



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE

Università degli studi di Udine

SENS-FM: Scuola Estiva Nazionale per Studenti di Scuola secondaria superiore sulla Fisica Moderna 2015

Original

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/11390/1088286> since 2016-09-15T13:03:34Z

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)

Fabrizio Martinuzzi, Marisa Michelini, Lorenzo Santi, Alberto Stefanel
Unità di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Udine

SENS-FM: Scuola Estiva Nazionale per Studenti di scuola secondaria superiore sulla Fisica Moderna 2015

Introduzione

Nell'ambito dei Progetti IDIFO5 – Innovazione Didattica in Fisica e Orientamento – del Piano Lauree Scientifiche (PLS) e LacomGEI, l'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica dell'Università di Udine ha organizzato in collaborazione con diversi partner scientifici importanti, come l'INFN, il Sincrotrone, l'Università ed il Consorzio per lo sviluppo delle Scienze di Trieste ha organizzato l'ottava edizione della Scuola Estiva Nazionale per Studenti sulla Fisica Moderna SENS-FM2015.

La scuola si è svolta dal 13 al 18 luglio 2015 presso il Polo Universitario dei Rizzi di Udine. Vi hanno partecipato 41 studenti di 17-18 anni, selezionati a livello nazionale tra i quasi 300 interessati frequentanti la classe quarta di varie scuole secondarie di secondo grado.

Selezione

In risposta al bando sono pervenute 252 domande ammissibili da 19 Regioni, con una netta prevalenza di studenti di licei scientifici. La graduatoria di selezione è stata stilata sommando i punteggi attribuiti a: curriculum scolastici nelle materie scientifiche (fisica, matematica, scienze, discipline nell'ambito scientifico-tecnologico degli istituti tecnici o di altro tipo d'istituto), nello scrutinio finale dell'anno scolastico 2013/14 e in quello relativo al primo periodo dell'a.s. 2014/15, tipologia di corso di studi seguito, titoli presentati dai candidati (stage, laboratori formativi e gare di ambito scientifico) e posizione in graduatoria regionale.

Attività

Le attività della Scuola sono state progettate come ricaduta di anni di ricerca in didattica della fisica: molti dei materiali sono stati studiati e spesso validati in contesti di ricerca internazionale (Michelini 2010 a,b,c; Pospiech *et al.* 2008; Michelini, Viola 2010; Pugliese, Santi 2012).

L'impianto progettuale della Scuola Estiva SENS-FM2015 è stato sviluppato avendo come base il modello messo a punto e già sperimentato nelle precedenti edizioni. Tale modello prevede l'integrazione di diversi tipi di laboratorio: sperimentale, concettuale, multimediale e PLS. È stata attuata con uno studiato bilanciamento per garantire una formazione compiuta su un ampio spettro di contenuti fondanti della fisica moderna (Cassan *et al.* 2010; Gervasio *et al.* 2010; Michelini, Santi, Stefanel 2010 a,b,c; Michelini 2010c).

Gli elementi caratterizzanti il programma attuativo sono stati: la tipologia delle attività e l'integrazione di esplorazioni concettuali, laboratorio sperimentale a gruppi, problem solving, tutorials; i seminari formativi di alto livello; l'organicità dei percorsi didattici proposti. La ricerca didattica ha avuto un importante ruolo su diversi piani: 1) sono stati messi in campo percorsi didattici, progettati e messi a punto secondo i criteri del De-

sign Based Research (Anderson e Shattuck 2012), dopo essere stati progettati e validati da sperimentazioni di ricerca secondo la Model of Educational Reconstruction (Duit 2006); 2) i ragazzi hanno potuto utilizzare apparati per le esplorazioni e gli esperimenti che sono il frutto di studi nell'ambito della Ricerca e Sviluppo (Michelini 2014; Lijnse 1995; Beichner 2006; Wang e Hannafin 2005); 3) gli strumenti di monitoraggio utilizzati anche come materiali di lavoro dai ragazzi sono oggetto di specifici studi e messi a punto, nella prospettiva dell'Inquiry Based Learning (Abd-El-Khalick *et al.* 2004; McDermott *et al.* 2000; Michelini *et al.* 2010; Michelini, Santi Sperandeo 2002) e sono stati efficaci strumenti da cui estrarre informazioni sui processi di apprendimento degli studenti.

