

Esperienze di didattica della Fisica in diversi livelli del sistema educativo

Susanna Bertelli
Mirco Andreotti
Paolo Lenisa
Federico Spizzo

Abstract – *The growing interest of people in science events, the projects supported by the Italian Ministry of Education, University and Research to foster STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) teaching in different levels of the education system and the introduction of modern Physics into some Italian High Schools, has contributed in many cases to strengthen the bond between schools, universities and research centers. This bond has been carried out in specific activities which required innovative and effective communication and education methodologies. This paper presents the activities devoted to the dissemination and teaching of Physics organized in the last three years, starting from the academic year 2015/2016, by the University of Ferrara and the National Institute for Nuclear Physics. Some study cases differentiated by contents, recipients and teaching strategies will be analyzed. Particular attention will be given to the activities dedicated to the teaching of modern and contemporary Physics that involved High School students (http://www.fe.infn.it/orientamento_fisica/courses/laboratori-di-fisica-moderna/), the science hands-on laboratories performed with pupils attending the Primary Schools and a museum-based education experience included in a History of Physics exhibition devoted to art and science (www.fe.infn.it/fisicaemetafisica). The former is a case of out-of-school learning in which High School students work together with researchers to conduct a modern Physics experiment, and once back in school they make a report for their peers about what they have done and learnt in the laboratory. In the latter case, the Primary School pupils carry out guided experiments to become familiar with the scientific method investigating phenomena of Physics in everyday life. In the last case, some modern discoveries of Physics are introduced by the relation between artworks and scientific instruments connected to the History of Ferrara.*

Riassunto – *La crescente partecipazione delle persone a eventi di divulgazione scientifica, i progetti sostenuti dal MIUR (<http://www.progettolaureescientifiche.eu>; <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/ricerca/diffusione>) per promuovere l'insegnamento delle materie STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) nei diversi livelli del sistema educativo e l'introduzione di argomenti di fisica moderna e contemporanea nelle programmazioni di alcuni Licei (http://www.indire.it/lucabas/lkmw_file/licei2010//indicazioni_nuovo_impaginato/_Liceo%20scientifico%20opzione%20Scienze%20Applicate.pdf) hanno contribuito, in molti casi, a rafforzare il legame tra scuola, Università e centri di ricerca. Questo legame si è concretizzato nell'istituzione di attività dedicate in cui è stato necessario impiegare metodologie comunicative e didattiche sempre più efficaci. L'articolo presenta lo spettro delle attività realizzate negli ultimi tre anni, a partire dall'anno accademico 2015/2016, dall'Università di Ferrara e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare per la comunicazione e la didattica della fisica. Verranno analizzati alcuni casi studio che si differenziano per contenuti, destinatari, contesti e strategie didattiche. In particolare verranno prese in esame le attività dedicate all'insegnamento della fisica moderna e contemporanea condotte con gli allievi delle scuole secondarie di II grado (http://www.fe.infn.it/orientamento_fisica/courses/laboratori-di-fisica-moderna/), i laboratori scientifici hands-on realizzati con gli allievi delle scuole primarie e un'esperienza di didattica museale inserita in una mostra di storia della fisica dedicata al binomio arte-scienza (www.fe.infn.it/fisicaemetafisica). Il primo è un caso di out-of-school learning in cui gli allievi delle scuole secondarie di II grado lavorano in gruppo a fianco dei ricercatori, per realizzare un esperimento di fisica moderna, e una volta tornati in classe devono relazionare ai pari quanto svolto e appreso durante l'attività laboratoriale. Nel secondo caso, gli allievi*

delle scuole primarie sono chiamati a condurre esperimenti guidati per acquisire familiarità con il metodo scientifico, investigando alcuni fenomeni fisici presenti nel quotidiano. Nell'ultimo caso, alcune scoperte della fisica moderna vengono introdotte dalla corrispondenza tra opere d'arte e strumenti scientifici e collegate alla storia di Ferrara.

Keywords – out-of-school learning, cooperative learning, learning-by-doing, learning-by-teaching, museum education

Parole chiave – apprendimento extrascolastico, apprendimento cooperativo, learning-by-doing, learning-by-teaching, didattica museale

Susanna Bertelli, Dottore di Ricerca in Fisica, ha conseguito un Master in “Comunicazione delle Scienze”, è Assegnista di ricerca in Fisica presso l'Università degli Studi di Ferrara e i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN e docente del corso di *Didattica della Fisica*. Si occupa di progetti di educazione scientifica e di orientamento per divulgare e insegnare la fisica nelle scuole e in programmi di educazione continua. È ideatrice e responsabile del progetto Fisici Senza Frontiere, cura la Collezione Instrumentaria delle Scienze Fisiche del Sistema Museale d'Ateneo di Ferrara, fa parte della redazione del sito di divulgazione scientifica ScienzaPerTutti INFN, progetta e organizza mostre ed eventi scientifici. Ha vinto il bando Giovani Ricercatori dell'Università di Ferrara grazie al quale ha trascorso un periodo al CERN per studiarne le attività di outreach. È autrice di pubblicazioni di fisica delle particelle e storia della Fisica.

Mirco Andreotti è Tecnologo di Ricerca presso la Sezione di Ferrara dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e collabora con le attività di ricerca e didattiche del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara. Ha tenuto corsi di Fisica, Matematica, Informatica, Laboratori di Fisica ed Elettronica per diversi corsi di Laurea, attualmente è docente del Laboratorio di Elettronica Digitale per il corso di laurea in Fisica. La sua attività principale riguarda la progettazione, personalizzazione e applicazione della moderna tecnologia elettronica e informatica applicata ai laboratori di ricerca e ai laboratori didattici. In particolare collabora ad attività di ricerca dei gruppi di Fisica delle Particelle e di Fisica Medica. Ha inoltre collaborato ad attività di ricerca nei campi dell'architettura, della medicina e dell'ambiente per lo studio di tecniche di misura e analisi dati. È autore di numerose pubblicazioni su riviste internazionali ed è stato relatore di numerose tesi di laurea in Informatica, Scienze Naturali e Fisica.

Paolo Lenisa ha conseguito il Dottorato in Fisica presso l'Università degli Studi di Ferrara dove è Professore Ordinario in Fisica Nucleare e Subnucleare e docente di *Fisica Generale* e *Storia della Fisica*. Si occupa di fisica delle particelle elementari con particolare riguardo allo studio dello spin del protone ed alle simmetrie fondamentali della Natura. In tale ambito, è stato proponente e responsabile di vari esperimenti in diversi laboratori internazionali. Attualmente è Co-spokesperson della collaborazione JEDI (Juelich Electric Dipole moment Investigations) che si occupa del momento di dipolo elettrico del protone, una ricerca legata al mistero della dominanza della materia sull'antimateria nell'Universo. È autore di oltre 200 pubblicazioni su rivista scientifica e relatore di dieci tesi di dottorato in Fisica.

Federico Spizzo è Ricercatore di Fisica Sperimentale presso il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara, ove tiene i corsi di *Fisica dello Stato Solido* per il Corso di Laurea Magistrale in Fisica e di *Fisica*, per il Corso di Laurea in Scienze Biologiche. I suoi principali interessi di ricerca riguardano lo studio dei materiali magnetici di tipo nanostrutturato. In quest'ambito, si occupa sia delle proprietà di sistemi magnetici biocompatibili che dello studio di materiali magnetici per memorizzazione dati e sensoristica. È autore di numerose pubblicazioni su riviste internazionali, ed è stato relatore di oltre trenta tesi di laurea. Attualmente cura i “Venerdì dell'Universo”, rassegna di incontri dedicati alla divulgazione scientifica organizzata dal suo Dipartimento e dalla locale sezione dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

1. La diffusione della cultura scientifica

Nell'ultimo decennio in Italia sono aumentate le attività per la promozione della cultura scientifica che si sono concretizzate in proposte e modelli innovativi sia nell'ambito dell'insegnamento che della divulgazione. Grazie a queste risorse, anche la didattica e la comunicazione della Fisica stanno vivendo uno sviluppo molto intenso. Basti pensare ai bandi attivati dal MIUR per la diffusione della cultura scientifica [Bando MIUR diffusione], al bando proposto dal Dipartimento per le pari opportunità per il finanziamento di percorsi di approfondimento in materie scientifiche con l'intento di superare stereotipi e pregiudizi che alimentano il gap di conoscenze tra le studentesse e gli studenti rispetto alle materie STEM [Bando Pari opportunità] e al Progetto Lauree Scientifiche [PLS]. Tra gli obiettivi principali di quest'ultimo progetto si ha quello di migliorare la conoscenza e la percezione delle discipline scientifiche nella Scuola secondaria di secondo grado, offrendo agli studenti degli ultimi tre anni di partecipare ad attività di laboratorio, curriculari ed extra curriculari stimolanti e coinvolgenti.

In ultimo, l'introduzione della Fisica moderna nelle programmazioni dei Licei Scientifici, in base alle Indicazioni Nazionali del MIUR, ha aperto un dialogo stimolante e costruttivo tra Scuole e Università che si interrogano in merito alle strategie, ai supporti e ai materiali didattici da adottare (Michellini, 2010).

