



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE

Università degli studi di Udine

LACOMGEI: Didattica laboratoriale di fisica in un progetto di diffusione della cultura scientifica

Original

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/11390/1196214> since 2021-01-13T12:33:30Z

Publisher:

Published

DOI:

Terms of use:

The institutional repository of the University of Udine (<http://air.uniud.it>) is provided by ARIC services. The aim is to enable open access to all the world.

Publisher copyright

(Article begins on next page)

LACOMGEI: Didattica laboratoriale di fisica in un progetto di diffusione della cultura scientifica

Marisa Michelini, Alberto Stefanel

Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università degli Studi di Udine

Abstract

Il progetto LACOMGEI è stato promosso dall'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Udine e finanziato con L. 113/1991. Ha offerto un ampio spettro di attività laboratoriali per studenti (esperimenti, laboratori didattici, masterclass sulla fisica moderna). Per gli insegnanti, coprogettazione e partecipazione alle attività degli studenti si sono integrate con proposte formative specifiche. Partecipazione e valutazione delle attività evidenziano che il progetto ha risposto a esigenze delle scuole e attivato positivi percorsi di apprendimento e raccordo coi curricoli.

Introduzione

Il progetto LACOMGEI, proposto dal Centro Interdipartimentale di Ricerca Didattica (CIRD) dell'Università di Udine, è stato avviato nel marzo 2015 con contributo in base alla Legge 113/91, D.D. 2216/Ric. del 01/07/2014 e si è concluso nel febbraio 2016. Responsabile Scientifico del progetto LACOMGEI è stata la prof. Marisa Michelini ed è stato condotto dall'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università degli Studi di Udine (URDF), per quello che riguarda la progettazione e l'attuazione delle attività scientifiche, e dal CIRD, per la parte amministrativa e organizzativa. Si è realizzato in continuità e sviluppo di progetti e iniziative di diffusione della cultura scientifica che in oltre vent'anni sono stati una parte importante delle attività di ricerca dell'URDF e hanno caratterizzato il CIRD dell'Università degli Studi di Udine come struttura di raccordo Scuola-Università (Michelini 1994; Michelini, Stefanel 1997; Capocchiani, Michelini 2000; Santi, Michelini 2009; Michelini, Santi, Stefanel 2010; Michelini, Stefanel 2010; Challapalli et al. 2013).

Il progetto si è avviato e sviluppato in sinergia, sia economica, sia di azioni, sia temporale con il progetto PLS-IDIFO5 (<http://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/pls5.htm>) grazie al quale è stato possibile attivare le azioni previste nel progetto stesso non appena ricevuto il finanziamento. E' stato presentato alle scuole e condiviso al Tavolo di Raccordo Scuola-Università (www.tid.uniud.it), che raccorda l'Università di Udine con oltre 60 scuole del territorio, le reti di scuole del comprensorio udinese e l'Ufficio Scolastico Regionale del FVG. Tre filoni di attività del progetto LACOMGEI (laboratori didattici per la scuola di base, laboratori didattici per la scuola superiore e formazione insegnanti) sono sinergici a cinque Progetti di Innovazione Didattica Scuola-Università dell'Università di Udine (PID-SU - <http://tid.uniud.it/pid-su2016>).

Come contributo per il raccordo scuola-università e la diffusione della cultura scientifica integrata con la didattica scolastica, si discutono qui le principali caratteristiche delle azioni del progetto e degli strumenti utilizzati per monitorare l'impatto del progetto a diversi livelli, documentando alcuni principali esiti in merito a partecipazione delle scuole del territorio e impatto che ha avuto il progetto.

2. Caratteristiche delle azioni svolte

Il progetto LACOMGEI ha previsto oltre dieci diverse azioni che hanno avuto la caratteristica comune di realizzarsi in collaborazione con le scuole coinvolte e di integrare a diversi livelli l'attività svolta nelle scuole con la ricerca in didattica della fisica promossa, proposta e condotta dall'URDF. Di seguito si discutono le caratteristiche peculiari delle principali azioni condotte nel progetto.

2.1 laboratori didattici per studenti della scuola di base

Per studenti della scuola di base sono stati attuati due tipi di laboratori didattici nel contesto della mostra Giochi Esperimenti Idee (GEI) (Bosio et al. 1997; Bosatta et al. 1998): laboratori in visita all'intera mostra o a sue singole sezioni; Laboratori Concettuali di Esplorazione Operativa (Laboratori CLOE) (Stefanel et al. 2002; Fedele et al. 2005; Bradamante et al. 2005; Challapalli et

al., 2013; Heron et al. 2009; Michelini, Mossenta 2007; Fera, Michelini, 2014; Testa, Michelini 2008; Michelini, Santi, Stefanel 2010b, 2014, 2016; Michelini, Stefanel 2017).

La mostra GEI è composta da oltre 250 esperimenti sulla fisica e la scienza di base, realizzati con materiali poveri, giocattoli e che utilizzano anche sensori collegati in linea con l'elaboratore come estensione dei sensi e organizzati in 15 sezioni. Nell'ambito delle manifestazioni realizzate nel progetto LACOMGEI sono state esposte le seguenti: A-Forze ed equilibrio; B- Proprietà dei fluidi; C- Celle elettrolitiche e pile; D- Fenomeni elettrici; E- Circuiti elettrici; F- Circuiti logici; G- Fenomeni magnetici; H- Fenomeni termici con il computer on-line; I e L- La luce e la visione; K- L'energia; M- Il moto del sole; N-funzioni dei viventi; O- Analisi degli alimenti; P- Polarizzazione della luce; S- Suono; T- Tempo. Proprio quest'anno GEI si è arricchita della sezione di spettroscopia, tuttora a livello prototipale. Ciascuna sezione è organizzata come percorso concettuale operativo che collega secondo un filo logico i diversi esperimenti che si possono realizzare con ciascun apparato, pensato e presentato come un'isola di esplorazione operativa/concettuale a sé stante. Sono state proposte tre diversi tipi di visita: Tipo 1- visita generale: una panoramica di tutta la mostra (attività di 1 ora); Tipo 2 visita approfondita di due sezioni da scegliere tra quelle indicate (attività di 1 ora); Tipo 3 visita ad una sezione + Laboratorio CLOE (attività di 2 ore).

Le visite guidate alla mostra GEI sono state realizzare come microlaboratori didattici, partendo dalla esplorazione spontanea dei bambini con gli oggetti di una sezione e seguendoli nei loro percorsi esplorativi, nelle loro curiosità, nelle domande che essi ponevano e che attivavano la ricerca operativa di risposte negli esperimenti della mostra.