Durante la settimana sono state svolte le seguenti tipologie di attività:

- 1) percorsi di esplorazione attiva per mettersi in gioco analizzando fenomeni e possibili interpretazioni sui temi dell'elettromagnetismo, della meccanica quantistica, della superconduttività, della relazione massa-energia in fisica moderna;
- 2) laboratorio sperimentale a gruppi su esperimenti di avanguardia e cruciali per la fondazione delle due nuove teorie dell'ultimo secolo, come la meccanica quantistica e la relatività, con modalità in presenza e diretta conduzione delle misure a gruppi nei Laboratori di Fisica dell'Università di Udine;
- 3) laboratorio di calcolo numerico per cimentarsi nella fisica computazionale, in particolare presso l'Università di Trieste per lo studio dei sistemi caotici, nel contesto del percorso di Meccanica Quantistica per l'esplorazione delle fenomenologie della polarizzazione della luce e dello spin dell'elettrone; particolarmente significativo in questo contesto è stato il contributo dei colleghi Maria Peressi e Giorgio Pastore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste e del Centro di simulazione numerica *Democritos* dello IOM-CNR.
- 4) *problem solving*, test, sfide e gare sui concetti affrontati;
- 5) seminari su temi di avanguardia della ricerca in matematica ed in fisica, tenuti da alcuni dei più illustri esponenti della ricerca regionale, come Andrea Vacchi, che ha presentato gli studi sull'antimateria.

A tali attività si sono integrate quelle di visita alle strutture dell'Area di Ricerca e del Sincrotrone di Trieste-Basovizza, il laboratorio IOM-CNR, il Centro Internazionale di Fisica Teoria (ICTP) di Trieste in cui si è svolta la cena sociale della scuola nella forma di "Cena con gli Scienziati".

Il peso percentuale delle diverse attività è stato ripartito nel modo seguente: Laboratori didattici 32%; Laboratorio sperimentale 18%; Laboratori di calcolo e matematica 11%; Gare, preparazione, svolgimento relazioni e prove finali 16%; Seminari 8%; Visite 15%.

I laboratori hanno riguardato i seguenti temi della fisica moderna:

- A) misura della velocità della luce con il metodo dello spostamento di fase, realizzata in due postazioni grazie alla disponibilità di due attrezzature prototipali (Santi, Vercellati 2010);
- B) misura con un sistema on-line di acquisizione dati interfacciato via USB all'elaboratore della resistenza in funzione della temperatura di campioni di metalli, semiconduttori, superconduttori (Michelini, Santi 2010);
- C) misura e analisi della distribuzione di intensità in figure di diffrazione da singola fenditura (Michelini 2010d);
- D) Analisi sperimentale della legge di Malus (Stefanel 2010);
- E) misura del rapporto e/m per l'elettrone con il metodo delle bobine di Helmholtz e analisi dell'esperimento di Franck-Hertz, entrambi realizzati postazioni uniche, con apparati di tipo commerciale;
- F) misura di coefficiente Hall per conduttori e semiconduttori (Gervasio, Michelini, Santi 2010). Gli apparati di rilevazione interfacciati via USB con l'elaboratore utilizzati

negli esperimenti B), C), F) sono esito del lavoro di ricerca e sviluppo dell'URDF (Gervasio, Michellini 2009).

Ogni attività si è sviluppata come parte di un percorso organico di formazione sui principali temi della fisica moderna: uno stretto coordinamento tra tutti i docenti ha permesso di mettere a punto i materiali utilizzati, che sono la ricaduta didattica di anni di ricerca.

