

La formazione degli insegnanti in fisica come sfida di ricerca: problematiche, modelli, pratiche

Marisa Michelini • Università degli Studi di Udine • marisa.michelini@uniud.it

Lorenzo Santi • Università degli Studi di Udine • lorenzo.santi@uniud.it

Alberto Stefanel • Università degli Studi di Udine • alberto.stefanel@uniud.it

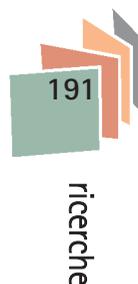
Teacher education in physics as a research challenge: problems, models, practices

Le modalità di formazione di specifiche professionalità docente sono state oggetto di numerosi studi, che si sono focalizzati su bisogni specifici sui piani didattico e disciplinare di una didattica trasmissiva. I modelli comunemente utilizzati nella formazione iniziale propongono in forma separata quelle che Shulman chiama PK (Pedagogical Knowledge) e CK (Content Knowledge), senza prevedere ambiti e modalità per la costruzione delle PCK (Pedagogical Content Knowledge). Nella nostra ricerca è stato studiato e sperimentato un modello formativo focalizzato sulla costruzione delle PCK, di competenze progettuali e di analisi dei processi di apprendimento. In questa sede se ne discutono le basi teoriche e progettuali, esemplificando nel contesto della formazione degli insegnanti primari sull'energia.

Parole chiave: professionalità docente, insegnanti primari, modelli, didattica disciplinare, fisica, energia

A number of researches on teacher professional development are available in literature. The main focus is on the teachers' needs as concern subject knowledge and pedagogical aspects in a transmissive teaching. The models used in pre-service teacher education offer as separate formative areas those Shulman called PK (Pedagogical Knowledge) and CK (Content Knowledge), without providing areas for the construction of the PCK (Pedagogical Content Knowledge). In our research has been studied and tested a formative model focused on the construction of the PCK, of design and analysis of learning processes skills. We discuss here the theoretical model and the foundation of the implemented design in the case of perspective primary teacher education on energy.

Keywords: models and implementations, teacher education, physics



La formazione degli insegnanti in fisica come sfida di ricerca: problematiche, modelli, pratiche

1. Introduzione

La professionalità docente è uno degli aspetti più importanti nell'istruzione (Elbaz, 1983): ad essa è connessa la possibilità di migliorare l'apprendimento degli studenti, di rinnovare il curriculum agito, di introdurre innovazione didattica e metodologica basata sugli esiti della ricerca (Calderhead, 1996; Borko, Putnam, 1996; Park, Oliver, 2008). Negli ultimi 20 anni pertanto vi è stato un crescente interesse della ricerca didattica per la formazione degli insegnanti (Michelini, 2004; Taşar, Çakmakçı, 2010; Cassan, Michelini, 2010).

I risultati di indagini internazionali, che hanno evidenziato preoccupanti carenze formative degli studenti in particolare in ambito scientifico (IJSE, 2011; OECD, 2007; Holbrook, Rannikmäe, 2001), hanno focalizzato l'attenzione sulla didattica scientifica. L'educazione scientifica è stata dichiarata essere un'emergenza a livello internazionale nella sfida per lo sviluppo, perché produca una cultura di base dei cittadini, superando l'idea di un suo ruolo tecnico, funzionale a specifici ambiti lavorativi. La fisica in particolare (Olsen, Prenzel, Martin, 2011) viene spesso confusa con la tecnologia, considerata e proposta nelle scuole come una disciplina deterministica e totalizzante, che ammette solo un mondo misurabile che utilizza difficili strumenti formali astratti di cui non se ne comprende l'utilità. Questa visione è legata ad una specifica didattica e viene completamente stravolta tutte le volte che i giovani si trovano davanti ad un problema vero, a una sfida intellettuale da cui risultano motivati ed in cui dimostrano grande impegno (Viennot 2008).

Il problema di una cultura scientifica dei cittadini si pone pertanto in termini culturali ampi. Si deve offrire l'occasione di capire cosa la scienza è e cosa non è, di cosa e come si occupa nel processo conoscitivo, di come individua e controlla potenzialità e limiti del proprio operato. L'educazione scientifica non può risolversi con l'informazione o il semplice racconto dei risultati di ricerca, ma deve essere sede di una meta-riflessione, in cui strumenti e metodi della scienza vengono conosciuti e ri-conosciuti (Fensham, 2001; Hestenes, 2007; Viennot, 2008; Michelini, 2010).