In questo contributo verranno presentate le numerose iniziative messe a punto e realizzate a partire dall'anno accademico 2015/2016 dal Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Ferrara in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), in merito alla disseminazione delle scienze fisiche con particolare attenzione alle ricadute didattiche. Tutte queste attività di trasferimento di conoscenze fanno parte della Terza Missione dell'Università e degli enti di ricerca [Anvur].

2. Out-of-school learning: laboratori di Fisica moderna all'Università

Il primo caso studio presentato è incluso nel programma delle attività di orientamento rivolte alle Scuole secondarie di II grado organizzate dal Corso di Laurea in Fisica a Ferrara. In questi primi anni in cui è stato attivato questo percorso sono state definite e messe a punto le attività sperimentali da inserire nell'offerta didattica e adattate nei contenuti ai destinatari. Nelle prossime edizioni verrà condotta una ricerca didattica su alcune delle attività proposte con valutazione delle stesse.

Con Fisica moderna si indica quella parte del sapere scientifico nata in seguito alle teorie rivoluzionarie della meccanica quantistica e della relatività aprendo la strada allo sviluppo della fisica nucleare e subnucleare, della fisica della materia, l'astrofisica e la cosmologia.

Riguardo la programmazione di Fisica per l'ultimo anno dei Licei Scientifici, le Indicazioni Nazionali [Indicazioni Nazionali Licei Scientifici] riportano:

Il percorso didattico comprenderà le conoscenze sviluppate nel XX secolo relative al microcosmo e al macrocosmo, accostando le problematiche che storicamente hanno portato ai nuovi concetti di spazio e tempo, massa ed energia. L'insegnante dovrà prestare attenzione a

utilizzare un formalismo matematico accessibile agli studenti, ponendo sempre in evidenza i concetti fondanti.

Lo studio della teoria della relatività ristretta di Einstein porterà lo studente a confrontarsi con la simultaneità degli eventi, la dilatazione dei tempi e la contrazione delle lunghezze; l'aver affrontato l'equivalenza massa-energia gli permetterà di sviluppare un'interpretazione energetica dei fenomeni nucleari (radioattività, fissione, fusione).

L'affermarsi del modello del quanto di luce potrà essere introdotto attraverso lo studio della radiazione termica e dell'ipotesi di Planck (affrontati anche solo in modo qualitativo), e sarà sviluppato da un lato con lo studio dell'effetto fotoelettrico e della sua interpretazione da parte di Einstein, e dall'altro lato con la discussione delle teorie e dei risultati sperimentali che evidenziano la presenza di livelli energetici discreti nell'atomo. L'evidenza sperimentale della natura ondulatoria della materia, postulata da De Broglie, ed il principio di indeterminazione potrebbero concludere il percorso in modo significativo.

La dimensione sperimentale potrà essere ulteriormente approfondita con attività da svolgersi non solo nel laboratorio didattico della scuola, ma anche presso laboratori di Università ed enti di ricerca, aderendo anche a progetti di orientamento.

In quest'ambito, lo studente potrà approfondire tematiche di suo interesse, accostandosi alle scoperte più recenti della fisica (per esempio nel campo dell'astrofisica e della cosmologia, o nel campo della fisica delle particelle) o approfondendo i rapporti tra scienza e tecnologia (per esempio la tematica dell'energia nucleare, per acquisire i termini scientifici utili ad accostarsi criticamente il dibattito attuale, o dei semiconduttori, per comprendere le tecnologie più attuali anche in relazione a ricadute sul problema delle risorse energetiche, o delle micro- e nanotecnologie per lo sviluppo di nuovi materiali).

Come si evince dalle Indicazioni ci sono due aspetti fondamentali da tener presente nell'insegnamento della Fisica moderna: il formalismo matematico e la parte sperimentale. Gli allievi del quinto anno non possiedono tutti gli strumenti matematici per poter studiare e descrivere le leggi della fisica moderna e questo aspetto deve essere curato dal docente che deve adattare le spiegazioni al livello delle conoscenze degli allievi; l'aspetto matematico può essere integrato con un approccio storico-epistemologico. In questo approccio si mette in evidenza lo sviluppo del pensiero scientifico e dei concetti seguendo le tappe e le scoperte che fungono da pietra miliare per queste teorie. Per ciò che riguarda la parte sperimentale, non tutti i Licei hanno a disposizione attrezzature ed esperimenti dedicati alla parte di Fisica moderna.

In forza di quanto riportato dal MIUR, il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara e l'INFN hanno istituito un'attività presso la propria sede "I laboratori di fisica moderna" dove poter approfondire l'aspetto sperimentale dei concetti di fisica moderna affrontati dagli allievi in classe.

Uno degli scopi di questa attività è avvicinare gli allievi al mondo della ricerca e in questa esperienza rivestono il ruolo di un ricercatore che lavora con i colleghi, esegue esperimenti, analizza e discute i risultati.

Vengono proposte dodici attività, ognuna delle quali è dedicata a uno dei temi presenti nelle Indicazioni. Alcune di queste attività sono state messe a punto ad hoc, altre sono state ot-

tenute progettando delle trasposizioni didattiche delle attività di ricerca che sono realizzate in Dipartimento, adattando contenuti ed esperimenti per renderli fruibili a studenti del quinto anno. Gli allievi vengono suddivisi in gruppi e, una volta fornite loro le istruzioni, conducono in prima persona l'esperimento. L'approccio utilizzato è il *learning-by-doing* in quanto lo studente è parte attiva nell'esecuzione dell'esperienza e deve confrontarsi con gli altri componenti del gruppo sviluppando competenze nel *team working*. Spesso i gruppi di lavoro sono costituiti da studenti provenienti da diversi Istituti e quindi si cerca di privilegiare la strategia didattica del *cooperative learning* (Montalbano, 2013) in cui si trovano a confrontare e condividere le loro conoscenze e le loro abilità con il comune obiettivo di completare l'esperimento. Gli allievi sono chiamati a osservare fenomeni e interpretarli, ad analizzare i dati raccolti, discutere i risultati ottenuti e dove possibile confrontarli con i modelli teorici. In questa attività vengono introdotti all'ambiente di ricerca dell'Università, imparano ad utilizzare attrezzature da laboratorio ad alto contenuto tecnologico, software e programmi di analisi dati e lavorano a fianco dei ricercatori. Una volta tornati in classe, viene adottata la strategia del *learning-by-teaching* in quanto gli studenti devono relazionare ai pari l'esperimento condotto in tutte le fasi: teoria, descrizione dell'apparato sperimentale, esecuzione e discussione dei risultati ottenuti. In questa attività gli allievi sono chiamati a ripensare e rielaborare quanto appreso e produrre una sintesi per i colleghi.

Verranno di seguito introdotte le esperienze proposte agli allievi per presentare le diverse aree coinvolte e mettere in evidenza le conoscenze e le competenze che vengono sviluppate dai partecipanti [Laboratori Fisica Moderna]. Gli allievi scelgono di partecipare ad una di queste attività. Il laboratorio è strutturato in una parte di teoria e una parte pratica e si svolge nell'arco di un pomeriggio, tipicamente nel mese di febbraio. I gruppi di lavoro sono costituiti da 3 studenti.

Le prime quattro attività sperimentali sono dedicate allo studio della teoria di Planck, all'effetto fotoelettrico e al principio di indeterminazione di Heisenberg. Le restanti attività riguardano argomenti di fisica contemporanea citati nelle Indicazioni come astrofisica, cosmologia, radioattività e nanotecnologie. Per alcune di queste attività vengono fornite delle schede per la raccolta dei dati ma non è prevista una valutazione. Nell'articolo verranno presentate in dettaglio le esperienze dedicate al principio di indeterminazione di Heisenberg, la misura della costante di Planck usando i led e magnetismo e nanostrutture; nei primi due casi le esperienze possono essere replicate nelle scuole (presupponendo che il materiale sia facilmente reperibile).

Verifica del Principio di Indeterminazione di Heisenberg

L'esperienza è finalizzata alla verifica del principio di indeterminazione di Heisenberg, uno dei concetti cardine della meccanica quantistica nominato nelle Indicazioni.

Nel laboratorio di ottica, tramite l'utilizzo di un laser e di una fenditura regolabile, gli allievi sono chiamati a interpretare le figure di diffrazione in termini del dualismo onda-corpuscolo della radiazione elettromagnetica. Per la verifica del principio di indeterminazione l'esperienza si propone di misurare le incertezze sulla posizione e sulla velocità trasversali del fascio laser.

Gli studenti sono guidati dai ricercatori nelle operazioni di calibrazione degli strumenti, nell'esecuzione delle misure e nell'elaborazione dati.

