “LuNa” Project: experimental didactic modules exploiting portable setups to teach optics in Primary and Secondary Schools”, Proceedings of SPIE, 92892D, “12th Education and Training in Optics and Photonics Conference”, (2014).
5. F. Favale and M. Bondani, “Misconceptions about optics: an effect of misleading explanations?”, Proceedings of SPIE, 92891A, “12th Education and Training in Optics and Photonics Conference”, (2014).
6. F. Favale and M. Bondani, “School outreach program for teaching optics: let’s start with holography”, Proceedings WCPE2012, 1239-1246, (2014).
7. M. Bondani, F. Favale, O. Jedrkiewicz, F. Ferri and P. Di Trapani, ““STELLA - School for Training in Experiments with Lasers and Laser Applications”: a novel approach to high-level education”, Proceedings WCPE2012, 1309-1317, (2014).
8. F. Favale and M. Bondani, “Dismantling rainbow”, Proceedings WCPE2012, 91-99, (2014).

9. F. Favale, “Underwater laboratory: Teaching physics through diving practice”, *IL NUOVO CIMENTO*, 36C, 4, (2013)
10. F. Favale, L. Zecca, E. Nigris, and M. Bondani, ““STELLA 2011 - School for Training in Experiments with Lasers and Laser Applications”: Short-term evaluation by quantitative methods”, *Eur. Phys. J. Special Topics*, 199 (2011) 195–212 (M. Bondani and P. Di Trapani Edt.s).

Bibliografija

- [1] D. Hammer, “Student resources for learning introductory physics”, *Am. J. Phys.* **68**, S52-S59 (2000).
- [2] E. F. Redish, “Teaching Physics with the Physics Suite” (Wiley, 2003).
- [3] E. Etkina, A. Karelina, and M. Ruibal-Villasenor, “How long does it take? A study of student acquisition of scientific abilities”, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **4**, 020108 (2008)
- [4] I. A. Halloun, “Views About Science and Physics Achievement The VASS Story”, in *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education*, College Park, Maryland, (1996)
- [5] E. Redish, J. M. Saul and R. N. Steinberg, “Student expectations in introductory physics”, *Am. J. Phys.* **66**, 212, (1998).
- [6] W. K. Adams, K. K. Perkins, N. S. Podolefsky, M. Dubson, N. D. Finkelstein, and C. E. Wieman, “New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey”, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **2**, 010101 (2006).
- [7] W. K. Adams, K. K. Perkins, M. Dubson, N. D. Finkelstein, and C. E. Wieman, “The Design and Validation of the Colorado Learning Attitudes about Science Survey”, *AIP Conf. Proc.* **790**, 45 (2005).
- [8] K. A. Duoglas, M. S. Yale, D. E. Bennet, M. P. Haugan and L. A. Bryan “Evaluation of Colorado Learning Attitudes”, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **10**, 020128 (2014).
- [9] M. Marušić and J. Sliško “Effects of two different types of physics learning on results of CLASS test”, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **8**, 010107 (2012).

- [10] H. Alhadlaq, F. Alshaya, S. Alabdulkareem, K. K. Perkins, W. K. Adams and C. E. Wieman, “Measuring students’ beliefs about physics in Saudi Arabia”, AIP Conf. Proc. **1179**, 69 (2009).
- [11] http://www.colorado.edu/sei/class/Perkins_PERC_revisedfinal.pdf published in PERC Proceedings 2004.
- [12] http://www.colorado.edu/sei/class/CLASS_phys42_scoring_Aug12master_noSample.xls
- [13] S. P. Bates, R. K. Galloway, C. Loftson, K. A. Slaughter, “How attitudes and beliefs about physics change from high school to faculty Phys”, Rev. ST Phys. Educ. Res. **7**, 020114 (2011).
- [14] K. E. Gray, W. K. Adams, C. E. Wieman, and K. K. Perkins, “Students know what physicists believe, but they don’t agree: A study using the CLASS survey”, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **4**, 020106 (2008).
- [15] F. Favale, L. Zecca, E. Nigris, and M. Bondani, “STELLA 2011 - School for Training in Experiments with Lasers and Laser Applications”: Short-term evaluation by quantitative methods”, Eur. Phys. J. Special Topics (M. Bondani and P. Di Trapani Edt.s) **199**, 195–212 (2011).
- [16] L. Lising, and A. Elby, “The impact of epistemology on learning: A case study from introductory physics”, Am. J. Phys. **73**, 372 (2005).
- [17] M. Bondani, A. Allevi, L. Nardo and F. Favale, “The ”LuNa” Project: experimental didactic modules exploiting portable setups to teach optics in Primary and Secondary Schools”, Proc. SPIE **9289**, 12th Education and Training in Optics and Photonics Conference, 92892D (17 July 2014). Sito del progetto: <http://luna.dfm.uninsubria.it/>
- [18] Sito del progetto: <https://genera-project.com/>
- [19] E. Gire, B. Jones, e E. Price, “Characterizing the epistemological development of physics majors”, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **5**, 010103 (2009).
- [20] A. De Gregorio, “Perché i «nativi digitali» snobbano le scienze?”, Corriere della sera, 4 aprile 2014.