I Laboratori CLOE (Michelini 2006) sono stati progettati come ambienti di apprendimento informale in cui studenti delle



Fig. 1 Bambini esplorano la sezione suono della mostra GEI.

scuole materne, primarie e secondarie di primo grado sono stati impegnati in piccolo gruppo o gruppo classe nell'analisi dei fenomeni quotidiani, esplorazione di semplici esperimenti /osservazioni utilizzando apparati fatte dai giocattoli, materiali comuni, discutendo scenari relativi alla vita di tutti i giorni. In ciascun laboratorio CLOE ai bambini viene proposta l'esplorazione di un definito ambito fenomenologico, avendo come riferimento un percorso didattico basato sulla ricerca che costituisce un corridoio o un panorama all'interno del quale gli studenti costruiscono personali percorsi di esplorazione e apprendimento (Stefanel et al. 2002; Fedele et al 2005; Bradamante et al 2005). Essi infatti sono liberi di toccare gli oggetti e gli apparati, esplorare i fenomeni, discutere sui processi che loro stessi avevano prodotto/attivato operando con i materiali. Le domande dei bambini su ogni fenomeno venivano discusse in piccoli gruppi, in cui il conduttore del laboratorio attivava la discussione attraverso una metodologia di intervista rogersiana (Lumbelli 1986). Per ogni situazione i bambini raggiungevano una conclusione che costituiva un piccolo passo concettuale di arricchimento di conclusioni precedentemente raggiunte e poneva una nuova domanda che era il primo passo per una nuova esplorazione. I ragionamenti dei bambini, i loro percorsi concettuali attivati dall'esplorazione fenomenologica sono stati monitorati con audio-registrazione, note scritte dal conduttore o frasi scritte, disegni, mappe spontanee realizzate dai bambini e raccolte in fogli di lavoro aperti o schede di lavoro in cui riepilogare: azioni svolte, fenomeno osservato, conclusioni in merito ai processi che determinano tali fenomeni. Tale documentazione è servita ai bambini per consolidare i concetti via via costruiti, avendo traccia del lavoro svolto. E' stata un prezioso materiale

di lavoro per gli insegnanti che li hanno accompagnati nelle attività di laboratorio e che hanno potuto riutilizzarli, rielaborarli ovvero farne la base per approfondimenti, agganci e attività in classe. E' stata infine la fonte primaria per la valutazione degli apprendimenti dei bambini nei laboratori CLOE e per studi sul ruolo dell'operatività nell'apprendimento dei concetti scientifici (Michelini 2006; Michelini et al. 2016, Michelini, Stefanel 2017).

2.2 Didattica laboratoriale coprogettata per studenti della scuola superiore

Per gli studenti delle scuole superiori sono stati progettati e attuati, nel periodo aprile-maggio 2015 e nel periodo novembre 2015-febbraio 2016, laboratori didattici incentrati prevalentemente sulla fisica moderna, tema oramai entrato a far parte dei curricula scolastici e sul quale vi è una forte richiesta da parte delle scuole. Anche in questo caso la traccia di lavoro, i materiali utilizzati per il monitoraggio, le strategie di interazioni sono basate sulla ricerca didattica ed esito di ricerche condotte dall'URDF sia per lo sviluppo di apparati didattici prototipali, sia per la messa a punto e validazione di percorsi didattici, tutorial didattici, questionari di valutazione degli apprendimenti (Michelini 2010). Se ne discutono le caratteristiche dei più importanti.

A) Masterclass su Meccanica Quantistica, Ottica fisica, Superconduttività. Le Masterclass costituiscono un modello laboratoriale piuttosto innovativo in cui gli studenti sono stati coinvolti per una intera giornata presso l'Università di Udine nell'esplorazione di percorsi didattici basati sulla ricerca su temi scelti dalle scuole (Michelini 2010) e curvati e realizzati con modalità concordate coi docenti delle classi coinvolte.

Le Masterclass sono state progettate sulla base di un analogo modello che ha previsto: A) Presentazione della giornata e seminario interattivo finalizzato a fornire il quadro di riferimento e a raccogliere le idee degli studenti sui principali nodi concettuali che costituivano premessa a quelli esplorati nella Masterclass; B) laboratorio didattico di esplorazione di un percorso didattico basato sulla ricerca e relativo alla specifica tematica scelta dalla scuola con utilizzo di tutorial, esperimenti esplorativi (Michelini 2010); C1) laboratorio sperimentale su almeno due esperimenti significativi per la tematica affrontata e integrati nel percorso didattico proposto; C2) attività di simulazione e/o modellizzazione al computer per costruire le basi interpretative, con utilizzo di tutorial; D) riepilogo, conclusioni e valutazione dell'attività.

Tale struttura generale è stata adattata alle caratteristiche dei percorsi didattici esplorati. Ad esempio le Masterclass sulla meccanica quantistica hanno previsto: A) una parte iniziale di 1h proposta a grande gruppo in forma di lezione dialogata sull'introduzione alla fisica moderna nella scuola e le basi dell'approccio alla Dirac alla MQ (Ghirardi et al 1997) per la scuola superiore su cui si è incentrato il resto della giornata; B) tre successive parti ciascuna di 2h, condotte a rotazione su: B1) i fondamenti concettuali e le basi del formalismo della MQ (dialogo interattivo tra docente e gruppi classe), B2) dall'introduzione operativa alla polarizzazione con esperimenti reali realizzati con polaroid e cristalli birifrangenti alla costruzione del concetto di stato in meccanica quantistica in un laboratorio di esperimenti simulati con un applet Java (laboratorio esplorativo con apparati hands-on/minds-on e simulazione Java); B3) laboratorio sperimentale sugli spettri atomici (esperimenti in laboratorio con goniometro ottico e spettroscopio).

Le Masterclass sull'ottica fisica hanno previsto: A) una parte introduttiva di 2 h sulla fenomenologia della diffrazione in diversi ambiti e la presentazione del percorso di esplorazione sperimentale sulla diffrazione ottica fisica e sulla polarizzazione della luce (Michelini 2010; Michelini Stefanel 2014); B) La discussione sulla misure da effettuare in laboratorio; C) due sessioni laboratoriali pomeridiane di 1,5 h ciascuna sull'analisi della distribuzione di intensità di luce nella diffrazione da singola fenditura acquisita con sensori on-line e lo studio della trasmittività di filtri passivi e attivi e sulla legge di Malus per la polarizzazione. Conclusione e riepilogo (1h).

Per rispondere alla numerosità delle richieste è stato necessario, da un lato più che raddoppiare le sessioni previste a livello progettuale ad esempio per la Meccanica quantistica e per l'ottica fisica,

dall'altro mettere a punto formule organizzative in cui gli studenti, suddivisi a gruppi, seguivano percorsi paralleli o a rotazione, che hanno richiesto un grande impegno di strutture e personale.

B) Laboratori didattici (CLOE): Il laboratori CLOE per le superiori sono stati strutturati con caratteristiche analoghe a quelli per le scuole di base, hanno avuto durata di 4 ore (in qualche caso solo 2 ore) e sono stati proposti sui seguenti temi: fisica quantistica, esplorazione delle proprietà magnetiche dei superconduttori, diffrazione e polarizzazione ottica, conduzione elettrica nei solidi. Si è trattato di attività più snelle di quelle previste nelle Masterclass in cui approssimativamente metà dell'attività è stata dedicata alla analisi dei concetti base dei percorsi didattici sottesi a ciascuna proposta di laboratorio e l'altra metà alla effettuazione di esperimenti in laboratorio.

C) Laboratori didattici di 8-10 ore integrati nelle attività didattiche curricolari delle classi accoglienti sulla discussione dei fondamenti concettuali della meccanica quantistica (condotti da dottorandi di ricerca nelle scuole).

D) Laboratori di esperimenti avanzati e fisica moderna. Questi laboratori sperimentali si sono potuti svolgere presso i laboratori dell'Università di Udine grazie alla disponibilità dell'ampia gamma di strumentazioni per esperimenti didattici sulla fisica moderna che l'URDF nel corso degli anni ha raccolto e in buona parte anche sviluppato su: Conduzione elettrica nei solidi; misura della resistività in funzione della temperatura di solidi; Effetto Hall; Misura della velocità della luce; misura del rapporto e/m per l'elettrone; Effetto Ramsahuer, Misura di C: Effetto fotoelettrico; Esperimento di Franck-Hertz; ottica fisica



Fig.2. Studenti impegnati nel laboratorio sperimentale

(diffrazione e polarizzazione della luce). Hanno avuto per lo più durata di 4 ore complessive, suddivise in due sessioni in cui gli studenti a rotazione hanno svolto due diverse attività sperimentali scelte tra quelle proposte. Hanno costituito un'offerta unica in quanto gli studenti hanno potuto effettuare in piccoli gruppi una serie di esperimenti, che già presi singolarmente si trovano in pochi casi nelle scuole e non fanno certo parte della tradizione della didattica della fisica a scuola e che complessivamente forniscono un ampio spaccato su esperimenti cruciali o di passaggio dalla fisica classica alla fisica moderna.