Introduzione fenomenologica

Agli studenti viene presentata una introduzione fenomenologica del mondo microscopico. Viene trattato il dualismo onda-corpuscolo sottolineando che il termine particelle non si riferisce a "palline" macroscopiche rimpicciolite e soprattutto evidenziando come la diffusa affermazione divulgativa "le particelle si comportano a volte come onde a volte come particelle" è sbagliata. In particolare si parla di radiazione elettromagnetica (luce), ben nota per poter essere studiata con un formalismo ondulatorio, per la quale si mostrano evidenze sperimentali della natura corpuscolare analizzando ingrandimenti di radiografie ed esperimenti di singoli fotoni. In parallelo vengono presentati esperimenti di diffrazione di elettroni per trattare la natura ondulatoria delle particelle. Si introduce quindi il concetto di funzione d'onda associata allo stato di una particella e alla corrispondente probabilità per collegarsi alla figura di diffrazione interpretata come distribuzione di probabilità. Ne segue una introduzione alle misure statistiche in meccanica quantistica effettuate su grandi campioni di particelle. Dopo queste premesse si introduce "il principio di indeterminazione" nella sua formulazione generale e ci si concentra sulla nota relazione di indeterminazione posizione-impulso, che per semplicità viene cambiata in posizione-velocità. Viene infine descritto l'apparato sperimentale e la fenomenologia dell'esperienza che gli studenti conducono in laboratorio per verificare la relazione di indeterminazione $\Delta x \Delta v_x = \text{costante}$, come descritto di seguito.

Apparato sperimentale

L'esperienza viene eseguita utilizzando un laser, una fenditura regolabile e un semplice schermo sul quale viene visualizzata l'immagine di diffrazione del laser che attraversa la fenditura.

Fenomenologia dell'esperienza

Il laser viene interpretato come un fascio di dimensioni trasversali finite (1-2 mm di diametro) di fotoni che viaggiano tutti paralleli alla velocità della luce nella direzione y secondo il sistema di riferimento indicato in figura (Figura 1).

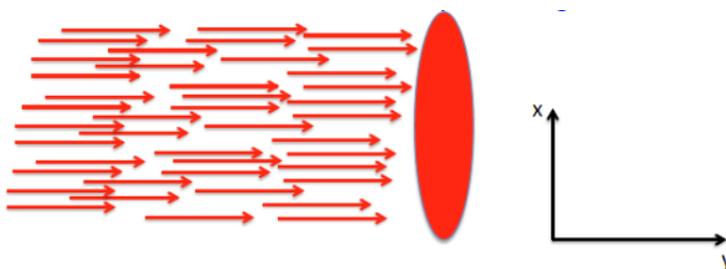


Figura 1 – Fascio di fotoni e il sistema di riferimento

Si considera il sistema solo nelle due dimensioni x-y.

L'interposizione tra il fascio e lo schermo di una fenditura di larghezza d con il centro nella posizione x_0 (vedi Figura 2) viene interpretata come una misura selettiva della posizione x dei fotoni del fascio laser che consente di affermare che una certa frazione di fotoni ha posizione $x = x_0 \pm d/2$, quindi la larghezza d può essere interpretata come l'intervallo di incertezza e per semplicità lo associamo a Δx .

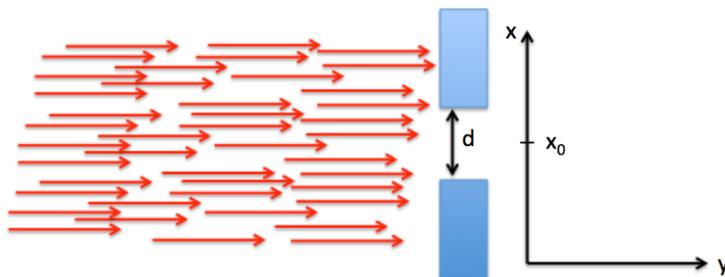


Figura 2 – Il fascio laser e la fenditura di apertura d

Sullo schermo appare evidente che il fascio dopo aver attraversato la fenditura si propaga nella direzione x in modo simmetrico attorno a x_0 . Ci si concentra solo sul picco centrale della figura di diffrazione (Figura 3) e si interpreta questo in termini di componenti della velocità dei fotoni. Prima della fenditura tutti i fotoni avevano componente della velocità lungo x nulla, mentre dopo la fenditura compare una componente non nulla lungo x . Analizzando in dettaglio la simmetria dell'immagine di diffrazione si può concludere che in egual misura i fotoni acquistano una componente $+\Delta v_x$ e $-\Delta v_x$, (si sottolinea che il valore assoluto rimane comunque sempre la velocità della luce).

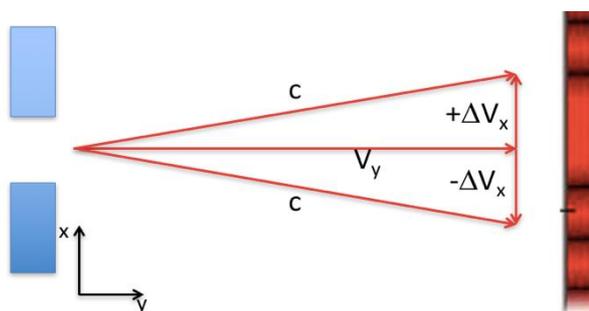


Figura 3 – La fenditura e a destra la figura di diffrazione

Questo può essere interpretato come una misura statistica della componente x della velocità e la misura può essere espressa con l'intervallo di incertezza $v_x = 0 \pm \Delta v_x$. In sintesi la larghezza della fenditura è interpretata come l'incertezza sulla misura della posizione dei fotoni nella direzione x e la larghezza (a meno di fattori moltiplicativi) del picco centrale della figura di diffrazione è interpretato come l'incertezza sulla misura della componente x della velocità dei fotoni dopo la fenditura. Ripetendo le misure per diverse larghezze della fenditura è possibile verificare in seguito se la relazione $\Delta x \Delta v_x$ è costante.

Attività degli studenti in laboratorio

Gli studenti, suddivisi in gruppi di 4-5 persone, eseguono l'esperienza variando l'apertura della fenditura e annotando sullo schermo di carta la larghezza del picco centrale di diffrazione, prestando attenzione alla corrispondenza con l'apertura della fenditura. Terminata la raccolta dei dati procedono a misurare (senza essere disturbati dal laser) le larghezze dei picchi di diffrazione precedentemente segnati sullo schermo.

Gli studenti procedono all'elaborazione dei dati calcolando per ogni misura il prodotto $\Delta x \Delta v_x$ e il corrispondente errore con le regole di propagazione dell'errore, infine ripotano tutte le misure su un grafico per poterle confrontare fra di loro e valutare semi-quantitativamente se il prodotto si può ritenere costante entro gli errori strumentali.

Valutazione dell'attività svolta

Al fine di valutare la partecipazione e la comprensione degli studenti all'attiva proposta si sottopone loro una scheda da compilare, la quale si compone delle seguenti sezioni: breve descrizione dello scopo dell'esperienza, materiale utilizzato, tabella di raccolta e analisi dati, rappresentazione grafica dei risultati su carta millimetrata e conclusioni/commenti.

Misura della costante di Planck usando Diodi Emittitori di Luce (LED)

La costante di Planck costituisce una costante fondamentale che interviene nello studio dei fenomeni quantistici.

Dopo una introduzione alla fisica moderna e alla tecnologia relativa ai diodi emittitori di luce LED, gli allievi assemblano l'apparato sperimentale (Figura 4). I led vengono posizionati sulla basetta assieme alle resistenze. Utilizzando un generatore di tensione e due multimetri (uno funge da amperometro, l'altro da voltmetro) gli allievi variano la tensione e misurano la corrente; i dati raccolti vengono utilizzati per rappresentare graficamente per ogni led (blu, rosso, arancio, giallo) la curva caratteristica, corrente in funzione della tensione. Per ognuna di queste curve gli allievi eseguono un fit lineare per ricavare il valore della tensione di soglia, V_{th} (quando la corrente si annulla). Il valore della tensione di soglia viene inserito nell'equazione $eV_{th}=hc/\lambda$ dove e è la carica dell'elettrone, h è la costante di Planck e λ è il valore della lunghezza d'onda del led. Da questa equazione si ricava h per i diversi LED (Planinšič,

Etkina, 2014). Durante l'analisi si confronteranno i dati raccolti con le curve caratteristiche fornite dai produttori, prestando attenzione alla trattazione consistente degli errori sperimentali.

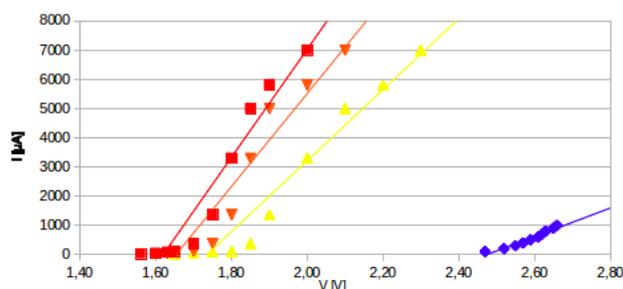


Figura 4 – Apparato sperimentale per misura della costante di Planck con i LED, a destra la curva caratteristica dei LED, corrente (μA) e tensione (V).

Effetto fotoelettrico e misura della costante di Planck

In questa esperienza viene presentato l'effetto fotoelettrico e i problemi che lo studio di questo fenomeno mette in evidenza in ambito classico. Gli studenti, utilizzando un apparato didattico dedicato a questa esperienza, eseguono la misura della corrente emessa da un metallo quando, sotto vuoto, viene colpito da radiazione elettromagnetica e misurano l'energia degli elettroni emessi. Tale misura si effettua utilizzando sorgenti di diversa frequenza, utilizzando diversi filtri, e per ognuno di questi gli allievi creano la curva corrente in funzione del potenziale e si determina il potenziale di frenamento con un fit dei dati. Lo studio della dipendenza dell'energia degli elettroni emessi dalla frequenza consente agli studenti di stimare il valore della costante di Planck.