- [21] European Commission, Eurobarometer **55**, 2 – Europeans, Science and Technology. http://europa.eu.int/comm/public_opinion/archives/eb/ebs_154_en.pdf.
- [22] Sito MIUR del Progetto Lauree Scientifiche <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/universita/progetto-lauree-scientifiche>.
- [23] R. Osborne, and P. Freyberg, “Learning in science: The implications of children’s science” (Heinemann Educational, Auckland, NZ, 1985).
- [24] R. Duit, & D. Treagust, “Learning in science - from behaviourism towards social constructivism and beyond”, in B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25), (Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, 1998).
- [25] A. Calvani, “Costruttivismo, progettazione didattica e tecnologie”, in D. Bramanti (a cura di) “Progettazione formativa e valutazione” (Carocci, Roma, 1998).
- [26] R. Driver, & P. Scott, “Curriculum development as research: A constructivist approach to science curriculum development and teaching”, in D. F. Treagust, R. Duit & B. J. Fraser (Eds), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*, (pp.94-108). (Teachers College Press, New York and London, 1996).
- [27] J. D. Bransford, A. L. Brown, and R. R. Cocking, “How people learn: Brain, mind, experience, and school” (National Academy Press, Washington DC, 1999).
- [28] H. Helm, “Misconceptions in physics amongst South African students”, *Physics Education* **15**, 92 (1980).
- [29] D. Sandrone, “La didattica laboratoriale”, *SCUOLA E DIDATTICA* **9**, 49-64 (2004). scaricabile da <http://hdl.handle.net/10446/20466>
- [30] G. Planinsic, “IYPT problems as an efficient source of ideas for first-year project laboratory tasks”, *Eur. J. Phys.* **30**, S133-S140 (2009).
- [31] A. Hofstein, and V. N. Lunetta, “The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century”, *Science Education* **88**, 28-54 (2004).

- [32] <https://www.atoptics.co.uk/>.
- [33] L. Stefanini, “La fisica dei tartufi: riflessioni sull’insegnamento della fisica nella scuola secondaria italiana” (Università degli Studi di Pavia, Biblioteca delle scienze, 2010).
- [34] M. Michelini, S. Vercellati, “Pupils explore magnetic and electromagnetic phenomena in CLOE labs”, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **1**, 10-15 (2012).
- [35] M. Michelini, & A. Stefanel, “Proposte didattiche sulla polarizzazione ottica”, (Università di Udine, Lithostampa, Pasian di Prato, 2014).
- [36] M. Carpineti, M. Cavinato, M. Giliberti, N. Ludwig, L. Perini, “Theatre to motivate the study of physics”, *JCOM* **10**, 1-10 (2011).
- [37] I. D’Acunto, R. Capone, M. Giliberti, S. Barbieri, M. Carpineti “Inquiry Based Teaching: An Experience with THE TEMI E.U. Project”, *EURASIA J. Math., Sci. Tech.* **14**, 275–278 (2018).
- [38] F. Favale and M. Bondani, “Misconceptions about optics: an effect of misleading explanations?”, *Proceedings of SPIE*, 92891A, “12th Education and Training in Optics and Photonics Conference”, (2014).
- [39] I. Galili and A. Hazan “Learners’ knowledge in optics: interpretation, structure and analysis”, *International Journal of Science Education* **22**, *** (2000).
- [40] C-C. Chen, H-S. Lin, and M-L. Lin, “Developing a two-tier diagnostic instrument to assess high school students’ understanding: The formation of images by a plane mirror”, *Proceedings of the National Science Council, R.O.C., Part D* **12**, 106-121 (2002).
- [41] D. Blizak, F. Chafiqi, D. Kendil, “Students Misconceptions about Light in Algeria”, *Proc. SPIE* **9666**, 96661F (2009).
- [42] K. Kaewkhong et al, “Thai high-school students’ misconceptions about and models of light refraction through a planar surface”, *Physics Education* **45**, 97 (2010).
- [43] S. M. Pompea, E. F. Dokter, C. E. Walker, and R. T. Sparks, “Using Misconceptions Research in the Design of Optics Instructional Materials and Teacher Professional Development Programs”, *Proc. SPIE* **9665**, 966515 (2007).