Si deve migliorare l'educazione scientifica con esperienze organiche su cui ragionare (non campi di esperienze isolate) e con laboratori per esplorare i fenomeni coi sensi, con la mente, con sensori e strumenti come estensione dei sensi. Si deve avviare l'educazione scientifica molto presto con insegnanti preparati sin dai primi livelli scolari (Buckberger, et al. 2000; Michelini, 2004). La preparazione degli insegnanti e del loro sviluppo professionale è un problema generalizzato, come documentano i risultati dell'indagine TIMSS (Mullis, Martin 2008): la quasi totalità degli insegnanti di ambito scientifico è vincolata ai libri di testo nella propria didattica ed oltre la metà impegna la metà del tempo nell'esposizione della "teoria" o nel fare esercizi, non molti (30%) offrono esperimenti dimostrativi e solo pochi coinvolgono attivamente i ragazzi nella conduzione di esperimenti o in esplorazioni. Il principale problema per la ricerca in didattica della fisica (PER) è quello di individuare strategie efficaci per for-



mare insegnanti professionalmente preparati a progettare la propria didattica come ambienti di apprendimento attivo.

Da un'indagine effettuata nell'ambito del progetto europeo STEPS TWO (2012), che ha coinvolto 75 università europee, è emerso che nella maggior parte dei Paesi, i programmi di formazione iniziale degli insegnanti (FII) utilizzano due principali modelli: a) sequenziale, in cui la formazione disciplinare precede una separata e generale formazione pedagogica; b) parallelo, in cui contenuti disciplinari e pedagogici generali vengono offerti in parallelo, ancora in forma disgiunta. Emerge, inoltre, che la comprensione dei contenuti disciplinari prodotta nei corsi della formazione iniziale, non è quella comprensione concettuale che i futuri insegnanti dovranno far sviluppare ai loro futuri studenti (Titulaer, 2011). Il problema della FII coinvolge piani diversi: strutture della formazione degli insegnanti e sua organizzazione; discipline, contenuti, attività e contributo della ricerca didattica; essi vengono visti con prospettive diverse da diversi soggetti (ministri /politici, facoltà/dipartimenti, reti nazionali, comunità di ricerca) (Vollmer 2003). Le risposte però a tali problematiche possono venire solo dall'integrazione tra il mondo della ricerca didattica e quello della formazione insegnanti. Sembra offrire un'importante progresso in questo contesti il modello italiano, basato su quattro aree in cui l'area dei laboratori didattici e quella del tirocinio si aggiungono e saldano quelle disciplinari e pedagogiche per realizzare nel tirocinio una formazione situata. La teorizzazione della *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) di Shulman (1986) propone conoscenze specifiche di tipo professionale in ambito disciplinare per la costruzione di competenze per l'insegnamento della fisica (Shulman, 1986; Guess-Newsome, 1999; Magnusson, et al. 1999). Nel presente lavoro si propone una riflessione che va oltre tale teorizzazione per delineare un modello di integrazione di competenze e modalità di formazione degli insegnanti, che viene qui esemplificato nel caso di un modulo formativo sull'energia progettato e sperimentato nell'ambito della formazione primaria.



2. Pedagogical Content Knowledge (PCK) e formazione degli insegnanti

La teorizzazione della PCK mira a far comprendere in che cosa consiste e come avviene la crescita della conoscenza dell'insegnante nella prospettiva della sua professionalità, caratterizzata dalla conoscenza didattica dei contenuti disciplinari, che differisce sia dalla conoscenza disciplinare, sia da quella pedagogica (Shulman, 1986). La sua discussione sulla "insegnabilità" (Pedagogical Content Knowledge - PCK) di un contenuto evidenzia la necessità di specifiche conoscenze didattiche legate alla disciplina di insegnamento. La PCK comprende le forme più utili per la didattica di analogie significative, di rappresentazioni, illustrazioni, esempi, spiegazioni e richiede la comprensione di ciò che rende facile o difficile l'apprendimento di specifici argomenti, la conoscenza delle concezioni/ preconcezioni/ misconcezioni degli studenti, della loro influenza sull'apprendimento e delle strategie fertili nella riorganizzazione della comprensione.