I percorsi laboratoriali sono stati:

PL I – “Laboratorio interattivo di elettromagnetismo: dalle proprietà del campo magnetico all'induzione elettromagnetica”, in cui si è costituito lo sfondo concettuale ed il contesto integratore su cui si sono innestate via via le diverse proposte di fisica moderna. I concetti di campo magnetico, flusso del campo magnetico e la sua variazione nel tempo sono stati costruiti operativamente con semplici esplorazioni sperimentali ed hanno costituito i referenti concettuali che gli studenti hanno potuto utilizzare per analizzare la fenomenologia dei superconduttori, proposta nelle due sessioni di laboratorio:

Sessione A – Esplorazione delle interazioni tra magneti, magneti e correnti. Il concetto di campo magnetico e di flusso del campo magnetico.

Sessione B – Dalle proprietà del campo magnetico alle leggi dell'elettromagnetismo. A partire dallo studio di situazioni di sospensioni magnetiche e dall'analisi dei processi alla base di fenomeni quali la caduta a velocità costante di un magnete all'interno di un tubo di materiale conduttore, gli studenti hanno analizzato l'effetto Meissner per riconoscere la natura diamagnetica dei superconduttori a temperature inferiori ai 77K. L'analisi qualitativa del processo di formazione delle coppie di Cooper ha permesso di attivare un ponte concettuale verso la meccanica quantistica.

PL II – Fondare la meccanica quantistica: II.A – Dalla polarizzazione ottica su scala macroscopica alle proprietà di polarizzazione dei fotoni. Preparazione di proprietà. Proprietà mutualmente esclusive ed incompatibili. II.B – La misurazione quantistica. Lo stato quantico ed il suo formalismo. II.C – Cristalli birifrangenti – sovrapposizione lineare e sua interpretazione. Il problema della traiettoria dei fotoni e l'interferenza quantistica. II.D – Lo spin come contesto per discutere le conseguenze dell'incompatibilità. Il concetto di osservabile ed il suo formalismo. Gli studenti hanno potuto esplorare i concetti fondanti della teoria quantistica nel contesto specifico della polarizzazione lineare dei fotoni e costruire il significato concettuale del formalismo quantistico di base. L'analisi del contesto dello spin, che può essere formalizzato in uno spazio di Hilbert bidimensionale come nel caso della polarizzazione, ha permesso di rendere conto in modo diretto della differenza tra spazio reale e spazio degli stati, tra proprietà vettoriali dei sistemi quantistici come lo spin e vettori di stato. Dopo aver conosciuto il significato di proprietà mutualmente esclusive ed incompatibili, il principio di indeterminazione, il concetto di stato e misurazione quantistica i ragazzi hanno potuto riguardare le basi della meccanica quantistica con lo spin, facendo analisi con simulazioni dell'esperimento di Stern e Gerlach.

Il legame tra proprietà magnetiche e di conduzione elettrica dei superconduttori, attivata dal riconoscimento del ruolo dei processi d'induzione elettromagnetica è stata studiata sperimentalmente nel *“Laboratorio Sperimentale a Gruppi”*, attraverso l'esplorazione sperimentale del breakdown della resistività nei superconduttori, integrandola con misure di coefficiente Hall. Altri contesti ed esperimenti cruciali che hanno portato al riconoscimento della natura atomica e quantizzata della materia sono stati studiati dagli studenti nel laboratorio sperimentale: Esperimento di Franck e Hertz, misura del rapporto e/m . È stata inoltre approfondita anche in laboratorio l'analisi della fenomenologia dell'ottica fisica come contesto in cui costruire un ponte verso la meccanica quantistica, attraverso l'analisi sperimentale della distribuzione dell'intensità luminosa prodotta dalla diffrazione di un fascio di luce laser da singola fenditura e della luce trasmessa da polaroid (legge di Malus).