L'effetto fotovoltaico nei semiconduttori

Questo laboratorio è dedicato allo studio della fisica dei materiali e del funzionamento dei sistemi fotovoltaici.

La parte di teoria è dedicata alla presentazione dei livelli energetici degli elettroni all'interno dei solidi cristallini e in particolare dei semiconduttori; viene descritta l'interazione tra la luce e

il materiale di tipo semiconduttore, che è alla base del principio di funzionamento delle celle fotovoltaiche. Gli studenti svolgono un'esperienza finalizzata all'osservazione dell'effetto fotovoltaico in diversi materiali semiconduttori per osservare come la differente struttura microscopica dei livelli elettronici di ciascun semiconduttore influenzi la risposta macroscopica della cella. Nella prima parte dell'esperienza si utilizzano diverse celle fotovoltaiche (Figura 5) prodotte con vari tipi di semiconduttore (Si, GaAs, InGaP, tripla giunzione), una lampada alogena alimentata in corrente continua e un'unità di alimentazione e misura per costruire la curva caratteristica (corrente in funzione della tensione) di ogni cella al buio e a diverse intensità luminose.

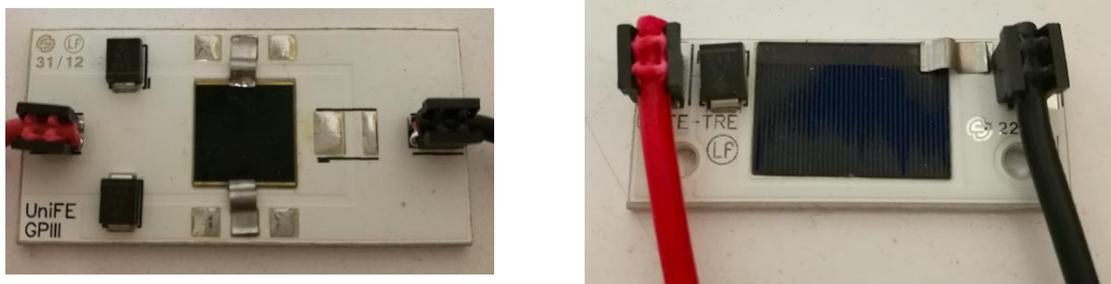


Figura 5 – Le celle fotovoltaiche utilizzate per l'attività sperimentale

Nella seconda parte, utilizzando le celle, un monocromatore e un radiometro, gli studenti effettuano una misura della risposta spettrale di una cella, ovvero quanta corrente viene prodotta dalla cella in funzione della potenza incidente ad ogni lunghezza d'onda, ricavando l'efficienza quantica esterna (numero di elettroni estratti dalla cella per ogni fotone incidente).

In questo laboratorio gli allievi imparano a caratterizzare una cella fotovoltaica e a confrontare le prestazioni di questi dispositivi.

La determinazione della curva caratteristica di una cella è un'esperienza che si può svolgere nel contesto classe utilizzando una cella, due multimetri, una lampada alogena o a incandescenza alimentata in corrente continua e un generatore di tensione regolabile con la precisione dell'ordine di 10 mV.

Focalizzazione dei raggi X, una lente per lo spazio

In questa attività gli allievi imparano a caratterizzare uno strumento per osservazione astronomiche. L'attività proposta fa parte del programma di ricerca del laboratorio LARIX (LARge Italian X-ray facility) per la realizzazione di uno strumento focalizzante, una lente, per concentrare la radiazione X proveniente da alcune stelle (per esempio stelle di neutroni) e investigare le loro caratteristiche. Questa lente è costituita da tessere di materiale cristallino di elementi come Silicio, Germanio, Gallio. Questi elementi vengono investiti da radiazione X producendo il fenomeno della diffrazione e, quando opportunamente orientati, danno luogo ad un effetto cumulativo che risulta in una grande quantità di raggi X concentrati nel cosiddetto fuoco della lente.

In questa attività gli allievi studiano l'applicazione della diffrazione nel caso dei raggi X.

Nella parte di teoria vengono introdotti i principali temi di ricerca dell'astrofisica e vengono ripresi i concetti di ottica geometrica, ottica fisica e le caratteristiche delle onde elettromagnetiche. L'esperienza viene condotta nel laboratorio LARIX e l'apparato sperimentale (Figura 6) è costituito da un tubo a raggi X (che simula una stella), un collimatore, la lente costituita dalle tessere e due rivelatori, uno per determinare la posizione e uno per determinare l'energia.

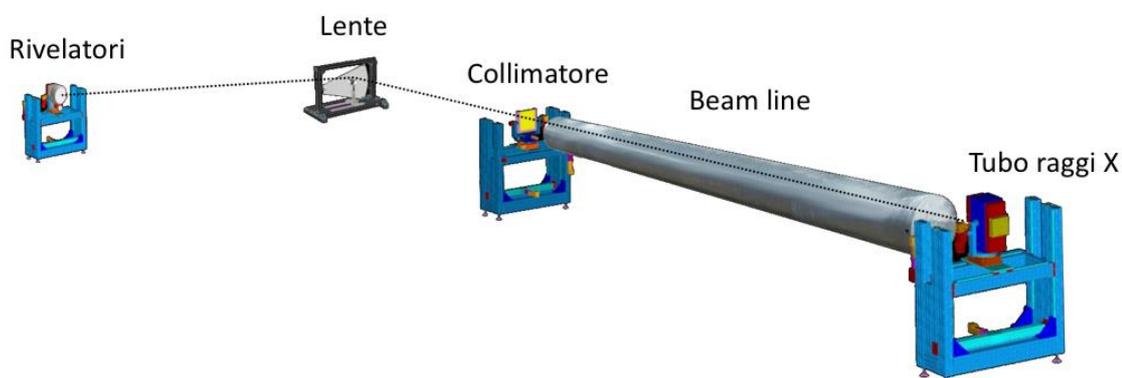


Figura 6 – Schema dell'apparato sperimentale (Immagine E. Virgilli)

Nella prima parte gli studenti valutano il potere penetrante dei raggi X attraverso radiografie di oggetti comuni. Nella seconda parte gli allievi misurano l'energia dei raggi X diffratti dalle tessere cristalline sopra descritte e osservano l'immagine con i rivelatori in dotazione al laboratorio per ottimizzare la posizione della lente. Vengono poi calcolate alcune proprietà di ciascuno dei cristalli in uso da confrontare con le proprietà teoriche richieste dal progetto di costruzione della lente spaziale. Le tessere che rispondono a certi criteri vengono selezionate per il prototipo da testare.

Applicazioni della fluorescenza allo studio di opere d'arte

In questo percorso gli allievi studiano le tecnologie nucleari applicate alla conservazione dei beni culturali, mettendo in evidenza la natura trasversale della fisica.

Il fenomeno della fluorescenza, ben compreso e interpretato nel quadro della fisica quantistica, è alla base di diverse tecniche per lo studio di materiali. La caratteristica comune di queste tecniche è il fatto di non essere invasive, aspetto che le rende particolarmente apprezzate quando gli oggetti di studio sono opere d'arte.

Nella prima parte vengono presentati esempi di fluorescenza da luce ultravioletta, suggestivi perché osservabili direttamente a occhio nudo. In questa parte gli allievi utilizzano un illuminatore di Wood e una macchina fotografica digitale con filtri ottici per fare fotografie ad un dipinto antico ed eseguire un'analisi qualitativa del dipinto, distinguendo eventuali interventi di restauro. Nella seconda parte gli allievi osservano gli spettri di raggi X prodotti per fluorescenza da pigmenti e da altri materiali artistici e identificano gli elementi dagli spettri. Nell'ultima fase, facendo un'analisi comparativa tra campioni di dati, identificano i pigmenti partendo dagli elementi trovati. In questa fase, gli allievi si misurano con la natura multidisciplinare di questo campo di ricerca in quanto devono sfruttare argomenti di storia delle tecniche artistiche per distinguere quale pigmento è stato utilizzato in base al periodo storico (Impallaria, 2017).

Nanostrutture di semiconduttori

Lo scopo di questo laboratorio è caratterizzare i sensori che vengono utilizzati in campo biomedicale, ambientale e agroalimentare. Partendo dalle conoscenze di base di fisica moderna vengono introdotti i concetti fondamentali della teoria dei livelli elettronici nei solidi cristallini. Questa è un'attività che coinvolge elementi di fisica e chimica. Vengono descritte le proprietà delle nano strutture (grani) di semiconduttori ed eseguite esperienze di misure elettriche sui sensori con vari gas ed una misura della barriera di potenziale tra grano e grano. Gli allievi partecipano alla fase di misura. I sensori sono già stati preparati e l'apparato sperimentale è costituito da una camera test con controllo di temperatura e umidità relativa in cui sono posizionati i sensori; all'interno di questa camera vengono introdotti, attraverso una linea collegata e bombole certificate, dei gas le cui concentrazioni sono determinate attraverso flussimetri di massa. La camera test è collegata ad una scheda elettronica per la lettura della tensione.