La riflessione di Shulman ha posto nuove domande di ricerca sulla conoscenza dell'insegnante: Quali sono il dominio, le categorie, le fonti della conoscenza dei contenuti nella mente dell'insegnante? Come sono correlate conoscenza del contenuto e conoscenza pedagogica generale? Come avviene l'apprendimento di nuova conoscenza da parte dell'insegnante e come tale conoscenza viene trasformata in contenuto che gli studenti comprendono? Quali sono le fonti di analogie, me-

tafore, esempi che un insegnante usa nella sua didattica e come impiega la sua expertise per generarle? (Shulman, 1986).

Shulman individua tre categorie principali di conoscenze dell'insegnante, la cui integrazione determina le PCK: la conoscenza dei contenuti pedagogici generali (pedagogical knowledge - PK); la conoscenza dei contenuti disciplinari (*subject matter content knowledge* - CK), che si riferisce all'estensione e organizzazione della conoscenza disciplinare nella mente dell'insegnante, come conoscenza per sé; la conoscenza curricolare (*curricular knowledge*), che comprende: programmi per l'insegnamento; di una disciplina; materiali didattici (testi scolastici, libri, articoli, esiti di ricerche, percorsi didattici); strumenti per esperimenti didattici, software; contenuti degli esami.

Tre principali sono le fonti di conoscenza per l'insegnante: A) ricerche su percorsi di insegnamento/apprendimento (I/A) e sul ruolo per la didattica di strategie di insegnamento attivo e relativi risultati nella pratica scolastica, studi sperimentali sull'efficacia dell'insegnamento; B) conoscenza generale e aneddoti su esperienze didattiche effettive; C) Conoscenza strategica, legata a padronanza di procedure, contenuti, loro organizzazione logica nel rationale di un percorso didattico; riflessione sulla propria conoscenza; competenze metacognitive per progettare attività curriculari. A tali fonti, gli insegnanti stessi contribuiscono con documentazione di casi emblematici e buone pratiche, con studi sperimentali sull'efficacia dell'insegnamento e su come avviene la trasformazione delle proprie conoscenze in contenuti, azioni, progetti per l'insegnamento.

La teorizzazione di Shulman ha dato luogo a un'ampia letteratura (Guess-Newsome, Lederman, 1999; Cassan, Michelini, 2010; Fischer et al. 2012). Gli studi sull'impatto della sua traduzione operativa in azioni formative, hanno fatto emergere l'importanza di espliciti momenti di integrazione tra contenuti disciplinari e contenuti pedagogici per la formazione alle PCK, pur senza raggiungere una condivisione sul ruolo che tale integrazione ha e come debba realizzarsi (Guess-Newsome 1999). Differenziati filoni di ricerca sulla PCK si sono orientati a studiare: diversi approcci, test e strumenti per misurare la PCK; quale PCK favorisce l'apprendimento e la motivazione; PCK-in-azione e PCK-sull'azione (componente riflessiva dell'insegnante); modelli di sviluppo delle competenze operative e strumenti per misurarle (Abell, 2007; Guess-Newsome, 1999; Rohaan, et al. 2010).

3. Nuovi modi di pensare alla formazione professionale degli insegnanti di ambito scientifico

Il *Green Paper on Teacher Education in Europe* (Buckberger, et al. 2000) sottolinea il ruolo cruciale della progettazione di appropriate situazioni di I/A in cui i futuri insegnanti possono trovare occasioni di sviluppo delle principali abilità professionali. Le principali attività formative in questa prospettiva sono: la ricostruzione didattica dei contenuti disciplinari, l'esplorazione e progettazione di situazioni di Problem Solving, l'analisi di concetti chiave su cui si incentrano tipicamente le difficoltà di apprendimento degli studenti; l'analisi dei ragionamenti degli studenti in attività di I/A.

A partire da tali indicazioni il secondo seminario internazionale del GIREP sul "Quality development of physics teachers" (Michelini, 2004), ha sottolineato tre bisogni principali: A) raccordo/collaborazione tra scuola e università; B) specifici programmi professionali per la formazione degli insegnanti; C) PER (Ricerca



didattica in fisica) integrata con la formazione degli insegnanti e la didattica scolastica. Nel contesto dei lavori per lo “Human Talent Management”, la preparazione di un insegnante di ambito scientifico è stata analizzata in termini di competenze nel suo profilo professionale, prospettiva poi adottata nel simposio del progetto Europeo STEPS TWO sulla formazione insegnanti tenutosi nella conferenza GI-REP 2010 (Michelini, Sperandeo, 2014). Esso ha delineato un quadro condiviso delle competenze che l’insegnante deve avere: abilità ad indirizzare, padroneggiare e gestire specifiche conoscenze e metodi relativi all’area di interesse; capacità di integrare diversi tipi di conoscenza e metodi in una rete flessibile; abilità a trasformare tale rete di conoscenze e metodi in una sinergica attitudine a fare/operare in concreto.