Il raccordo tra le due principali teorie della fisica del XX secolo, la teoria quantistica e quella relativistica, è stato affrontato andando ad esplorare sperimentalmente la velocità della luce nei *Laboratori Sperimentali a Gruppi con la misura della velocità della luce, che si è turnata per tutti con le seguenti misure: misura della resistività in funzione della temperatura dei metalli, semiconduttori e superconduttori e misura del coefficiente di Hall in metalli e semiconduttori; Studio sperimentale della diffrazione ottica; Studio sperimentale della polarizzazione ottica e legge di Malus; Esperimento di Franz ed Herz; Misura del rapporto carica/massa dell'elettrone.*

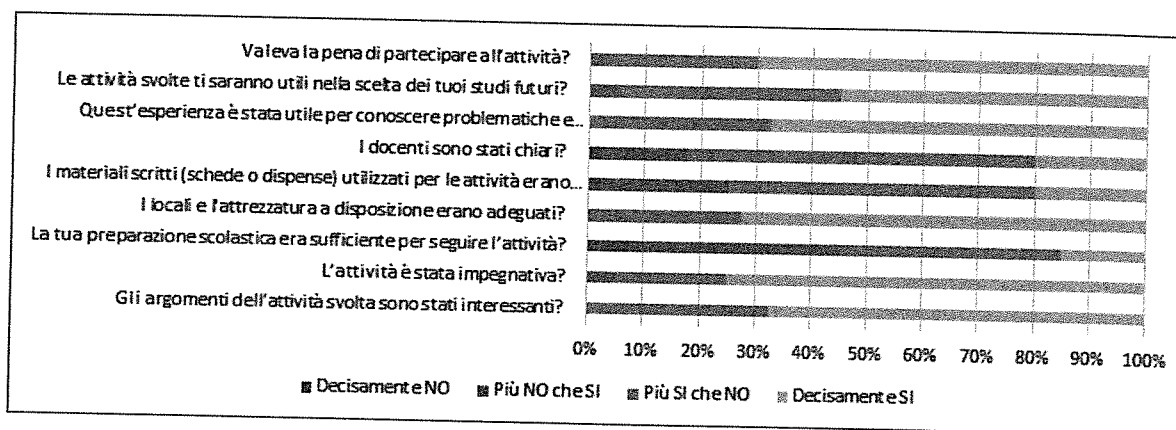
La teoria relativistica riguarda in un modo del tutto innovativo rispetto alla fisica classica e trova nell'analisi delle reazioni nucleari e dei decadimenti radioattivi un contesto privilegiato oltre che di applicazione anche e soprattutto di comprensione del concetto di massa. Un laboratorio specifico è stato dedicato al percorso concettuale "Massa-Energia" (PL III) nel suo travaglio tra fisica classica e moderna per costruire la famosa equazione $E = mc^2$. Infine nel *Laboratorio di simulazione numerica*, di Trieste gli studenti hanno potuto cimentarsi con un altro contributo della fisica del '900 "La luce nei mezzi non omogenei".



Valutazione della Scuola e considerazioni conclusive

La valutazione nella Scuola è stata fatta con modalità differenziate ed ha riguardato: gli esiti di apprendimento per ogni attività e tema, la qualità dell'offerta didattica, la modalità di lavoro, il contesto, la gestione e la percezione da parte di diversi soggetti: valutatori nazionali esterni che hanno monitorato i lavori, ricercatori in didattica della fisica, insegnanti tutor e studenti partecipanti. Questi ultimi in particolare hanno valutato la qualità della Scuola rispondendo a tre test (quello PLS standard, uno internazionale ed uno interno molto dettagliato), hanno fatto una relazione ed hanno risposto ad interviste dei valutatori esterni. Dai dati raccolti emerge che la valutazione complessiva della scuola SENS-FM è decisamente positiva quanto a interesse degli argomenti trattati, utilità per conoscere problematiche e metodologie della fisica, anche per comprendere meglio cosa sia la fisica, cosa comporti cimentarsi con essa e orientare la scelta degli studi futuri. Una valutazione complessivamente positiva è anche quella che emerge in merito a chiarezza ed efficacia dei docenti e dei materiali utilizzati. Le criticità, rilevate nella valutazione delle singole attività, hanno trovato esplicitazione nella sezione riservata all'indicazione degli aspetti critici. Essi sono in particolare legati all'eccessiva difficoltà riscontrata in alcune attività in cui in particolare è stata richiesta una maggiore concettualizzazione e formalizzazione, oppure a causa dei tempi troppo ristretti non è stato seguito un ritmo adeguato a consentire a tutti una sufficiente elaborazione dei concetti proposti. Onerosi sono stati giudicati i tutorial ed i questionari di valutazione.