Gli allievi effettuano misure di tensione in aria e in presenza di gas per stimare differenza di resistenza dei film di nanograni e ricavare la conduttanza. Nota la conduttanza in aria G_{air} e in gas G_{gas} , gli allievi costruiscono la curva di calibrazione dei sensori ovvero la risposta $(G_{air} - G_{gas})/G_{air}$ in funzione della concentrazione di gas.

Per comprendere le applicazioni al quotidiano viene illustrato il funzionamento di alcuni dispositivi realizzati presso il laboratorio di sensori del Dipartimento per le misure di inquinanti atmosferici e per l'analisi del respiro di soggetti sani e malati.

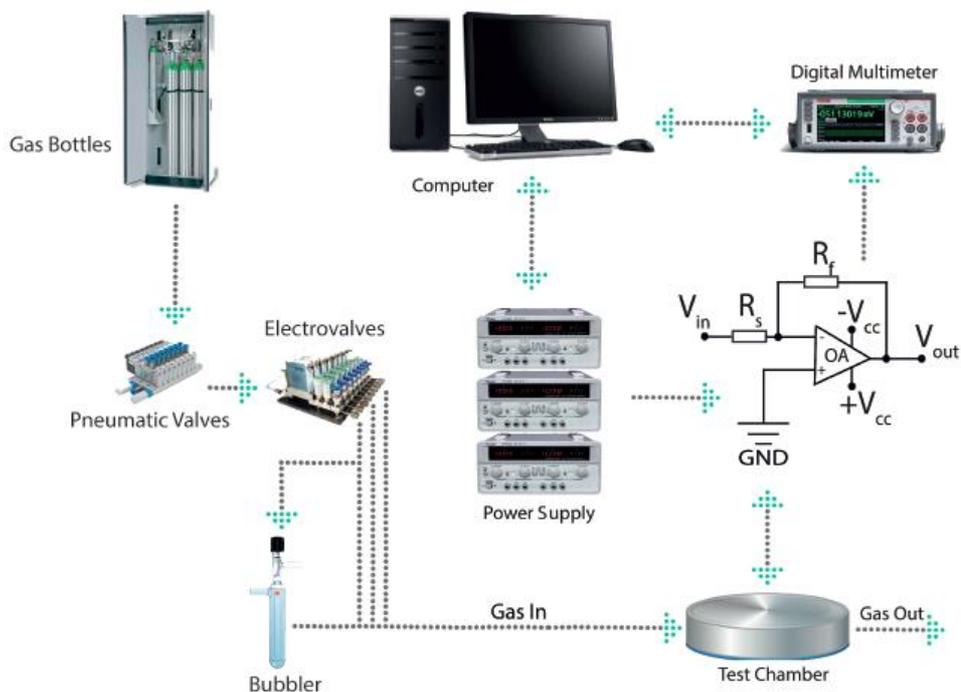


Figura 7 – Schema dell'apparato sperimentale del gas mixing e sistema di acquisizione dati per sensori (Immagine M. Valt)

Radioattività naturale

Nell'opinione pubblica la parola radioattività assume spesso un'accezione negativa: ci si dimentica che essa è un fenomeno fisico naturale, le cui applicazioni tecnologiche hanno portato a straordinari miglioramenti della qualità della vita dell'umanità. Dopo aver introdotto la radioattività e le tecniche di rivelazione, gli allievi conducono in prima persona una misura di radioattività naturale impiegando uno spettrometro gamma a scintillazione connesso ad un tablet. Questa misura viene effettuata utilizzando rocce e campioni di calibrazione dell'IAEA (International Atomic Energy Agency) che contengono un'abbondanza di radionuclidi (potassio, uranio, torio) nota. Le rocce sono posizionate dentro a delle scatole e gli allievi effettuano una serie di misure variando la distanza tra scatola e rivelatore. Sapendo le energie caratteristiche

dei materiali, dall'analisi degli spettri gli allievi devono riconoscere le rocce e i campioni contenuti nelle scatole [ITALRAD].

Magnetismo e nanostrutture

Lo scopo dell'esperienza è quello di presentare agli studenti quali siano le peculiarità delle nanostrutture magnetiche e come sia possibile studiarne le proprietà magnetiche. Il percorso si articola nei seguenti punti: (1) descrizione, generale, del comportamento magnetico della materia; (2) proprietà dei livelli nei solidi e condizioni per cui si riesce ad instaurare il fenomeno del ferromagnetismo; (3) proprietà dei materiali ferromagnetici e loro dipendenza dalla dimensione dei materiali stessi nel momento in cui si studiano sistemi in forma di nanostrutture, ovvero sistemi in cui la taglia, lungo una o più direzioni, scenda a valori che variano tra pochi nanometri e le centinaia di nanometri; (4) studio delle proprietà magnetiche di nanostrutture mediante una metodica di tipo ottico, ed osservazione del fatto che le proprietà stesse dipendono dalla taglia.

Lo sviluppo di questo percorso si basa sia su conoscenze pregresse, che gli allievi hanno acquisito durante il loro percorso di studi di chimica e fisica, che su nuove conoscenze, che vengono presentate agli allievi durante l'attività. Le conoscenze pregresse sono: la classificazione dei livelli elettronici in un atomo ed il fatto che l'elettrone abbia uno stato di spin; la descrizione di tipo ondulatorio di un'onda elettromagnetica ed il fatto che l'onda elettromagnetica possa essere polarizzata linearmente o circolarmente; la definizione di indice di rifrazione; la definizione di vettore induzione magnetica e di vettore campo magnetico; il concetto di polo magnetico e quello di dipolo magnetico. Le nuove conoscenze che si vogliono trasmettere agli studenti sono: la classificazione dei materiali in diamagnetici, paramagnetici, ferromagnetici; il fatto che un elettrone possieda un momento magnetico, che dipende dal suo stato di spin; come sia definita la magnetizzazione di un materiale; quale sia la struttura dei livelli elettronici nei solidi; quale sia il meccanismo fisico per cui alcuni materiali siano ferromagnetici; come cambiano le caratteristiche di un sistema ferromagnetico in funzione della sua forma/dimensione; come cambiano le proprietà ottiche di un materiale ferromagnetico al variare della sua magnetizzazione.

Facendo riferimento ai punti indicati sopra, la trattazione si svolge seguendo questi passaggi:

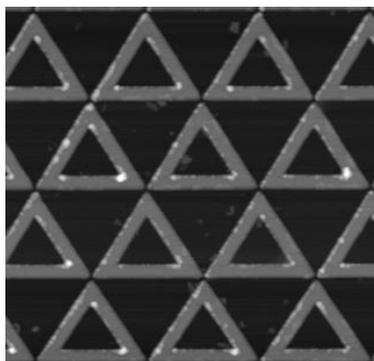
(1) si inizia richiamando brevemente come sia possibile produrre un campo magnetico, e poi si prosegue classificando i materiali in diamagnetici, paramagnetici e ferromagnetici in ragione di come essi reagiscano nel momento in cui sono immersi in un campo magnetico. Per mostrare quali siano le differenze di comportamento tra queste tre tipologie di sistemi, la spiegazione viene accompagnata da filmati/animazioni che aiutano gli alunni a visualizzare gli effetti di cui si parla. Si fa poi cenno al fatto che diversamente dai sistemi diamagnetici, in quelli paramagnetici e ferromagnetici è necessario che gli atomi/molecole che costituiscono i materiali possiedano un momento magnetico, ovvero che si comportino come dei dipoli magnetici. Si indica poi che gli elettroni possiedono un momento magnetico, legato al loro stato di spin:

così come lo stato di spin è quantizzato, ovvero può avere solo due possibili valori, *up* o *down*, allo stesso modo anche il momento magnetico è quantizzato;

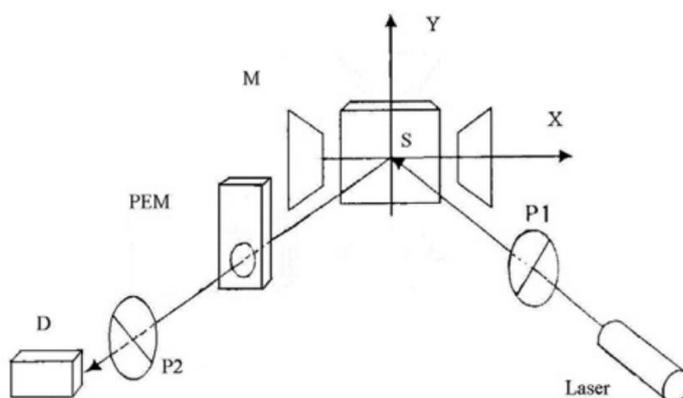
(2) sfruttando le conoscenze pregresse relative alla struttura degli orbitali elettronici negli atomi, si passa a descrivere cosa succede nel caso in cui si ha la formazione di un solido. Nel dettaglio, prendendo spunto dalla confronto tra i livelli elettronici di due atomi identici e quelli dei medesimi atomi quando essi formano una molecola, si fa intuire agli allievi che la creazione del solido può portare ad avere un numero molto elevato di livelli elettronici la cui differenza di energia è molto piccola, e grazie a questa caratteristica tali livelli sono generalmente raggruppati in una cosiddetta *banda*. Contribuiscono a tale banda gli elettroni che, nella configurazione atomica, appartenevano agli orbitali più esterni; viceversa, gli elettroni che appartenevano agli orbitali più interni possiedono un carattere più simile a quello della configurazione atomica di partenza. In riferimento a questi ultimi, se il numero di quelli con spin *up* ed il numero di quelli con spin *down* sono diversi, allora il singolo atomo può possedere un momento magnetico diverso da zero. A questo punto si può definire la magnetizzazione del materiale, ed iniziare a giustificare il comportamento di tipo paramagnetico dei materiali, che corrisponde al caso in cui i singoli momenti magnetici siano tra loro indipendenti. Nel caso in cui questi ultimi non siano indipendenti, grazie all'interazione di scambio, e tendano a restare paralleli gli uni agli altri, allora si osserva l'instaurarsi di un ordine nel sistema, che esibisce così un comportamento di tipo ferromagnetico;