E) IPPOG Masterclass. Integrate nel progetto LacomGei, nel marzo 2015 e nel febbraio 2016 sono state organizzate due edizioni delle IPPOG Masterclass sulle particelle elementari in collaborazione con la sezione INFN di TS-UD e che hanno previsto seminari tenuti da scienziati che lavorano nel campo della fisica delle particelle, attività di laboratorio simulato di analisi dati di LHC, collegamento in rete con Ginevra e con altri studenti che hanno partecipato alle Ippog Masterclass.

2.3 Formazione insegnanti.

Diverse sono state anche le azioni per la formazione rivolte soprattutto agli insegnanti in servizio delle scuole di diversi ordini che hanno collaborato al progetto LACOMGEI. Tali azioni hanno avuto come caratteristica comune e valore aggiunto il focalizzarsi sui risultati delle più recenti ricerche in didattica della fisica a livello internazionale e in particolare sugli esiti delle ricerche condotte dai relatori. Particolarmente qualificanti, in questo senso, sono stati i 12 seminari integrati nelle diverse manifestazioni organizzate e tenuti da relatori internazionali e nazionali, in cui sono state discusse ricerche didattiche che hanno coperto un ampio spettro di tematiche (Tab. 1). Tali seminari hanno coinvolto complessivamente 250 insegnanti.

Relatore,	Titolo seminario	DATA	N
G. Planinsich, University of Lubiana (SLO)	Two different approaches to studying student learning: pre-post gains and microgenetic analysis	27/04/2015	27
E. Etkina, Rutgers, The State University of NJ (USA)	Two different approaches to studying student learning: pre-post gains and microgenetic analysis	27/04/2015	27
F. Monti, Università di Verona	Spettroscopia e micro-spettroscopia nel medio-infrarosso. Principi fisici e applicazioni in ambito tecnologico	18/05/2015	78
A. Komaromi, King St. Stephen Sec. School of Music, Budapest (HUN)	La fisica delle ricerche spaziali nella didattica secondaria- Giocare con le particelle elementari: un'esperienza didattica	26/10/2015	10
M. Cepic, University of Lubiana (SLO)	What is a role of liquid crystals in a liquid crystal displays	24/04/2015	20
G. Pospiech, TU Dresden University (GER)	How to talk about quantum physics. Central concepts and their meaning	20/04/2015	9
G. Pospiech, TU Dresden University (GER)	Modeling the interplay between mathematics and physics. Theory and examples	17/04/2015	13
S. Bergia, Università di Bologna	Le risposte attuali dei fisici dei problemi irrisolti riguardanti la gravità in chiave storica a partire dal libro "Gravità la forza che governa l'universo"	04/07/2015	5
G. P., Rossi Università di Macerata, M. Michelini, Università di Udine	Dialogo tra competenze sui modelli di trasposizionr didattica e ricostruzione educativa	05/02/2016	7
F. Corni, Università di Modena-Reggio	L'impostazione concettuale Image-Schema per l'educazione scientifica nella Scuola di Base	18/02/2016	9
A. Landini, Università di Modena-Reggio	Esempi di applicazione dell'impostazione concettuale Image-Schema ed il caso del cuore come pompa per la circolazione del sangue	18/02/2016	9
I. Ruddock, University of Strathclyde, Glasgow (UK)	Alexander Brain and the electric Clock: the real father of television	25/02/2016	36

Tabella 1. Seminari formativi di diffusione delle ricerche in didattica della fisica proposti nell'ambito del progetto LacomGEI alle scuole del territorio (N: numero insegnanti coinvolti).

A tali seminari, si sono aggiunti otto seminari formativi condotti in forma di laboratori didattici da ricercatori dell'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Udine e di altre due università italiane (Milano e Modena-Reggio Emilia) su approcci basati sulla ricerca per l'insegnamento/apprendimento nella scuola di base dell'ottica e dell'astronomia del sistema sole-terra-luna (seminari svolti nell'ambito del progetto Cosmonauti svolto in collaborazione con il circolo culturale Nuovi Orizzonti), sul ruolo della LIM per la didattica scientifica. Un convegno su "Educazione scientifica nella scuola primaria" è stato un'occasione formativa particolarmente significativa in quanto sono stati gli insegnanti stessi coinvolti nell'innovazione didattica che hanno presentato i progetti realizzati nelle scuole del territorio.

In risposta alle richieste di reti di scuole del territorio sono stati progettati e sviluppati sette corsi di formazione (5 per la scuola di base sull'insegnamento dei fluidi, dell'ottica, e dei fenomeni magnetici e 2 per la scuola superiore sulla didattica della meccanica quantistica) che hanno coinvolto complessivamente 53 docenti in servizio delle province di Udine (Udine, Aquileia, Codroipo, Faedis, Rivignano), Verona, Modena (Carpi), Trieste. Nel contesto del progetto sono stati inoltre organizzati quattro laboratori didattici per futuri docenti di scuola primaria di Udine (83) e Verona (29). Gli esiti di ricerca delle azioni di formazione insegnanti sono stati documentati altrove (Michelini, Stefanel 2015; Daffara et al. 2016; Michelini, Stefanel, Vidic 2015).

2.4 Altre azioni del progetto LacomGEI

Nell'ambito del progetto LACOMGEI, sono state organizzate e promosse diverse manifestazioni e iniziative di diffusione della cultura scientifica con le scuole e per le scuole. La principale di esse si è svolta nel periodo 13-21 novembre 2015 all'interno della quale è stata esposta la mostra GEI, sono stati attuati i laboratori CLOE per la scuola di base, sono stati offerti i seminari formativi per insegnanti in servizio e in prima formazione di cui alla tab.1. Nel periodo subito successivo (21-11-15/16-02-16) è stato proposto il ciclo di seminari "Il Tempo nella scienza e nell'arte" e dal 27 aprile al febbraio 2016 è stato proposto il ciclo di seminari sulla diffusione delle ricerche didattiche. La

mostra GEI è stata esposta a Mediaexpo nel periodo 5-6-7 novembre 2015 a Crema. In occasione degli Open-day del febbraio 2015 e 2016 è stata proposta presso l'Università di Udine agli studenti delle scuole superiori un'esposizione/laboratorio degli esperimenti del progetto MOSEM su elettromagnetismo e superconduttività (). Come attività formativa, tale esposizione/laboratorio è stata occasione formativa per selezionati gruppi di insegnanti che hanno partecipato alla manifestazione "la fisica del '900", organizzata dall'USR – FVG presso l'Università di Udine nell'ottobre 2015.