- [44] S. Vosniadou, "On the nature of naïve physics" (Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice Practice, Limon-Masson Eds., Kluwer Academic Publisher., 61-76, 2002).
- [45] J. P. Smith III, A. Disessa, and J. Roschelle, "Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition", *The journal of the learning sciences*, **3.2**, 115-163 (1994).
- [46] S. Gomez-Zwiep, "Elementary Teachers' Understanding of Students' Science Misconceptions: Implications for Practice and Teacher Education", *J. Sci. Teacher Educ.* **19**, 437-454 (2008).
- [47] F. Favale and M. Bondani, "Dismantling rainbow", *Proceedings WCPE2012*, 91-99, (2014).
- [48] Y. Sakurada, and T. Nakamura, "Demonstration of the light scattering phenomenon in the atmosphere", in "Seventh International Conference on Education and Training in Optics and Photonics", *Proc. SPIE* **4588**, 490-498 (2002).
- [49] H. Isik, and K. Yurumezoglu, "Two Simple Activities to Bring Rainbows into the Classroom", *Physics Teacher* **50**, 38-39 (2012).
- [50] A. W. Hendry, "A Triple Rainbow?", *Physics Teacher* **41**, 460-463 (2003).
- [51] R. D. Russell, "A rainbow for the classroom", *Physics Teacher* **27**, 262-263 (1989).
- [52] Premio Bonacini 2007, "http://www.aif.it/ATTIVITA/Bonacini_06-07_SSS_1premio.pdf".
- [53] Tracker, Video Analysis and Modeling Tool, <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/WolframResearch>.
- [54] Mathematica, Wolfram Research, <http://demonstrations.wolfram.com/UnweavingTheRainbow/>.
- [55] Geogebra, Free mathematics software for learning and teaching, <http://www.geogebra.org/cms/en>.
- [56] D. Gabor, and G. W. Stokes, "Holography and Its Applications", *Endeavour* **28**, 40-47 (1969).

- [57] F. Favale and M. Bondani, "School outreach program for teaching optics: let's start with holography", Proceedings WCPE2012, 1239-1246, (2014).
- [58] T. Voslion, and A. Escarguel "An easy teaching tool for holography", Eur. J. Phys. **33**, 1803–1811, (2012).
- [59] C. Chiaverina, "Litiholo holography: Apparatus Review", Physics Teacher **48**, 551 (2010).
- [60] P. Pombo, and J. Pinto, "Holography: A Project-type Approach for Contextualized Teaching of Optics" "Developing Formal Thinking in Physics", First International Girep seminar 2001, selected contributions (Eds. M. Michellini and M. Cobal, FORUM 2001). No. 3/4, Holography as an Art Medium: Special Double Issue, 405-409 (1989).
- [61] N. H. Abramson, "Teaching Holography: Holography as a Teaching Tool", "Education in Optics", Proc. SPIE **1603**, 190-201 (1991).
- [62] T. R. Coughlin, "Holography and Its Application in the Physics Classroom", <http://physicsed.buffalostate.edu/pubs/PHY690/Coughlin2010ScrHolos/Holography%20in%20the%20Classroom.doc>
- [63] V. V. Dyomin, I. I. Polovtsev, and A. S. Olshukov, "Holography as a tool for advanced learning of optics and photonics", Proceedings ETOP (2009), session 4 (EMA).
- [64] U. J. Hansen, and J. A. Swez, "Holography in the high school laboratory", Proc. SPIE **2525**, (1995).
- [65] T. H. Jeong, "Making Holograms in Middle and High Schools", "Sixth International Conference on Education and Training in Optics and Photonics", Proc. SPIE **3831**, 223-228 (2000).
- [66] P. V. John, "Advanced Holography in High School", "Holography 2000", Proc. SPIE **4149**, 296-302 (2000).
- [67] A. Jurewicz, "Holography: Opening New Dimensions for Learning", Leonardo **22**, Number 3-4, (1989).
- [68] R. E. Latham, "Holography in the science classroom", Physics Teacher **24**, 395 (1986).