Le raccomandazioni prodotte dal progetto STEPS TWO (Titulaer, 2011) per la UE in termini di *eurobenchmarks* per la formazione degli insegnanti in fisica riguardano l’aiuto ai Dipartimenti per progettare e adattare i programmi per la formazione insegnanti, l’individuazione di standard per il Controllo di Qualità (valutazione e accreditamento), programmi supplementari per insegnanti che necessitano di ulteriori qualifiche (soprattutto in Paesi con percorsi rapidi per la FII) e linee guida per il riconoscimento della qualifica degli insegnanti nei diversi Paesi UE. STEPS TWO ha indicato che i requisiti centrali richiesti per la FII sono la natura universitaria e preferibilmente a livello di Master, basata sulla ricerca nelle tre componenti: 1) Fisica, 2) Didattica della Fisica, 3) Pedagogia applicata e aspetti sociali; ha sottolineato che essa deve comprendere attività pratiche a scuola, prevedere una tesi su attività di insegnamento effettivamente svolte. Competenze ed obiettivi centrali per l’insegnamento della fisica sono: 1. Chiarire cosa è la scienza e la fisica in particolare, promuovendo una formazione scientifica di base - *scientific literacy* - e l’interesse/la disposizione per ulteriori apprendimenti; 2. Offrire la fisica ai bambini, usando multi-rappresentazioni e creando un ponte con l’esperienza quotidiana; 3. Progettare un percorso di I/A con i relativi vincoli; 4. Sperimentare questo percorso, scegliendo ed elaborando materiali didattici, valutando la loro efficacia ed imparando dall’esperienza fatta; 5. Conoscere e avere esperienza di un ampio spettro di metodi nella didattica della fisica, compresi esperimenti didattici ed impiego differenziato di tecnologie multimediali; 6. Individuare difficoltà concettuali ed organizzare ambienti di apprendimento per il loro superamento.



4. Andando oltre Shulman: la conoscenza di base per l’insegnamento

La teorizzazione di Shulman che vede la PCK come esito dell’integrazione della conoscenza dei contenuti (CK), della conoscenza pedagogica (PK) e della conoscenza concettuale (CoK) non è di per sé sufficiente ad indicare efficaci strategie di formazione e preparazione degli insegnanti (Guess-Newsome, 1999; Michelini, 2004). In questo contesto, serve guardare ai modelli di FII, ai modi in cui attuarli, studiando il processo.

Diverse ricerche (Guess-Newsome, 1999; Michelini, 2004; Viennot et al. 2005) hanno evidenziato che una conoscenza dei contenuti (CK) e una conoscenza pedagogica di base (PK) separate determinano che la conoscenza scientifica e i ragionamenti ingenui o di senso comune co-esistono nello stesso terreno in forma spesso contraddittoria; non si produce nell’insegnante l’integrazione tra CK – PK; lo stile di insegnamento riproduce quello trasmissivo tipico della formazione universitaria, che propone una serie di risposte a questioni non poste o che lo studente non riconosce come sue; il ragionamento di senso comune è evocato come stra-

tegia per coinvolgere lo studente, ma non è usato come punto di partenza per produrre l'evoluzione del modo di pensare dello studente; non è promosso il passaggio da una prospettiva locale a una globale nei ragionamenti.

La soluzione proposta è quella di costruire le CK attraverso percorsi formativi centrati su proposte didattiche innovative basate sulla ricerca (Corni, Michelini, Stefanel 2004; Eylon, Bagno, 2006; Heron, Michelini, Stefanel, 2011). Ciò realizza la necessaria integrazione tra CK e corrispondenti PCK. Ciò però non basta per formare docenti in grado di attivare le PCK in contesti reali di insegnamento, di tradurre le competenze sui nodi disciplinari in competenze nella progettazione di azioni atte a farli.