Importanti azioni del progetto sono state anche la messa a punto di prototipi sperimentale e kit didattici sulla polarizzazione ottica, sul suono, su energia e spettri ottici e i prestiti alle scuole di tali materiali e di quelli sviluppati dall'URDF in precedenti progetti di ricerca e sviluppo. Nell'ambito del progetto LACOMGEI sono stati effettuati 23 prestiti a docenti di istituti delle scuole di base della provincia di Udine e Pordenone di sezioni della mostra GEI (Ottica, Fenomeni magnetici, circuiti elettrici, Moto del sole, Fenomeni termici) e 2 prestiti dell'intera mostra all'associazione culturale Nuovi Orizzonti di Udine che ha curato due esposizioni della mostra nel periodo di svolgimento del progetto. Sono stati inoltre effettuati 6 prestiti di kit di polarizzazione a docenti di altrettante scuole della regione per attività di ottica fisica e introduzione alla meccanica quantistica.

3. Attività svolte e partecipazione

Si riportano in questa Sezione i dati relativi alla partecipazione ai diversi laboratori e visite alle mostre. Essi sono indicativi e non complessivi, perché riguardano il numero di partecipanti che ha documentato la propria presenza mediante prenotazioni o firme di presenza nei registri di presenza esposti e liberamente compilati dagli intervenuti. La totale apertura e gratuità delle attività delle manifestazioni porta a sottostimare soprattutto le visite alle mostre e le partecipazioni ad attività seminari, di presentazione progettuale ed ai corsi. Fatte salve queste considerazioni, le attività di LACOMGEI hanno coinvolto complessivamente: A) 125 scuole, di cui oltre l'85% del Friuli Venezia Giulia e le restanti di Veneto, Lombardia, Emilia Romagna, Umbria e Marche (95 della scuola di base e 30 delle scuole superiori); B) 275 docenti in servizio (183 della scuola di base e 92 delle scuole superiori) e 112 futuri docenti in prima formazione; C) 2697 studenti (1699 della scuola di base, e 998 delle scuole superiori); D) un numero di studenti, docenti e cittadini interessati che pure non hanno firmato i fogli firma e che si possono stimare in non meno di 200;

Nei seguenti sottoparagrafi si discute la partecipazione ai laboratori per la scuola di base e per le scuole superiori rispettivamente.

3.1 Partecipazione ai laboratori didattici per studenti delle scuole di base

Nell'ambito del progetto LACOMGEI, sono stati coinvolti complessivamente 1699 studenti e 123 docenti di 85 scuole delle province di Udine, Treviso e Crema (297 di scuole medie, 1262 di scuola primaria, 152 di scuola dell'infanzia).

Nell'esposizione di Udine nel novembre 2015, sono stati progettati e attuati: 27 laboratori in visita alla mostra Gei (7) o a sue sezioni (20); 51 laboratori CLOE, della durata di 1h o 2h a seconda delle esigenze delle scuole, sui temi di Ottica Geometrica, Statica dei Fluidi, Fenomeni Magnetici, Moto del Sole, Energia, Circuiti Elettrici e Logici, Suono, Tempo, Forze ed equilibrio, Elettrostatica, Fenomeni Termici e Polarizzazione. In figura 3 sono riepilogate le visite alla mostra, che hanno coinvolto 622 studenti, 35 classi di 16 scuole e 41 insegnanti che li hanno accompagnati nella visita. Con l'eccezione di due classi di scuola dell'infanzia e una classe di scuola secondaria, le restanti classi sono state di scuola primaria. Dalla risposta delle scuole si vede che le sezioni su moto del sole e sui fluidi sono state le più richieste.

I laboratori CLOE svolti a Udine sempre nel novembre 2015 sono stati complessivamente 36 sviluppati sulle tematiche indicate nel diagramma di figura 2. I laboratori CLOE a Udine hanno coinvolto 777 alunni di 41 classi di 21 scuole accompagnati da 51 insegnanti. Anche in questo caso le classi di scuola primaria hanno prevalso (30 complessivamente). Vi è stata una maggiore presenza

di classi di scuola secondaria rispetto alle visite alle mostre (10 complessivamente) e una sola presenza di scuola dell'infanzia. Le richieste di laboratori CLOE sull'ottica sono state più numerose, evidenziando l'interesse delle scuole suscitato da questa tematica.

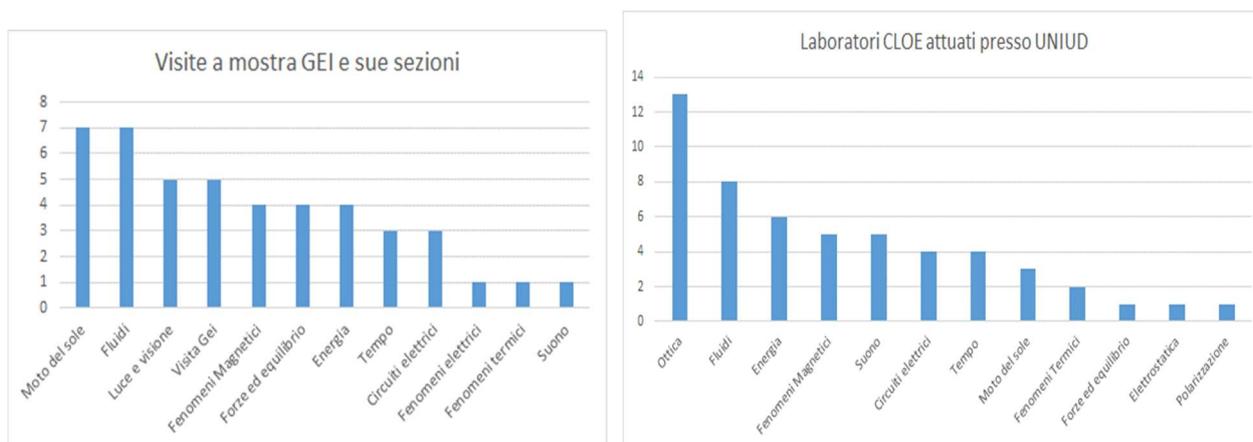


Figura 3. Riepilogo delle visite alla mostra GEI o a sue sezioni e dei laboratori CLOE attuati presso l'Università di Udine con studenti delle scuole di base.

Nell'esposizione della mostra GEI tenutasi a Crema in occasione di Mediaexpo, in cui sono stati svolti 14 laboratori CLOE, in 8 casi svolti su due temi, di cui 11 sui Fenomeni Magnetici, 11 sui Fluidi. Complessivamente sono stati coinvolti 275 studenti di 15 classi (10 di scuola primaria, 1 di scuola secondaria di primo grado e 4 di scuola dell'infanzia di 8 istituti del Cremasco).

Nell'ambito della manifestazione organizzata dal Comune di Udine "Energia in Gioco" svoltasi nel novembre 2015, è stato effettuato un laboratorio CLOE sull'energia che ha coinvolto 25 studenti di una classe di scuola primaria di Udine.