- [69] W. Olson, “Real and Virtual Images Using a Hologram”, *Physics Teacher* **30**, 202-208 (1992).
- [70] F. H. Wirth, “Holography and Introductory Science at Hampshire College”, *Physics Teacher* **29**, 138 (1991).
- [71] F. Favale, “Underwater laboratory: Teaching physics through diving practice”, *IL NUOVO CIMENTO*, 36C, 4, (2013)
- [72] V. Aguilera, M. Aguilera-Arzo, “The physics of breath-hold diving”, *Physics Education* **31**, 34 (1996).
- [73] P. A. Tipler, in “Physics for Scientists and Engineers”, third edition (World Publishers, New York), **chapt. 11**, (1991)
H. C. Ohanian, in “Physics”, second edition (Norton, New York), **chapt. 18**, (1989)
D. Halliday, J. Walker and R. Resnick, in “Fundamentals of Physics”, fourth edition (Wiley, New York) **chapt. 16** (1993).
H. D. Young, in “University Physics”, 8th edition (Wesley, Reading, MA) **chapt. 14**, (1992).
R. S. Mackay, “To Determine the Greatest Depth in Water at which One Can Breathe through a Tube”, *American Journal of Physics*, **16**, 186 (1948).
- [74] S. M. Kresta, “Hands-on Demonstrations: An Alternative to Full Scale Lab Experiments”, *J. Engin. Educ.* **87**, 7 (1998).
- [75] “Piano ISS Insegnare Scienze Sperimentali Ricerca-azione per la realizzazione di laboratori e la formazione continua degli insegnanti”, Documento di Base 2006. http://www.anisn.it/matita_allegati/pdf/Piano_ISS.pdf
- [76] C. Crouch, A. P. Fagen, J. P. Callan and E. Mazur, “Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment?”, *Am. J. Phys.* **72**, 835 (2004).
- [77] U. Besson, “Students’ conceptions of fluids”, *Int. J. Sci. Educ.*, **26**, 1683-1714 (2004).
- [78] U. Besson, L. Viennot, “Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics”, *Int. J. Sci. Educ.*, **26**, 1083 (2004).

- [79] A. A. Bartlett, “Physics in the News: The Deepwater Horizon Disaster”, *Physics Teacher*, **49**, 97 (2011).
- [80] T. Moore and A. Harrison, “ Floating and sinking: everyday science in middle school”, in *Doing the Public Good; Positioning education research*, Melbourne, <http://www.aare.edu.au/04pap/moo04323.pdf> .
- [81] D. Wong, C. C. Lim, S. K. Munirah and S. K. Foong, “Student and Teacher Understanding of Buoyancy”, www.per-central.org.
- [82] M. Quiroga, S. Martinez and S. Otranto, “A Measurement of g Using Alexander’s Diving Bell”, *Physics Teacher* **48**, 386 (2010).
- [83] P. Mulhall & R. Gunstone, “Views about Physics held by Physics Teachers with Differing Approaches to Teaching Physics”, *Res. Sci. Educ.* **38**, 435–462 (2008).
- [84] H. Gardner, “Verità, bellezza, bontà. Educare alle virtù nel ventunesimo secolo” Feltrinelli isbn: 9788807104748 (2011)