5. Modelli per la formazione degli insegnanti

La modalità con cui si offrono i tre ambiti di conoscenza dell'insegnante (CK-Subject Matter Content Knowledge; PK-Pedagogical Knowledge; PCK-Pedagogical Content Knowledge) implicano esperienze e quindi competenze diverse. Tre sono i principali modelli di riferimento sperimentati per proposte didattiche innovative: Metaculturale, Esperienziale, Situato (Benciolini, et al., 2000; Michelini et al. 2013). Tali modelli si integrano con l'apprendimento informale acquisito nell'esperienza, nel processo di ricerca-azione dell'insegnante che sperimenta le proposte didattiche oggetto della formazione e riflette su di esse con criteri e strumenti di ricerca.

Il modello Metaculturale implica la discussione critica di elementi culturali e pedagogici di una proposta innovativa, esplicitando i contenuti, i processi che caratterizzano l'apprendimento disciplinare specifico (CK) e gli aspetti didattici (PK); in particolare si basa su *case study* di proposte didattiche, oltre che sull'analisi delle difficoltà di apprendimento correlate, che la proposta didattica oggetto della formazione mira a superare. Lascia all'insegnante la traduzione operativa della proposta nel contesto specifico, la programmazione e la preparazione di materiali didattici per lo studente e talvolta anche le scelte di strategie e metodi.

Tale modello si avvale di materiali di supporto per la progettazione e l'attuazione in classe delle proposte, che possono essere organizzati in ambienti WEB di risorse di materiali professionali per gli insegnanti. Gli ambienti GEIWEB per la scuola di base (Bosio, et al. 1999; Pugliese, Michelini, 2001) e SECIF per la scuola superiore (Michelini, Meneghin, et al. 2002; Cobal, et al. 2002) da noi prodotti a tale scopo (fig. 1) mette a disposizione degli insegnanti esempi di esperimenti, percorsi didattici, esiti di ricerche sull'apprendimento basate su tali percorsi e rassegne di ricerche documentate in letteratura, materiali per la valutazione, applet per la modellizzazione e simulazione; documentazione di sperimentazioni didattiche su innovazioni nell'I/A. Il sito dell'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica (URDF 2000, www.fisica.uniud.it/URDF) costituisce un portale di ambienti, materiali e risorse di questo tipo per la formazione degli insegnanti.





Fig. 1 - Home page di GEIWEB e dell'ambiente SECIF per la formazione insegnanti (URDF, 2000)

I risultati di ricerca hanno mostrato che una formazione basata solo sul modello Metaculturale, seppure offrendo materiali di ricerca e studiati per supportare gli insegnanti nella formazione e nella progettazione didattica, non è sufficiente. I percorsi didattici progettati dagli insegnanti sono spesso poco organici, traducono le proposte innovative con lacune in punti cruciali, la coerenza dei ragionamenti e lo sviluppo della comprensione concettuale non sono focalizzati, lo stile di insegnamento è centrato sull'insegnante anche nell'attuazione dell'innovazione (Guess-Newsome, 1999; Michelini, 2004; Viennot, et al. 2005).

Il modello Esperienziale traduce operativamente in vissuto dell'insegnante strategia e metodi didattici proposti: l'insegnante ha personale, diretta esperienza dei percorsi concettuali che saranno proposti ai loro studenti. Mediante i materiali didattici preparati per gli studenti, l'insegnante in formazione fa la stessa attività che sarà poi proposta agli studenti, riflettendo sui singoli passi in cui essa si sviluppa, valutandone le valenze didattiche e i limiti, individuando i nodi risolti e quelli aperti (McDermott et al. 2000; Marucci, et al. 2001; Michelini, Santi, Sperandeo 2002; Sokoloff, et al. 2004). La costruzione delle competenze didattiche sui contenuti diventa in tale modello parte della formazione alle PCK in quanto la riflessione sul processo formativo attivata dai tutorial si incentra sui nodi concettuali dello specifico contenuto disciplinare.

La metodologia *Inquiry Based Learning* (IBL) e la strategia PEC indirizzano alla progettazione dei tutorial su cui si basa la formazione in tale modello. Esse prevedono domande stimolo per: P – Fare previsioni su uno specifico fenomeno; E – Effettuare l'esperimento/esplorazione; C - Confronto (Thornton, Sokoloff, 1999; Theodorakakos, et al. 2010; Michelini, Santi, Sperandeo, 2002). Attraverso esplorazioni individuali o a piccolo gruppo e con dialoghi di tipo rogersiano (Lumbelli 1996) si trovano: regole descrittive contingenti; regole generali con condizioni ("quando faccio...allora osservo..."); interpretazioni locali, globali, causali.