3.2 Partecipazione ai laboratori didattici per studenti delle scuole superiori

Complessivamente per gli studenti delle scuole superiori sono stati progettati e attuati un totale di 29 laboratori didattici di diversa tipologia, di cui è sintetizzata la partecipazione in Tabella 2 per i principali. La risposta delle scuole superiori alle proposte di LACOMGEI è stata ampia e ha coinvolto 998 studenti e 67 docenti di 102 classi di 25 scuole superiori delle province di UD, PN, GO, TS, TV, BL, VI, VE, TN, PG. Tutti gli studenti frequentavano una delle ultime tre classi delle scuole superiori e come era nelle attese il 65% delle scuole partecipanti sono stati Licei Scientifici e delle Scienze Applicate. La partecipazione di classi e studenti di altri tipi di scuole ITI, LC, IPSIA con il 10%, altre scuole con 5%, in modo comunque complessivamente significativo è un indicatore dell'interesse suscitato dalle azioni del progetto LACOMGEI. Sono stati complessivamente attuate 10 Masterclass sulla fisica moderna (più che triplicando l'offerta di una sola sessione per tema proposta inizialmente alle scuole), 8 Laboratori di esperimenti avanzati (LEA), 5 Laboratori Didattici (LD) e 4 Laboratori CLOE. Le Masterclass hanno coinvolto 387 studenti e 26 docenti di 23 classi di 10 scuole di cinque diverse province (2 di Udine, 2 di Gorizia, 4 di Treviso, 1 di Vicenza, 1 di Belluno). Sono state 3 Masterclass sulla meccanica quantistica, 2 sulla superconduttività, 5 sulla ottica fisica. I Laboratori Di Esperimenti Avanzati sono stati svolti in 8 sessioni sui seguenti esperimenti scelti dalle scuole tra quelli che sono stati loro proposti: Esperimenti sulla conduzione elettrica (R vs T e effetto Hall – 4 sessioni, 2 delle quali orientare a conduttori elettrici e 2 su SC); Misura c (2 sessioni); effetto Hall 2; misura e/m 2 sessioni.

I Laboratori Didattici sono stati realizzati in 5 sessioni di laboratori didattici tipo Laboratori Maturità (in vista dell'approfondimento per l'esame di stato) di cui 4 su Meccanica quantistica e 1 sulla

superconduttività e 4 sessioni di Laboratori CLOE, di esplorazione concettuale di percorso didattici sulla ottica fisica e la diffrazione.

Tipo attività		N sessioni	N Classi	N Studenti	N Docenti
Masterclass	MQ	3	25	167	9
	OT	5	15	171	13
	SC	2	13	49	4
	TOT	10	53	387	26
LD	MQ	4	7	99	6
	SC	1	2	47	2
	TOT	5	9	146	8
CLOE	OT	3	14	146	10
LEA	CE&SC	2	4	57	8
	Altri esp.	8	20	120	10
	TOT	10	24	177	18
Totale		28	177	1342	62

Tabella 2. Partecipazione alle attività laboratoriali proposte nel progetto LACOMGEI.

Oltre a tali laboratori vanno richiamate anche le oltre 40 ore di laboratorio didattico, di esperimenti avanzati, di gare e seminari formativi svolti in occasione della Scuola Estiva svolta a Udine nel luglio 2015 a cui il progetto LACOMGEI ha contribuito sinergicamente e che ha coinvolto 40 studenti selezionati tra i migliori di tutte le scuole d'Italia (Michelini, Stefanel 2017).

La preminenza delle Masterclass, attività di ampia durata e impegno, come si è detto raddoppiate per alcuni temi come Meccanica quantistica e ottica fisica, e il relativamente alto numero di laboratori di esperimenti avanzati mettono in evidenza quali siano le esigenze delle scuole e l'efficace risposta che ad esse ha dato risposta il progetto LACOMGEI.

4. Valutazione

Sono stati effettuati diversi tipi di valutazione per ciascuna delle attività proposte: A) la valutazione degli apprendimento effettuata con criteri di ricerca e basata sull'uso di tutorial, schede aperte per raccogliere risposte aperte, schizzi, brevi componimenti riepilogativi degli studenti, che da un lato è stata condivisa molto spesso con i docenti e quindi con gli studenti coinvolti e dall'altro darà luogo a esiti di ricerca in molti casi pubblicabili a livello internazionale, come è stata fatto per analoghe attività in precedenti progetti (Michelini 2010); B) la valutazione dell'andamento dell'attività effettuata come rianalisi da parte dei ricercatori e docenti coinvolti in ciascun laboratorio per individuare elementi di criticità, suggerimenti di modifica, modalità di completare il percorso nelle scuole; C) valutazioni effettuate da docenti e studenti delle diverse attività, sulla base del modello messo a punto nel PLS a livello nazionale (<http://laureescientifiche.miur.it/questionari/>) e di cui nella fig. 2 sono riepilogati gli aspetti su cui gli studenti dovevano esprimere una valutazione a 4 livelli (1-decisamente no; 2-più no che sì; 3- più sì che no; 4 – decisamente sì); D) espressione degli studenti in merito alle attività in cui si è appreso di più, quelle risultate più interessanti, quelle più motivanti per lo studio della fisica. Per quello che riguarda le attività della scuola di base sono stati effettuati solo i primi due livelli di analisi, per le scuole superiori sono stati previsti tutti i diversi livelli e se ne presentano qui alcuni esiti in merito agli ultimi due.

In fig.2 sono riportate le valutazioni sull'intero insieme di attività, sulla base del monitoraggio PLS. Le diverse voci hanno riportato valutazioni complessivamente piuttosto omogenee in media sempre superiori a 3¹, che indicano una valutazione decisamente positiva coerente con la valutazione della voce 9 di sintesi ("valeva la pena partecipare all'attività"). Fa eccezione la voce Q3 in cui gli studenti mettono in luce qualche carenza nella propria preparazione, come c'era ampiamente da

¹ Si è scelto di fornire la media aritmetica delle valutazioni assegnate dagli studenti alle diverse voci in quanto fornisce una idea della variazione nei punteggi assegnati, a differenza della mediana, indicatore medio più corretto per una valutazione a 4 livelli come quella richiesta, che è sempre pari a 3 per ogni voce e quindi non in grado di evidenziare le differenze nelle valutazioni assegnate.

aspettarsi tenuto conto che le tematiche proposte, tutte orientate sulla fisica del '900, che non sono tipicamente trattate a scuola e quasi mai sono adeguatamente approfondite.

Per una larga maggioranza degli studenti, le attività sono state decisamente interessanti (Q1-85%) e di stimolo alla riflessione teorica (Q10- 75%). Per quasi tutti gli studenti, inoltre, sono servite per comprendere meglio cosa è la fisica (88%) e, per quanto in misura inferiore, utili per le future scelte di studio (65%).

Nelle loro espressioni libere, la maggiore parte degli studenti ha messo in luce di aver apprezzato di più le parti sperimentali (41%), in 1/3 dei casi evidenziando la connessione degli esperimenti con la teoria. Le presentazioni teoriche sono state segnalate da (14%) e un'altra parte ha specificamente apprezzato il tema trattato nel laboratorio didattico, più che sue singole parti (18%).

Una migliore individuazione di quali attività gli studenti ritengono siano più proficue per il loro apprendimento emerge dall'analisi effettuata.