Nel sito <http://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/idifo5/SENS-FM2015.html> sono disponibili informazioni più dettagliate sulla Scuola e sulla valutazione: si riporta qui solo un grafico di sintesi.



La visita ai centri di ricerca è stata molto apprezzata, per l'importante ruolo che ha avuto nel far comprendere il lavoro del ricercatore di fisica e come si opera nei centri di ricerca. Le diverse di attività proposte nella scuola hanno comunque risposto alle differenziate aspettative degli studenti e ai diversi stili di apprendimento e/o propensione verso un approccio più operativo/pratico, piuttosto che verso l'esplorazione fenomenologica, la costruzione concettuale e formale.

La diversa preparazione degli studenti ha influito in modo significativo sulla valutazione di attività propedeutiche come ad esempio quelle proposte sulla costruzione del concetto di campo magnetico e flusso, valutata da molti come banale e da alcuni come troppo complessa, per mancanza di basi.

Bibliografia

- ABD-EL-KHALICK F. *et al.* (2004), *Inquiry in science education: International perspectives*. *Science Education*, 88(3), pp. 397-419.
- ANDERSON T. e SHATTUCK J. (2012), *Design-Based Research*. American Educ. Research Association.
- BARTOLINI BUSSI M.G., MARIOTTI M.A. e FERRI F. (2005), *Semiotic mediation in primary school: Dürer's glass*. In: Hoffmann M.H.G., Lenhard J. e Seeger F. (a cura di), *Activity and sign. Grounding mathematics education*, Springer, New York.
- BEICHNER R.J. (2006), *European Journal of Engineering Education*, 31(4), pp. 383-393.
- BELL T., URHAHNE D., SCHANZE S., PLOETZNER R. (2010), "Collaborative Inquiry Learning: Models, tools, and challenges", *International Journal of Science Education*, 32(3), pp. 349-377.
- BOSIO S., Capocchiani V., MICHELINI M., VOGRIG F. (1998), "Orientare alla scienza attraverso il problem solving", *La Fisica nella Scuola*, XXXI, supp. 1, p. 122.
- CASSAN C., COLOMBO M., MICHELINI M., MOSSENTA A., SANTI L., STEFANEL A., VERCELLATI S., VIOLA R. (2010), "Scuola estiva di Fisica Moderna per studenti di scuole secondarie superiori. Udine 27-31 luglio 2009", *La Fisica nella Scuola*, XLIII, supp. 4, pp. 61-73.
- CORNI F., MICHELINI M., SANTI L., STEFANEL A. (2008), "Un modo di guardare all'educazione scientifica e un approccio di ricerca, in Approcci e proposte per l'insegnamento - apprendimento della fisica a livello preuniversitario", Guidoni P. e Levrini O. (Ed.), Forum, Udine [ISBN 978-88-8420-452-3], pp. 133-142.
- DEJONG T. (2010), In *New Trends in STE*, Clueb-Bologna.
- DUIT R. (2006), *Science Education Research Paper presented at Summer School*, Braga. 1-15, Endorf R.J. *et al.* in AAPT, Chicago, 2009.
- GERVASIO M., MICHELINI M. (2009), *A USB Probe for Resistivity versus Temperature and Hall Coefficient measurements*, MPTL14 Proceeding, CD-ROM e <http://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/idifo5/SENS-FM2015.html>.
- GERVASIO M., MICHELINI M. (2009), *Lucegrafo. A Simple USB Data Acquisition System for Diffraction Experiments*, MPTL14 Proceeding, CD-ROM e <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>.