Nelle nostre ricerche, come *strumento* di monitoraggio di tale processo sono state progettate e messe a punto schede esplorative interrogative (Exploring, Inquiring, Cards – EIC) (Bosio et al. 1997) di tre tipologie: A) implementa in forma aperta le domande che attivano il ciclo PEC in merito a una specifica situazione/problema; B) Propone l'analisi di una prima situazione che funge da ancora cognitiva, un nuovo scenario ponte attiva la costruzione di una conclusione più ricca di quella raggiunta nel primo caso; C) Rappresentazione di un grafico acquisito con sensori collegati in linea con l'elaboratore e osservati in tempo reale; descrizione del grafico osservato; spiegazione del grafico osservato (Bosio et al., 1997; Stefanel et al., 2002; Michelini 2006, 2010). Il laboratorio in tempo reale si è



dimostrato un'efficace modalità formativa per insegnanti sulla fisica di base sia nella scuola primaria sia in quella secondaria nell'analisi del moto con sensori online o nell'analisi delle interazioni termiche con sensori di temperatura (Aiello et al 1997; Corni et al. 2004; 2005). Per completare in modalità *blended* la formazione, sono stati progettati *Learning Object* in rete per una rianalisi degli esperimenti effettuati in aula (Bochicchio et al., 2005).

Nel modello Esperienziale, il docente viene coinvolto nell'andare a fondo sui nodi concettuali su cui si incentra la proposta oggetto della formazione, sulla riflessione in merito alla valenza didattica del singolo passaggio, della singola attività, del singolo esperimento. Il rischio è che perda di vista la coerenza complessiva del percorso didattico e gli obiettivi primari a cui esso mira, focalizzandosi invece su obiettivi secondari o puntuali. L'integrazione di modalità Esperienziali con attività Metaculturali recupera la visione globale e porta a un valore aggiunto nella formazione.

Il modello Situato dà risposta al bisogno di competenza nel saper attivare le PCK in situazioni didattiche reali sia nella pratica didattica con gli studenti, sia nelle fasi di progettazione di un percorso didattico e messa a punto per la sua implementazione e in quelle di monitoraggio e valutazione, oltre che di documentazione. Prevede attività di progettazione per contesti specifici e la relativa implementazione. L'apprendimento dell'insegnante avviene attraverso la riflessione sull'esperienza di lavoro in classe e produce crescita della professionalità per un'innovazione che emerge dalle necessità didattiche.

Come attività di ricerca-azione una formazione Situata recupera gli apprendimenti informali dell'insegnante maturati nell'esperienza.

Nelle nostre ricerche di formazione insegnanti, la formazione situata si realizza con modalità differenziate in laboratori concettuali (CLOE), in attività laboratoriali strutturate, in attività di tirocinio nelle classi con modalità sempre integrate con attività Metaculturali ed Esperienziali (Michelini 2004). I laboratori concettuali CLOE sono contesti di ricerca sui processi di apprendimento che diventano momento formativo per i docenti in formazione, che effettuano un'osservazione strutturata dell'attività con gli studenti condotta da un ricercatore, acquisendo competenza a loro volta nel saper condurre un'attività analoga con un altro gruppo di studenti, avendo avuto esperienza diretta delle domande, e risposte tipiche degli studenti e dei loro percorsi concettuali (Stefanel, et al 2002; Bradamente, Fedele, Michelini, 2005; Michelini, 2006).

I problemi di ricerca sui processi di apprendimento che sono stati esplorati nei CLOE sono: ruolo dell'operatività (pratica e concettuale) e del coinvolgimento personale nell'esplorazione di fenomeni, ragionamenti tipici nell'interpretazione di fenomeni attivati dall'operatività, piani di formalizzazione nell'analisi dei fenomeni (descrittivo, interpretativo, modelli usati nelle diverse situazioni). I risultati di tali ricerche mettono in luce ragionamenti di senso comune da cui emerge che ogni osservazione di un fenomeno attiva un'idea interpretativa (esplicita o implicita) (Michelini, 2006; 2010). Ciascuno di noi nel leggere la fenomenologia fa ragionamenti di senso comune, che originano da: elementi percettivi ed evidenze sperimentali contingenti (sensazione termica, meccanismo della visione), ambiguità del linguaggio (avere forza), modelli interpretativi storici superati ed entrati nella nostra cultura (calore). Il relativo livello di coerenza ne determina la resistenza; la conoscenza scolastica e i ragionamenti naturali spesso co-esistono nello stesso territorio. Dalle ricerche in didattica scientifica emerge che vi sono angoli strategici dai quali la conoscenza di senso comune interpreta la fenomenologia (Viennot, 2008); essi spesso non coincidono con la struttura ortodossa della disciplina: è