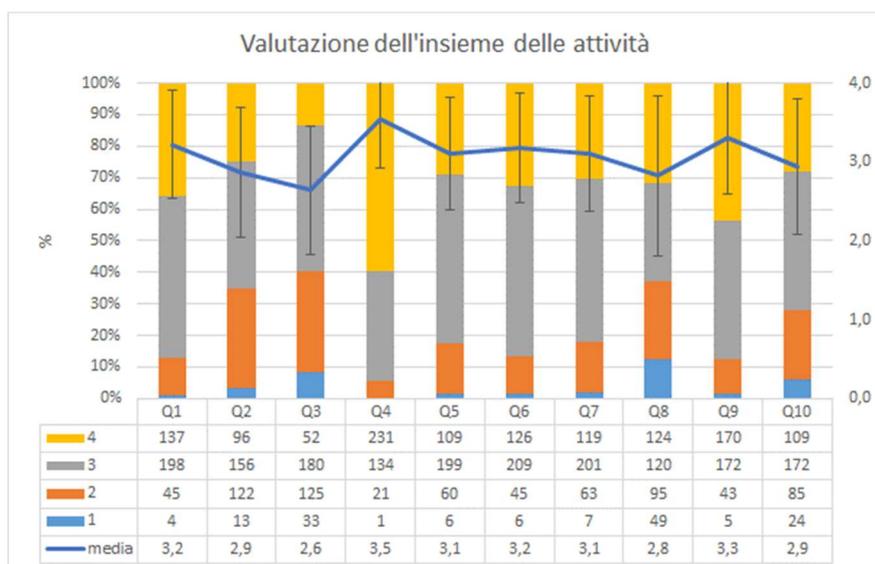


Fig. 2 Distribuzione della valutazione espressa in una scala a 4 livelli (1-decisamente no; 2-più no che si; 3- più sì che no; 4 – decisamente sì) sui seguenti aspetti: Q1. Gli argomenti dell'attività svolta sono stati interessanti? Q2. L'attività è stata impegnativa? Q3. La tua preparazione scolastica era sufficiente per seguire l'attività? Q4. I locali e l'attrezzatura a disposizione erano adeguati? Q5. I materiali scritti (schede o dispense) utilizzati per le attività erano chiari? Q6. I docenti sono stati chiari? Q7. Le attività svolte sono state utili per capire meglio cos'è la Fisica? Q8. Le attività svolte ti saranno utili nella scelta dei tuoi studi futuri? Q9. Valeva la pena di partecipare all'attività? Q10. L'attività è stata di stimolo per una riflessione/approfondimento?

Nelle Masterclass sulla meccanica quantistica, le attività in cui gli studenti ritengono di aver imparato maggiormente sono riepilogate nel diagramma di fig.3. Il laboratorio è segnalato in 1/3 dei casi (del totale di 167 studenti che ha seguito queste masterclass), con la motivazione prevalente di collegarsi alla teoria (“Teoria sempre collegata alla sperimentazione”), aspetto indicato anche come maggiormente motivante per lo studio della fisica. Il seminario interattivo in cui è stato fatto l'inquadramento iniziale della tematica è stata l'attività segnata più di frequente come prima scelta da circa ¼ degli studenti, adducendo come principali motivazioni: il tema considerato, usualmente non trattato a scuola, la chiarezza/efficacia espositiva del docente e il livello di comprensione (“Sono riuscito a capire concetti che nei libri divulgativi a volte sono spiegati superficialmente”). L'esplorazione con il simulatore è stata considerata interessante come verifica dell'approccio seguito (“il fatto di aver verificato con la simulazione”) e per la possibilità di condurre “l'analisi del comportamento dei fotoni”.

Come si vede, in questo tipo di laboratorio gli studenti hanno colto gli elementi che lo caratterizzano: la costruzione concettuale, legato a un approccio operativo alla fenomenologia, basato sull'uso di esperimenti reali e simulati.

Nelle Masterclass sull'ottica fisica, l'attività in cui gli studenti ritengono di aver imparato di più e quella più interessante è stata l'introduzione alla diffrazione condotta come laboratorio operativo interattivo. Il laboratorio sperimentale è considerata un'attività significativa per l'apprendimento, ma giudicata meno rilevante per interesse, mentre è stata considerata l'attività più motivante per lo studio della fisica (60% dei casi).

Nel caso delle Masterclass sulla superconduttività gli studenti hanno indicato come attività in cui hanno imparato di più l'esplorazione operativa della fenomenologia, perché integrata con la costruzione concettuale.

Le stesse attività sono state indicate anche come motivanti per lo studio della fisica, con particolare enfasi sulla connessione dei fenomeni esplorati e delle loro applicazioni.

Se è evidente che per gli studenti l'operatività ha sempre un ruolo preminente, si vede che tale preminenza si coniughi in genere con l'interesse per la costruzione concettuale, piuttosto che per una esplorazione fenomenologica semplicemente operativa.

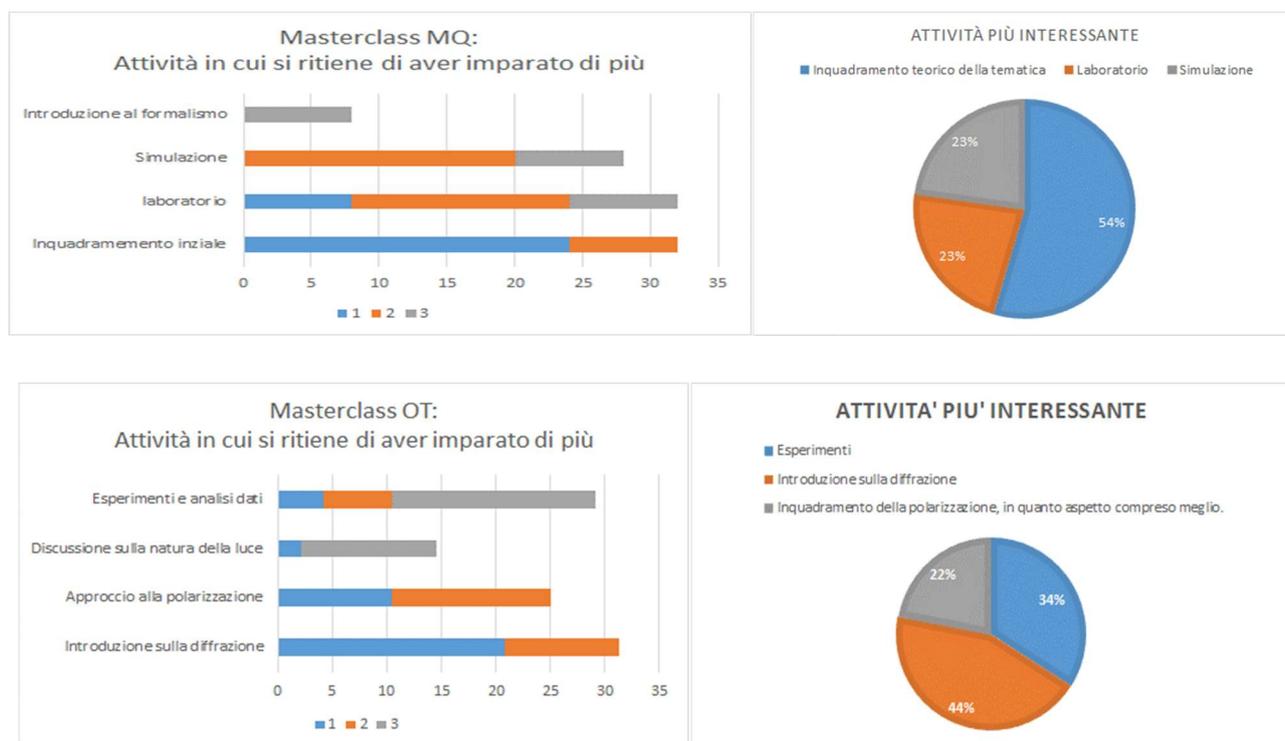


Fig. 3 Attività in cui gli studenti ritengono di aver imparato di più nelle Masterclass di meccanica quantistica e di ottica fisica.

La parallela valutazione effettuata da 29 docenti coinvolti nelle attività e che hanno restituito il questionario di valutazione è riepilogata in fig. 4. In essa si sottolinea la rilevanza attribuita dai docenti all'attività svolta per l'apprendimento dei propri studenti sia per contenuti, sia per strumenti utilizzati (non facilmente disponibili nelle scuole) e il ruolo per la propria formazione che ha avuto l'attività svolta con gli studenti. In merito agli specifici laboratori svolti si riportano alcuni elementi relativi alle attività a cui hanno partecipato più studenti, in particolare documentando come per gli studenti abbia una grande rilevanza la connessione tra gli esperimenti e la costruzione concettuale.