(3) il comportamento dei materiali ferromagnetici viene presentato definendo cosa sia un ciclo di isteresi, che riesce a rappresentare quale sia lo stato di magnetizzazione del materiale in funzione del campo magnetico applicato. A partire dalla conoscenza delle caratteristiche del ciclo di isteresi, si può stabilire una classificazione dei materiali di tipo ferromagnetico. Utilizzando un programma di simulazione che permette di calcolare il ciclo di isteresi di vari sistemi ferromagnetici (Donahue, 1999) si mostra agli alunni quale corrispondenza vi sia tra i parametri microscopici di un materiale (ad es., intensità del singolo momento magnetico, intensità dell'interazione, etc.) ed il suo comportamento macroscopico. Mediante lo stesso software, si mostra agli alunni come la forma e le dimensioni del materiale influenzino le caratteristiche del ciclo di isteresi;

(4) gli alunni vengono poi portati in laboratorio per la misura del ciclo di isteresi di un dato materiale e per la misura del ciclo di isteresi di nanostrutture prodotte utilizzando il medesimo materiale, così da mettere in evidenza l'effetto della taglia/forma della nanostruttura. Nel caso considerato, si sono utilizzate le nanostrutture di cui si vede qui di seguito un'immagine raccolta con il microscopio elettronico a scansione (il lato di ciascun triangolo è pari a 2 micron, il lato del triangolo è largo 250 nm ed è spesso 25 nm).



La misura del ciclo di isteresi viene fatta sfruttando il fatto che i materiali magnetici sono birifrangenti, ovvero il loro indice di rifrazione cambia in dipendenza dello stato di polarizzazione della luce; inoltre, l'indice di rifrazione dipende anche dallo stato di magnetizzazione del materiale. Facendo incidere sul materiale un fascio di luce avente un fissato stato di polarizzazione, si riesce quindi a determinare la forma del ciclo di isteresi di un materiale osservando come cambia lo stato di polarizzazione del fascio riflesso al variare del campo magnetico applicato (Vavassori, 2000). L'apparato utilizzato per la misura è quello rappresentato nello schema riportato qui di seguito. Nella figura, P1 e P2 sono due filtri polarizzatori, S rappresenta il campione (sample), M il magnete che produce il campo applicato al campione, PEM un modulatore di polarizzazione e D il rivelatore (detector).



Man mano che il meccanismo fisico di funzionamento dell'apparato viene descritto agli alunni, l'effetto di ciascuno dei componenti ottici viene mostrato loro, così che riescano a visualizzare quale sia il contributo di ciascuno dei componenti presenti sul banco ottico. Grazie ad un software dedicato che controlla in modo automatico sia l'alimentatore del magnete che il rivelatore è possibile raccogliere il ciclo di isteresi del materiale considerato. Sotto la guida di un ricercatore, gli alunni procedono alla misura del ciclo di isteresi del materiale di cui sono composte le nanostrutture. Tale materiale è una lega di Fe (con una frazione atomica pari al 20%) e Ni (con una frazione atomica pari a 80%). Procedono quindi alla misura del ciclo di isteresi delle nanostrutture magnetiche. In particolare, visto che le nanostrutture hanno una forma che ha una specifica simmetria, ovvero è invariante per rotazioni di 60 gradi, gli alunni procedono con la misura di vari cicli di isteresi, a diversi angoli. Una volta raccolti i cicli di isteresi, gli alunni li visualizzano impiegando un opportuno programma di analisi, così da poter effettuare sia il confronto tra il ciclo di isteresi del materiale di partenza e quello delle nanostrutture che il confronto tra i cicli di isteresi misurati ai vari angoli. Dal primo confronto, gli alunni possono visualizzare quale sia l'effetto della ridotta dimensionalità delle nanostrutture sulle proprietà magnetiche, così da verificare quanto spiegato loro e quanto osservato con il pro-

gramma di simulazione. Dal secondo confronto gli alunni possono visualizzare quale sia l'effetto della simmetria sul comportamento magnetico del materiale nanostrutturato.

La presentazione degli argomenti, sia quelli di tipo teorico che quelli legati all'attività di laboratorio, viene sempre intervallata da domande, rivolte agli alunni fine di capire sia se essi possiedono o meno le conoscenze pregresse attese sia se essi abbiano compreso le nuove conoscenze loro presentate. Nel caso essi non possiedano le conoscenze pregresse attese, a seconda del caso si procede cercando delle strade alternative per la spiegazione, o introducendo brevemente le conoscenze mancanti. Nel caso essi non abbiano compreso le nuove conoscenze presentate, si procede spiegando nuovamente tali conoscenze o eventualmente cercando delle strade alternative per poter procedere con la spiegazione.

Laboratorio di eco-fluidodinamica e applicazioni in medicina

L'attività sperimentale inizia con una parte introduttiva sulla fisica degli ultrasuoni e sul loro utilizzo in campo diagnostico e prosegue con alcune prove pratiche svolte dagli studenti tra le quali: misura dell'attenuazione di un'onda ultrasonora al variare delle caratteristiche del mezzo in cui si propaga l'onda e della frequenza nominale dell'onda stessa; studio del flusso di un liquido tramite ecoDoppler: utilizzando un apparato che permette di riprodurre la circolazione sanguigna in carotide e giugulare verranno effettuate misure di flusso tramite acquisizione di profili Doppler ed immagini Brightness-Mode (Sisini, 2015).

Laboratorio di Cosmologia

Il percorso mira a fornire agli studenti delle nozioni base di Cosmologia, con enfasi sulla radiazione cosmica di fondo, che è la radiazione elettromagnetica prodotta nell'Universo primordiale il cui residuo "fossile" permea

l'universo. Scoperta nel 1964, è la maggiore evidenza sperimentale del modello del Big Bang.

Alle lezioni teoriche seguono lezioni pratiche dove gli studenti analizzano i dati del satellite Planck dell'ESA con lo scopo di vincolare alcune proprietà del modello cosmologico standard. Come proposto nelle indicazioni, lo studente avrà l'opportunità di accostarsi alle scoperte più recenti nell'ambito della Cosmologia confrontandosi direttamente con i ricercatori specializzati in questo campo.

Laboratorio di Fisica Teorica

Le leggi della fisica, dalla meccanica classica all'elettromagnetismo fino alla meccanica quantistica sono espresse come "equazioni differenziali". Dopo una breve e semplice introduzione teorica a questo tipo di strumento matematico, usando un software dedicato verranno risolte al computer alcune equazioni differenziali già note agli studenti (come la legge di gravitazione universale di Newton) ed alcune semplici equazioni della fisica moderna (esempi tratti

dalla relatività di Einstein). Gli studenti lavorano direttamente col software e sono guidati nella risoluzione dei problemi e nella visualizzazione e analisi dei risultati.

Gli allievi in questa attività hanno l'opportunità di apprendere alcuni concetti di fisica moderna fuori dall'ambiente scolastico, all'interno di un ambiente di ricerca, con attività *hands-on* non mediate da altre persone ma svolte direttamente da loro. Agli studenti viene richiesto di costruire il sapere attraverso l'esperimento avendo la possibilità di confrontarsi con i ricercatori. Questa per loro è un'occasione anche per visitare i laboratori dove si svolge ricerca di fisica fondamentale e applicata. Oltre all'aspetto didattico prettamente legato al programma di fisica del quinto anno, gli studenti possono vivere un'esperienza di orientamento universitario e quindi interrogarsi sulle proprie vocazioni. Al termine delle attività viene sottoposto agli allievi un questionario di gradimento e riportiamo di seguito le risposte alla domanda: *Le attività svolte ti saranno utili nella scelta dei tuoi studi futuri?*

(anno 2017)

- Decisamente no: 3
- Più no che sì: 16
- Più sì che no: 16
- Decisamente sì: 21

Dal punto di vista dei ricercatori questa è un'esperienza unica per disseminare la loro ricerca entrando in contatto con i docenti, gli allievi e loro famiglie.

3. Out-of-school learning: eventi di divulgazione scientifica

In questa sezione vengono descritte le diverse iniziative inserite nel contesto dell'apprendimento informale con particolare riguardo a quelle che avvengono al di fuori dell'ambiente scolastico in Università e centri di ricerca, che fungono da catalizzatore per l'insegnamento/apprendimento della Fisica. Questi eventi costituiscono un ponte tra il mondo della ricerca e la società portando in molti casi alla realizzazione di progetti di educazione scientifica che coinvolgono docenti e allievi delle scuole primarie e secondarie.