- GERVASIO M., MICHELINI M., MOSSENTA A., SANTI L., SCIARRATTA I., STEFANEL A., VERCELLATI S., VIOLA R. (2010), "Attività di laboratorio nell'ambito della scuola estiva di fisica moderna dell'Università di Udine", *La Fisica nella Scuola*, XLIII, supp. 4, pp. 125-130.
- GERVASIO M., MICHELINI M., SANTI L. (2010), Effetto Hall, in *Strumenti per una didattica laboratoriale*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp. 193-198.
- LAWSON, P. (2009), *LivePhoto physics*, in *Physics Curriculum Design*, Constantinou C.P. (Ed.), Girep-Cyprus 2008, University of Nicosia-Girep, Nicosia.
- LIJNSE P.L. (2000), *Science Education*, 79(2), 189-199, 1995; McDermott L.C., Shaffer P.S., Constantinou C.P. *Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry*, *Physics Education*, 35(6).
- MCDERMOTT, L.C. (1998), *Students' conceptions and problem solving in mechanics*. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, Tiberghien A., Jossem E.L., Barojas J. (Eds.), I.C.P.E. Book © International Commission on Physics Education, 1997.
- MICHELINI M. (2006), In *Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, Girep-Ljubijana, pp. 18-39.
- MICHELINI M. (Ed.), (2010a), *Formazione a distanza degli insegnanti all'innovazione didattica in fisica moderna e orientamento. Contributi di una comunità di ricerca in didattica della fisica a un progetto di formazione a distanza: strategie e metodi*, MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-01-0].
- MICHELINI M. (Ed.), (2010b), *Progetto IDIFO. Fisica Moderna per la Scuola. Materiali, aspetti e proposte per l'innovazione didattica e l'orientamento*, MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-02-7].
- MICHELINI M. (Ed.), (2010c), *Proposte didattiche sulla fisica moderna, Strumenti per una didattica laboratoriale*, MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1].
- MICHELINI M. (2010d), "Diffrazione: appunti a supporto dell'attività sperimentale", in *Strumenti per una didattica laboratoriale*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp. 127-141.
- MICHELINI M., MOSSENTA A., SANTI L., STEFANEL A. (2010), "Monitoraggio e valutazione dei Workshop in presenza di IDIFO e della scuola estiva", in *Progetto IDIFO. Fisica Moderna per la Scuola. Materiali, aspetti e proposte per l'innovazione didattica e l'orientamento*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-02-7], pp. 319-339.
- MICHELINI M., SANTI L. (2010), "Misure di resistenza elettrica dei materiali, in funzione della temperatura", *Strumenti per una didattica laboratoriale*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp. 188-193.
- MICHELINI M., SANTI L., SPERANDEO R.M. (2002), "Proposte Didattiche su forze e moti", Forum, Udine.
- MICHELINI M., SANTI L., STEFANEL A. (2010a), *La prima Scuola Estiva di eccellenza per studenti di scuola secondaria superiore sulla fisica moderna a Udine*, in *La Fisica a Udine. Dedicato a Flavio Waldner*, Michelini M. (Ed.), LithoStampa, Pasian di Prato (UD), pp. 139-16.
- MICHELINI M., SANTI L., STEFANEL A. (2010b), *La Scuola estiva per studenti di scuola superiore sulla fisica moderna a Udine, Frascati Physics Series – Italian Collection*, Collana: Scienza Aperta Vol. II (2010) – Comunicare Fisica 2010, Atti 3° Convegno "Comunicare Fisica e altre Scienze", Frascati, 12-16 Aprile 2010.
- MICHELINI M., SANTI L., STEFANEL A. (2010c), *I Workshop in presenza di IDIFO e la prima Scuola Estiva Nazionale di Fisica Moderna per studenti*, in *Progetto IDIFO. Fisica Moderna per la Scuola. Materiali, aspetti e proposte per l'innovazione didattica e l'orientamento*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-02-7], pp. 287-310.
- MICHELINI M., STEFANEL A. (2004), *Avvicinarsi alla teoria della FISICA QUANTISTICA – una proposta per la didattica*, Università di Udine, LithoStampa, Pasian di Prato (UD).
- MICHELINI M., STEFANEL A. (2004), *Esplorare con gli oggetti di ogni giorno I FENOMENI ELETTROMAGNETICI*, Università di Udine, LithoStampa, Pasian di Prato (UD).
- MICHELINI M., STEFANEL A. (2006), *La polarizzazione della luce: catalogo di esperimenti*, Forum, Udine, Italy [ISBN 88-8420-381-3].
- MICHELINI M., VIOLA R. (2010), "Un percorso hand-on sulla superconduttività con gli studenti della scuola estiva di fisica moderna a Udine", *La Fisica nella Scuola*, XLIII, supp. 4, pp. 155-160.
- MICHELINI M., VIOLA R. (2011), *Research-oriented training for Italian teachers involved in European MOSEM Project*, Communications: SIF Congress 2009, *Il Nuovo Cimento*, 34(5), ANNO 2011, DOI 10.1393/ncc/i2011-10997-3, pp. 255-275.
- MOSSENTA A., STEFANEL A. (2010), *I materiali IDIFO delle attività in presenza*, in *Progetto IDIFO. Fisica moderna per la scuola*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-02-7], pp. 311-318.
- MUNSON P. (1988), "Some thoughts on problem solving", in *Problem Solving: ideas and approaches from the secondary science curriculum review*, Heaney J. e Watts D.M. (Eds.), Harlow, Longman.
- POSPIECH G., MICHELINI M., STEFANEL A., SANTI L. (2008), "Central features of quantum theory in physics education", in *Frontiers of Physics Education*, Rajka Jurdana-Sepic et al. (Eds.), selected papers in Girep-Epec book, Zlatni, Rijeka (CRO) [ISBN 978-953-55066-1-4], pp. 85-87.
- PUGLIESE E., SANTI L. (2012), "La massa dal contesto classico a quello relativistico. Una proposta di unificazione concettuale sperimentata nella scuola estiva nazionale IDIFO3 per studenti", *La Fisica nella scuola*.