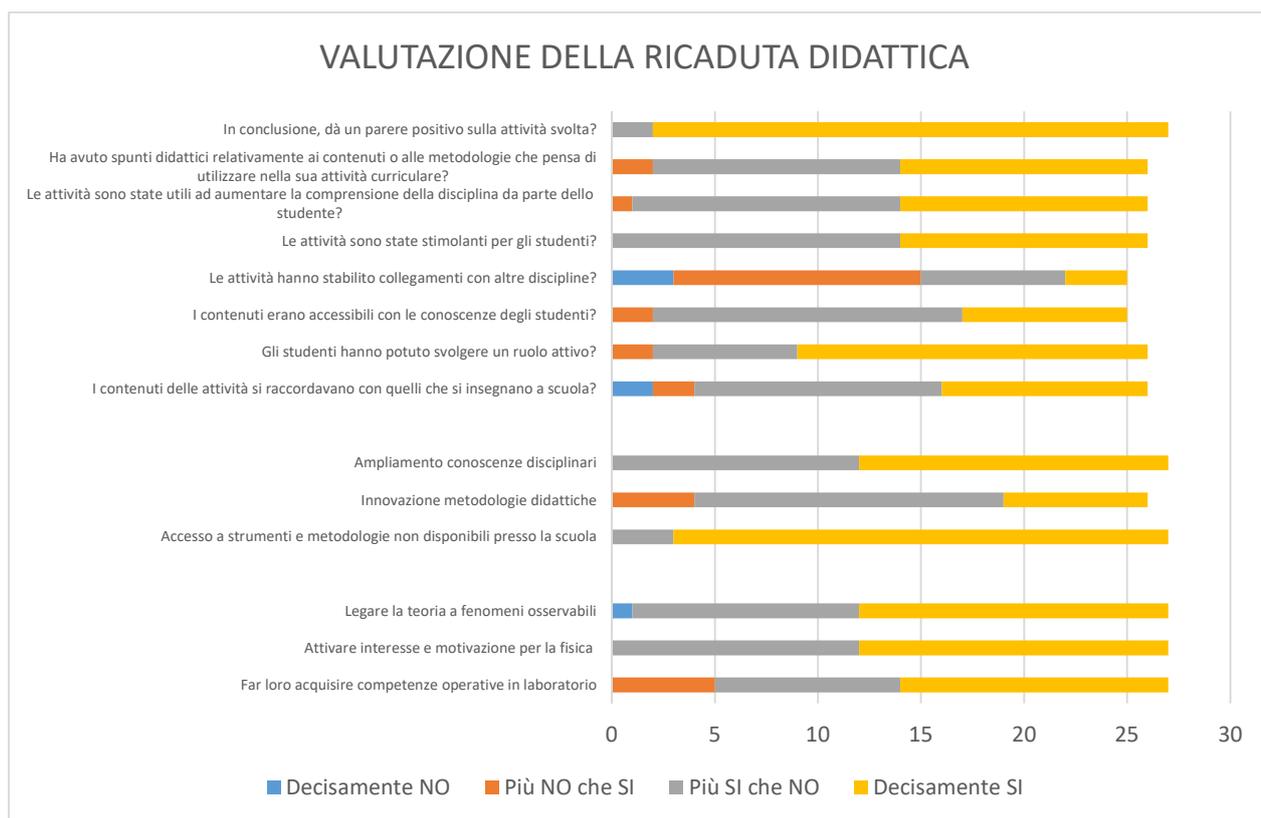


Fig. 4 Valutazione da parte dei docenti della ricaduta didattica delle attività.

5. Considerazioni conclusive

Il progetto LaCOMGEI, finanziato in base a legge diffusione cultura scientifica L. 113/1991, è stato promosso e attuato dal CIRD dell'Università degli Studi di Udine con la Unità di Ricerca in Didattica della Fisica e in collaborazione con le scuole del territorio e per le scuole del territorio.

Il progetto LACOMGEI è stato interamente progettato e realizzato per promuovere e favorire la diffusione della cultura tecnico-scientifica sul territorio, con diverse scuole, molte delle quali sono state non solo fruitrici delle opportunità offerte dal progetto, ma anche artefici o collaboratrici nell'attuazione di specifiche azioni del progetto. È infatti stato caratterizzato da una integrazione della ricerca didattica condotta a livello internazionale e la pratica scolastica. Le principali azioni sono state realizzate grazie alla coprogettazione di ricercatori universitari e docenti di scuola nell'attuazione di azioni formative incentrate su attività condotte in sede universitaria che sono state ricollegate con le attività svolte curricularmente nelle scuole, come è emerso anche dalla valutazione degli insegnanti.

Si è posta in particolare attenzione all'impiego delle nuove tecnologie, al ruolo metodologico che esse rivestono sempre di più nella ricerca in fisica moderna, come strumenti di utilizzo quotidiano e sempre più pervasivo in tutti gli ambiti lavorativi, come strumenti in grado di offrire nuove opportunità alla didattica scientifica e della fisica in particolare.

Dai dati riportati nei due paragrafi precedenti, emerge come i laboratori didattici di diversa natura, le visite alle mostre e in particolare il contesto di educazione informale della mostra GEI, le attività formative per gli insegnanti rispondono a precise esigenze delle scuole del territorio (del Friuli, come pure delle province limitrofe e oltre) in merito a una formazione scientifica centrata sul laboratorio, l'osservazione sperimentale, il coinvolgimento diretto degli studenti nella costruzione del personale percorso di apprendimento.

Tutti i livelli scolastici hanno trovato, nelle numerose proposte offerte, risposta alle proprie esigenze: occasione formativa per i docenti, piuttosto che per gli studenti, ovvero occasione per sviluppare attività di ricerca-azione nelle scuole. Diverse scuole hanno per esempio aderito con intere classi alle

Masterclass sulla fisica moderna, in quanto considerate attività di approfondimento, altre scuole hanno preferito partecipare solo ai laboratori didattici o solo ai seminari. Diverse scuole hanno partecipato alle medesime attività proposte nei due segmenti dei due anni scolastici a cavallo dei quali si è sviluppato il progetto dimostrando la validità delle proposte fatte e la loro integrazione/coerenza con i programmi sviluppati a scuola. Le proposte di Masterclass e laboratori didattici di diversa natura sulla fisica moderna sono stati un ulteriore punto di forza del progetto di nuovo in risposta ad effettive esigenze delle scuole impreparate (salvo felici, quanto rare eccezioni) ad affrontare l'insegnamento della fisica moderna, come previsto dalle indicazioni ministeriali.

Lo sviluppo di attività e progetti che sono stati possibili canali di collaborazione Scuola – Università che potranno svilupparsi anche in futuro.

Il progetto LACOMGEI è stato occasione per la progettazione e attuazione di ricerche condotte con i docenti delle scuole del territorio, basate sulla sperimentazione di metodologie didattiche laboratoriali innovative di tipo Inquiry Base Learning, che propongono sfide per l'apprendimento in attività laboratoriali di esplorazione operativa spontanea, problem solving, problem base learning, esplorazione di artefatti, per un'efficace didattica della scienza che utilizza le nuove tecnologie in modo significativo per l'apprendimento.