La prima iniziativa presa in esame è "Porte Aperte a Fisica" nata nel 2000 nella sede dell'ex Dipartimento di Fisica di Via Paradiso. L'evento, strutturato in sette giorni, aveva lo scopo di creare uno spazio dove far conoscere al grande pubblico le attività di ricerca portate avanti nell'ambito della Fisica a Ferrara. Questa manifestazione costituisce uno degli esempi di *best practice* della disseminazione della scienza sviluppati nell'Ateneo ferrarese in quanto il suo pattern dal 2011 è stato esteso alle attività dell'area scientifico-tecnologica divenendo "Porte Aperte al Polo Scientifico Tecnologico". L'evento è oggi caratterizzato da due percorsi di visita, senior e junior, differenziati in base all'età dei partecipanti. Nel percorso senior le persone assistono alla presentazione delle attività di ricerca nei laboratori da parte dei ricercatori. Particolare attenzione è rivolta agli allievi e ai docenti delle scuole che hanno la possibilità di vedere ambienti e laboratori e conoscere i protagonisti della ricerca. Dal punto di vista didattico questa esperienza costituisce un'opportunità per gli studenti di vivere l'attualità scientifica e per i docenti di rimanere aggiornati sui principali temi della ricerca, proponendo dove

possibile approfondimenti in classe. Per quello che riguarda l'area Fisica vengono illustrate le attività di fisica della materia, sensori, applicazioni mediche, energie rinnovabili, fisica applicata alla medicina, astrofisica, tecnologie nucleari applicate all'ambiente e alla conservazione dei beni culturali, le ricerche di frontiera attraverso le attrezzature sviluppate per investigare la fisica delle particelle elementari e la fisica dello spazio. Tutti questi argomenti sono inseriti nelle Indicazioni Nazionali del MIUR.

Nel percorso junior, i bambini dai 5 a 11 anni assistono a interventi ludico-didattici dedicati alla scienza. Dal percorso junior fisica è nato come *by-product* nel 2014 un progetto di educazione scientifica per insegnare la fisica nelle scuole primarie e secondarie di I grado "Fisici Senza Frontiere", che verrà descritto nelle prossime sezioni.

All'interno di Porte Aperte 2016 è stato realizzato un progetto di Alternanza Scuola Lavoro [Alternanza Scuola Lavoro] che ha coinvolto alcuni studenti del Liceo Scientifico A. Roiti di Ferrara in un percorso di comunicazione della scienza, fornendo supporto al personale e ai ricercatori coinvolti nell'organizzazione dell'evento.

Altre attività di divulgazione che sono da supporto e incentivo per la didattica sono La Notte dei Ricercatori e i Venerdì dell'Universo [Venerdì dell'Universo]. La Notte dei Ricercatori propone la presentazione delle attività di ricerca fuori dagli ambienti universitari per stabilire una forte connessione con il territorio abbattendo il pregiudizio che gli scienziati vedano i laboratori come torri d'avorio onorando un patto sociale per arricchire la società e rendere consapevoli i cittadini dei progressi della scienza e di come utilizzarli nelle scelte di tutti i giorni. I Venerdì dell'Universo, nati nel 2000, propongono seminari divulgativi dedicati alla scienza, alla sua applicazione in diverse discipline mettendo in rilievo i benefici per i cittadini.

Viene ora preso in esame un caso studio di didattica museale legato alla mostra di strumenti storici "*Fisica e Metafisica? La Scienza ai tempi di de Chirico e Carrà*" che si è tenuta a Palazzo Turchi di Bagno a Ferrara, dal novembre 2015 a gennaio 2016, organizzata dal Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, dall'INFN e dal Sistema Museale d'Ateneo dell'Università di Ferrara. L'evento è stato realizzato allo scopo di valorizzare il patrimonio storico scientifico dell'Ateneo coniugando arte, scienza e storia di Ferrara.

La mostra scientifica ha ripercorso le tappe principali dello sviluppo della Fisica negli anni tra fine Ottocento e inizio Novecento mettendo in luce gli sviluppi e le ricerche nel territorio ferrarese, attraverso l'esposizione di strumenti appartenuti in quegli anni al Gabinetto di Fisica e all'Osservatorio meteorologico (Zini, 2004; Caracciolo, 2009), quando la loro direzione era affidata a Giuseppe Bongiovanni e oggi conservati nella Collezione Instrumentaria delle Scienze Fisiche, sezione del Sistema Museale d'Ateneo.

Giuseppe Bongiovanni, professore di Fisica sperimentale, frequentava il gruppo di intellettuali composto da Giorgio de Chirico, Alberto Savinio, Carlo Carrà e Filippo de Pisis che si creò a Ferrara durante gli anni della Prima Guerra Mondiale. Il legame di amicizia si evince dalla presenza di Bongiovanni, nominato affettuosamente l'astronomo, nella prosa e nelle poesie di de Chirico, Savinio e de Pisis. Questo legame ha ispirato la mostra di strumenti storici che è stata inserita tra gli eventi collaterali della mostra d'arte dedicata a de Chirico e alle avanguardie metafisiche di Palazzo Diamanti, creando un legame molto forte tra Università e territorio.

Bongiovanni fu personaggio molto noto nell'ambiente scientifico italiano e internazionale dell'epoca. Si occupò di ricerca in diversi campi della Fisica e si dedicò con passione all'insegnamento. Membro di diverse Accademie scientifiche nazionali e internazionali, nel 1897 fu tra i firmatari della circolare che portò alla costituzione della Società Italiana di Fisica (Graziani Bottoni, 2000). Realizzò uno studio dettagliato sul clima di Ferrara basato su molti anni di osservazioni che pubblicò nel 1900 (Bongiovanni, 1900).

Il filo conduttore della mostra è il *divertissement* di stabilire una connessione tra la fisica e l'arte metafisica attraverso la lettura soggettiva che uno scienziato fornisce di queste opere. L'esposizione è stata strutturata in cinque sezioni: misure e campioni di misure, meteorologia, elettromagnetismo, astronomia e apparati medicali. Ogni sezione è abbinata a opere metafisiche e documenti dell'epoca. Dall'osservazione di alcuni particolari presenti nei quadri, con un gioco di corrispondenze, vengono introdotti gli strumenti scientifici e illustrate le principali scoperte che questi hanno determinato. Alle scuole in visita è stato proposto un approfondimento tecnologico riguardo le attrezzature scientifiche per capire come state realizzate le scoperte che hanno gettato le basi alla fisica moderna, presentando anche i personaggi e gli scienziati che hanno animato queste scoperte curando al contempo l'aspetto umano della scienza nel racconto delle vicende della vita di queste persone.

Nelle aree relative a meteorologia, elettromagnetismo e apparati medicali sono stati esposti gli strumenti utilizzati da Giuseppe Bongiovanni e presentati in alcuni suoi lavori a stampa (Bongiovanni, 1898; Bongiovanni 1900). In particolare, sono stati esposti lo psicrometro a ventilatore per la misura dell'umidità dell'aria e alcuni termometri descritti da Bongiovanni nel rapporto sul clima. È stato esposto il radiotelegrafo marconiano che veniva usato per inviare giornalmente i dati meteorologici da lui registrati e che rappresenta una delle prime applicazioni delle onde elettromagnetiche (scoperte da Hertz nel 1888) per la comunicazione.

Uno spazio della mostra è stato dedicato al principio di funzionamento dei tubi a scarica e dei tubi di Crookes con i quali sono state studiate le proprietà degli elettroni e dei raggi X. Grazie alla presenza di questi strumenti è stata introdotta la scoperta dei raggi X ad opera di Wilhelm Conrad Roentgen (1895) che ha cambiato radicalmente la nostra visione della natura facendoci accedere al mondo invisibile. Questa scoperta costituisce un esempio molto importante della fisica applicata al vivere quotidiano, perché già nel 1896 vennero impiegati per la radiodiagnostica in medicina e durante la Prima Guerra Mondiale gli ospedali da campo erano attrezzati con un reparto di radiologia.

Sono state organizzate visite guidate per le scuole e per la cittadinanza e per i più piccoli dei laboratori didattici interattivi di fisica.

L'evento ha consentito di presentare alle persone il patrimonio scientifico storico della Collezione di Fisica, avvicinando le persone alla scienza tramite l'arte e raccontando gli sviluppi tramite gli strumenti e le persone presentando le ricadute nel quotidiano e come queste scoperte furono vissute e studiate nella realtà ferrarese.

4. Progetto di educazione scientifica nelle scuole di Ferrara

Come anticipato nei precedenti paragrafi, il percorso Porte Aperte Junior Fisica, all'interno della manifestazione di apertura al pubblico del Polo Scientifico Tecnologico, ha instaurato un contatto diretto tra Università e Scuole primarie e secondarie di I grado di Ferrara, evidenziando come i docenti spesso non si sentano sicuri nell'insegnare le materie scientifiche perché non proprie della loro formazione. Da un dialogo aperto con i docenti della scuola primaria è nato nel 2014 un progetto di educazione scientifica "Fisici Senza Frontiere" con lo scopo di proporre degli interventi didattici laboratoriali nelle scuole con temi inerenti alla fisica generale. Ogni lezione è dedicata ad un argomento come ottica, calore e temperatura, elettricità, meteorologia, pressione e vuoto, astronomia. L'intervento didattico alterna discussioni guidate ad attività pratiche svolte dagli allievi individualmente o in gruppo. La classe viene solitamente divisa in gruppi e viene chiesto agli allievi di collaborare e di confrontare le idee. Si cerca di privilegiare l'apprendimento per immagini e l'apprendimento cinestetico. Seguendo il metodo scientifico, gli allievi realizzano esperimenti e discutono i risultati ottenuti.