- SANTI L., VERCELLATI S. (2010), "Misura della velocità della luce: metodo dello spostamento di fase", in *Proposte didattiche sulla fisica moderna, Strumenti per una didattica laboratoriale*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp. 122-126.
- SOKOLOFF, D.R., LAWSON, P.W., THORNTON, R.K. *Real Time Physics*, Wiley, New York, 2004.
- STEFANEL, L. (2010), La legge di Malus, *Strumenti per una didattica laboratoriale*, Michelini M. (Ed.), MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1], pp. 142-146.
- THORNTON R.K., SOKOLOFF D.R. (1999), "Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools", *Am. J. Phys.*, 58(9), pp. 858-867.
- VIOLA R., MICHELINI M., SANTI L., CORNI F. (2008), "The secondary school experimentation of Supercomet in Italy", in *Frontiers of Physics Education*, Rajka Jurdana-Sepic et al. (Eds.), Girep-Epec book of selected contributions, Rijeka (CRO), pp. 392-398 [ISBN 978-953-55066-1-4] pp. 190-196.
- WANG, F. e HANNAFIN, M.J. (2005), *Educational Technology Research and Development*, 53(4), pp. 5-23.
- WATTS M. (1991), *The Science of Problem Solving – A Practical Guide for Science Teachers*, Ed. Cassell Educational Limited, Londra.