Dalla valutazione emerge come le attività in cui gli studenti ritengono di aver appreso di più sono quelle che prevedono operatività sperimentale diretta degli studenti per la costruzione concettuale. I positivi esiti sia valutativi, sia nell'apprendimento emersi (e che verranno documentati in prossimi lavori di ricerca) sia nella valutazione da parte di studenti e docenti, mettono in evidenza che sarebbe una grave perdita la rinuncia a queste tematiche nel curriculum. Indicano inoltre l'importanza di progetti come LACOMGEI, per attivare l'innovazione didattica, stimolare la formazione insegnanti in tale senso, creare nuovi canali e modalità di collaborazione scuola università.

Bibliografia

- Bosatta G, Michelini M, et al. (1998) *Giochi, Esperimenti, Idee (GEI): una mostra per realizzare un ponte tra lo sperimentare quotidiano e l'attività scolastica*, La Fisica nella Scuola XXXI, 1 Sup, p.28.
- Bosio, S., Capocchiani, V. Michelini, M., Scillia, M. L., Stefanel, A. (1997). Playing, experimenting, thinking. In S. Oblack, M. Hribar (eds.), *New Way of Teaching*, Ljubljana: Board of Educ. of Slo., 448-452.
- Bradamante, F., Fedele, B., Michelini, M. (2005). Children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields, in Pitntò R, Couso D (eds.), *CRESILS*, Barcellona: ESERA.
- Capocchiani V, Michelini M (2000) *Marzo Scientifico 2000: un'iniziativa per la diffusione della cultura scientifica*, NUSU, XVI, 2
- Challapalli S R C P, Fera G, Maurizio R, Michelini M, Mossenta A, Pugliese E, Santi L, Stefanel A, Vercellati S (2013) *LabGEI - Laboratori di Giochi Esperimenti Idee per costruire i concetti scientifici nella scuola di base*, La Fisica nella Scuola, XLVI, n 1 suppl., pp. 3-7
- Daffara C., Gaspar Y, Michelini M., Monti F., Stefanel A. (2015), Impostazione termodinamica ai processi termici nella formazione degli insegnanti (2015), La Fisica nella Scuola, XLIX-Sup. 2, pp. 149-156.
- Fedele, B., Michelini, M., Stefanel, A. (2005). 5-10 years old pupils explore magnetic phenomena, in Pitntò R, Couso D eds., *CRESILS*, Barcellona: ESERA publication.
- Fera G., Michelini M. (2014) I bambini esplorano operativamente la conduzione elettrica nei metalli: una proposta didattica laboratoriale, *La Fisica nella Scuola*, XLVII-Supp.n.4, pp.86-93.
- Ghirardi G C, Grassi R, Michelini M (1997) *Introduzione delle idee della fisica quantistica e il ruolo del principio di sovrapposizione lineare*, La Fisica nella Scuola, XXX, 3 Sup., Q7, p.46-57.
- Heron, P., Michelini, M., Stefanel, A. (2009) Teaching/learning the concept of energy. In C.P. Constantinou (Ed), *Phys. Curriculum Design*, <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>.
- Lumbelli L. (1996). Focusing on text comprehension. In Cornoldi C., Oakhill J. (eds.), *Reading comprehension difficulties*, Erlbaum: Mahwah, 301-330.
- Michelini M (1994) *Diffusione della cultura scientifica con la scuola. Ricerche d'avanguardia di fisica e di didattica della fisica. Università deli Studi di Udine - IV Settimana della Cultura Scientifica - relazione finale*, La Fisica nella Scuola, XXVII, 3 Suppl., p.34.
- Michelini, M. (2006) The Learning Challenge: A Bridge Between Everyday Experience and Scientific Knowledge. In G. Planinsic, A. Mohoric (eds.), *Informai Learning And Public Understanding*, Ljubljana: Girep book, 18-39.

- Michelini M (2010a) *Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena*, in *New Trends in STE*, Menabue L and Santoro G eds., CLUEB, Bologna, pp.257-274
- Michelini M ed. (2010b) *Proposte didattiche sulla fisica moderna, Strumenti per una didattica laboratoriale*, MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1]
- Michelini M (2010c) *Diffrazione: appunti a supporto dell'attività sperimentale*, in *Proposte didattiche sulla fisica moderna*, Michelini M ed., MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp.127-141
- Michelini M, Mossenta A (2007) The construction of a coherent interpretation of electrostatic interactions in the context of training teachers, *Il Nuovo Cimento*, 122 B, pp.797-812.
- Michelini M, Santi L, Stefanel A(2010a) *15 Anni Di Diffusione Della Cultura Scientifica A Udine, Frascati Physics Series*, Collana: Scienza Aperta Vol. II
- Michelini, M., Santi, L., Stefanel, A. (2010b). Thermal sensors interfaced with computer as extension of senses, *Il Nuovo Cimento*, 33 C, 3, 171-179.
- Michelini M, Santi L., Stefanel A. (2014) **Conceptual Labs for operative Exploration**, Proceedings FFP14, Marseille 15-18 July 2014, Aix arseille University (AMU), Marseille, France, E. Kajfasz, T. Masson and R. Triay (eds), http://pos.sissa.it/archive/conferences/224/232/FFP14_232.pdf
- Michelini M, Santi L., Stefanel A. (2017) SEFM2016: La Scuola Estiva di Fisica Moderna 2016 per Studenti di scuola secondaria superiore sulla Fisica Moderna, *La Fisica Nella Scuola*, in corso di stampa.
- Michelini M., Stefanel A. (1997) *Diffusione della cultura scientifica attraverso la scuola: un'esperienza come proposta*, *La Fisica nella Scuola*, XXX, 2 IR, p.48.
- Michelini M, Stefanel A (2010) *Laboratori Esplorativi e Modelli Interpretativi per l'Educazione Scientifica e Tecnologica*, in *La Fisica a Udine*, Michelini M ed., Lithostampa, Pasian di Prato (Udine), pp.171-185
- Michelini M., Stefanel A. (2014) *Proposte didattiche sulla polarizzazione ottica*, Università di Udine, Lithostampa, Pasian di Prato, [ISBN: 9788897311089]
- Michelini M., Stefanel A. (2015) Research based activities in teacher professional development on optics, *IL NUOVO CIMENTO* 38 C, 105-126.
- Michelini M, Stefanel A. (2017) Conceptual Lab of Operative Exploration (CLOE) as reaserach contexts to explore pupils reasoning in physics, In proceedings GIREP Seminar 2016, in corso di pubblicazione.
- Michelini M., Stefanel A., Vidic E. (2015) Lo sviluppo professionale dell'insegnante nel progetto Adotta Scienza ed Arte nella Scuola Primaria, *La Fisica nella Scuola*, XLIX-Sup. 2, pp. 76-80
- Michelini, M., Stefanel, A., Vidic, E. (2016). Conceptual lab of operative exploration (CLOE). Proceeding of the HSCI 2016 congress, Brno 18-22 July 2016, 157.
- Santi L, Michelini M (2009) *Costruire Con La Scuola e per la Scuola La Diffusione Della Cultura Scientifica*, in *Comunicare Fisica.07 Trieste 1/6 Ottobre 2007*, Longo F e Novacco E eds., *Frascati Physics Series Italian Collection – Scienza Aperta Volume II*, pp. 113-114
- Stefanel, A., Moschetta, C., Michelini, M. (2002). *Cognitive Labs in an informal context*, in M. Michelini, M. Cobal (eds.) *Develop. Formal Thinking in Phys.*, Udine: Forum, 276-283.
- Testa I, Michelini M (2008) Supporting global reasoning in electric circuits. In R. J. Sepic et al (Eds.), *Frontiers of Physics Education*, Rijeka: Zlatni, 77-80.