Vengono studiati esempi e controesempi tenendo uno sguardo rivolto all'esperienza quotidiana per far capire agli allievi che quanto appreso è per loro uno strumento per interpretare i fenomeni che li circondano. Le esperienze dimostrative realizzate dai tutor sono condotte utilizzando sia materiale low tech facilmente reperibile che attrezzature scientifiche da laboratorio, portate appositamente nelle scuole per poter far osservare alcuni fenomeni in prima persona dagli allievi. Ne è un esempio il percorso "pressione e vuoto" in cui si porta un sistema da vuoto per creare in maniera efficace il vuoto dentro un recipiente e osservare cosa succede ad alcuni fenomeni quando viene tolta l'aria (caduta di oggetti nel tubo di Newton, palloncino gonfio, acqua che bolle a temperatura ambiente, marshmallow che viene deformato) o il percorso di ottica in cui si utilizza un kit didattico di ottica geometrica per studiare e verificare le sue leggi.

Come esempio viene presentato il percorso "Calore e temperatura", incentrato sui concetti chiave della terminologia per introdurre agli allievi la differenza tra calore e temperatura, i conduttori e gli isolanti termici e i metodi di propagazione del calore. In questa unità gli allievi imparano che cos'è il calore in fisica e viene spiegato che cos'è il linguaggio scientifico. Attraverso un'esperienza sensoriale gli allievi imparano la differenza tra conduttore e isolante termico. In particolare gli allievi devono classificare degli oggetti come freddo, caldo o neutro al tatto e devono dire se questi oggetti sono alla stessa temperatura. Viene poi fatta una misura con il termometro per verificare l'ipotesi. Dopo aver spiegato la conduzione termica e la differenza tra isolanti e conduttori termici vengono introdotti materiali ed esempi e con l'inquiry based learning attraverso domande stimolo, gli allievi devono interpretare il fenomeno della conduzione utilizzando schemi e disegni. Vengono utilizzati tre dischi uguali nella forma ma di materiale diverso (metallo, sughero, plexiglas), gli allievi attraverso il tatto li classificano come freddo o neutro e viene chiesto loro di identificarli come conduttore o isolanti. Si chiede agli allievi cosa succede se viene posto del ghiaccio su questi tre dischi e generalmente gli allievi rispondono che il ghiaccio si scioglie prima sul sughero. Viene fatta la verifica e viene chiesto agli allievi di interpretare quanto osservato. Viene introdotta la grandezza temperatura, viene

spiegato il principio di funzionamento del termometro e la sua lettura. Come attività sperimentale gli allievi sono chiamati a costruire un termoscopio e spiegare come funzionano alcuni giochi scientifici. Vengono presi in esame i fenomeni riguardanti i passaggi di stato e la dilatazione termica nei solidi, liquidi e gas. Infine vengono introdotti i metodi di propagazione del calore attraverso l'osservazione di alcune esperienze realizzate con materiale facilmente reperibile. Gli allievi sono parte attiva nella costruzione del percorso e sono previsti dei momenti di ricapitolazione in cui loro stessi raccontano cosa hanno appreso. Al termine della lezione viene proposto un gioco sotto forma di mappa concettuale o cruciverba per ordinare i concetti e creare una sintesi della lezione. In questo gioco gli allievi ripercorrono gli argomenti trattati e sono chiamati a rispondere a domande a risposta chiusa o aperta. Nelle risposte vengono guidati al fine di utilizzare correttamente il linguaggio scientifico.

Durante l'anno scolastico 2016/2017 sono stati fatti interventi didattici in sedici scuole della provincia di Ferrara, Milano e Frascati. Grazie a questa attività si è creato un forte legame tra scuole e Università per promuovere la *scientific literacy* dal primo ciclo d'istruzione.

Nel contributo sono state presentate alcune delle attività realizzate dal Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara e dall'INFN per la disseminazione scientifica mirate a creare una connessione tra scienza e società per aumentare la consapevolezza nelle persone rendendole partecipi delle scoperte scientifiche e delle loro ricadute nel quotidiano e per orientare gli allievi verso le carriere scientifiche.

Si ringraziano i professori Paolo Natoli, Cesare Malagù, Ferruccio Petrucci, Fabio Mantovani, Angelo Taibi, Giuseppe Pagliara, Giuseppe Ciullo, Donato Vincenzi, Piero Rosati, Federico Spizzo, dr. Paolo Bernardoni, dr. Barbara Fabbri, dr. Enrico Virgilli e tutti i loro collaboratori per le attività dei laboratori di fisica moderna.

5. Bibliografia

Bongiovanni, G. (1898). Sui condensatori sferici in cascata. *Atti della Accademia delle Scienze Mediche e Naturali in Ferrara*, Ferrara 1898-99, pp. 273-296.

Bongiovanni, G. (1900). *Risultati decadici, mensili e annui delle osservazioni fatte nel dodicesimo 1884-95, con note sul clima di Ferrara e confronti con quello di altre Città (Osservatorio meteorico della Libera Università di Ferrara)*. Ferrara: Tip. Sociale del Dott. Giovanni Zufi.

Caracciolo, C., Zini, G. (2009). *La Meteorologia a Ferrara dal XVIII al XX secolo*. Museologia Scientifica e Naturalistica, vol. 5, <http://annuali.unife.it/museologia/caracciolozini.pdf>.

Donahue, M. J., Porter, D. G. (1999). *OOMMF User's Guide*, Version 1.0 Interagency Report NISTIR 6376; Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology.

Graziani Bottoni, M. (a cura di) (2000). *Perché lei deve essere così letterato? Profilo di Giuseppe Bongiovanni – Professore di Fisica del Liceo Ginnasio Ariosto dal 1877 al 1917* (Quaderni del Liceo Classico L. Ariosto Ferrara, n. 7).

Impallaria, A. *et al.* (2017). The palette of a 16th century Venetian artist: materials and methods of Giovanni da Mel. *Ge-conservación*, 11, 230-236.

Michellini, M. (2010). *Proposte didattiche sulla fisica moderna*, Udine: MIUR-PLS-UniUD.

Montalbano, V., & Mariotti, E. (2013). *A multipurpose action for learning/teaching process: the Pigelleto's Summer School of Physics*. ESERA 2013. Nicosia, Cyprus, 2-7 September 2013.

Planinšič, G., Etkina, E. (2014). Light Emitting Diodes: A hidden treasure. *The Physics Teacher*, 52 (2), 94-99.

Sisini, F. *et al.* (2015). An ultrasonographic technique to assess the jugular venous pulse: a proof of concept. *Ultrasound Med Biol.*, 41(5), 1334-41. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.12.666.

Vavassori, P. (2000). Polarization modulation technique for magneto-optical quantitative vector magnetometry. *Applied Physics Letters*, 77, 1605.

Zini, G. (2004). La Fisica Sperimentale e il Gabinetto di Fisica dell'Ateneo Ferrarese tra la fine del secolo XVIII e l'inizio del XX. *Annali di Storia delle Università Italiane*, 8, 159-187.

6. Sitografia

[Bando MIUR diffusione] Bando MIUR per la diffusione della cultura scientifica URL: <http://hubmiur.pubblica.istruzione.it/web/ricerca/diffusione>

[Bando Pari opportunità] Bando Pari Opportunità per campi estivi STEM URL: <http://www.pariopportunita.gov.it/bandi-e-avvisi/in-estate-si-imparano-le-stem-prorogato-al-28-febbraio-2017-il-bando-per-le-scuole-relativo-ai-campi-estivi-di-scienze-matematica-informatica-e-coding/>

[PLS] Progetto Lauree Scientifiche URL: <http://www.progettolareescientifiche.eu/>

[Terza Missione] Anvur Terza Missione URL: http://www.anvur.org/index.php?option=com_content&view=article&id=875&Itemid=628&lang=it#

[Indicazioni Nazionali Licei Scientifici] Indicazioni Nazionali Licei Scientifici URL: http://www.indire.it/lucabas/lkmw_file/licei2010///indicazioni_nuovo_impaginato/_Liceo%20scientifico%20opzione%20Scienze%20Applicate.pdf

[Laboratori Fisica Moderna] Laboratori di Fisica Moderna organizzati dal Corso di Laurea in Fisica, Università di Ferrara URL: http://www.fe.infn.it/orientamento_fisica/courses/laboratori-di-fisica-moderna/

[ITALRAD] Italian Radioactivity Project URL: <http://www.fe.infn.it/italrad/index.html>

[Alternanza Scuola Lavoro] Alternanza Scuola Lavoro URL: <http://www.istruzione.it/alternanza/index.shtml>

[Venerdì dell'Universo] I Venerdì dell'Universo URL: <http://www.fe.infn.it/venerdi/>

Received October 10, 2017

Revision received November 28, 2017/December 3, 2017

Accepted December 30, 2017