perciò necessario trovare ponti per raggiungere la visione scientifica e chiavi interpretative, che emergano in termini operativi per un grande numero di contesti fenomenologici (Michelini, 2010). La capacità di leggere ed interpretare un processo dipende dalla costruzione di un modello interpretativo globale (Duit, 2009; Viennot, 2008; Michelini, 2006; 2010). Raggiungere il livello scientifico richiede il superamento di ostacoli di varia natura per raccordare i modelli di senso comune con quelli scientifici (Vosniadou, 2004). Il pensiero formale deve crescere con le idee e le ipotesi interpretative, attivandosi in modo funzionale ai bisogni con capacità operative in diversi contesti (Michelini, 2010).

Nella nostra ricerca sui processi di apprendimento si esplorano gli ostacoli da superare per raggiungere il livello scientifico di comprensione e la costruzione del pensiero formale (Michelini, Sperandio 2011). Si pone attenzione alla logica interna dei ragionamenti, ai modelli mentali spontanei, alla loro evoluzione dinamica a seguito di stimoli problematici (*inquiry learning*) in proposte di percorsi. Sperimentazioni di ricerca permettono di esplorare in modo operativo il contributo per l'apprendimento di proposte didattiche (Bradamante, Fedele, Michelini, 2005; Heron, Michelini, Stefanel, 2008; Colonnese, et al. 2012).

6. RIMPEC – Un modello di formazione in fisica degli insegnanti basata sulla ricerca



Il nostro riferimento teorico per la ricerca didattica è il Model of Educational Reconstruction (MER) (Duit, et. al. 2005; Duit, 2008). La struttura del MER prevede un bilanciato contributo dei seguenti elementi: A) Analisi della struttura dei contenuti attraverso la A1. Chiarificazione disciplinare che richiede l'analisi di libri di testo e pubblicazioni, dello sviluppo storico delle idee, delle concezioni e idee spontanee dei ragazzi; A2. Analisi della significatività educativa; B. Ricerca empirica sui percorsi di I/A; C. Sviluppo di materiali e attività di ricerca, proposte di I/A con nuovi metodi.

L'integrazione da noi proposta dei modelli Metaculturale, Esperienziale e Situato per attuare una formazione degli insegnanti efficace sulle PCK si colloca in questo contesto ed implica la fondazione sulla Ricerca della Integrazione dei Modelli qui presentati per la didattica della fisica (Physics Education) in termini di Competenze (Research based Integrated Model for professional Competences in Physics Education - RIMPEC) Nel RIMPEC la costruzione della CK viene attivata attraverso la riflessione sulla disciplina nella prospettiva della MER, sul vissuto dei propri nodi concettuali irrisolti nelle attività esperienziali, sui nodi concettuali degli studenti nell'apprendimento nelle attività situate. Attraverso ciò si sviluppano le PCK-in-azione e le PCK-sull'azione, con sperimentazioni di proposte di I/A basate su *microstep* concettuali in cui l'insegnante, oltre ad avere esperienza dell'interazione con gli studenti, forma le sue competenze nella pianificazione didattica e apprende le metodologie di monitoraggio e analisi dei dati di ricerca sull'apprendimento, integrando ricerca curricolare (Constantinou, 2010) e ricerca empirica (Niedderer, 2010).

Requisiti irrinunciabili del curriculum RIMPEC appaiono essere: l'offerta di una conoscenza concettuale disciplinare (CoK - integrando MER e PCK), la gestione di strumenti didattici, l'attenzione ai processi d'apprendimento, l'integrazione della ricerca didattica nella formazione. Il contributo multidimensionale della ricerca in didattica della fisica alla formazione degli insegnanti comprende:

l'analisi dei ruoli di ciascun modello per la formazione di competenze professionali; la progettazione e produzione di risorse su: 1) nodi concettuali e difficoltà (*Empirical Research*), 2) proposte di I/A (*Design Based Research*), 3) analisi dati di apprendimento (*Empirical research*), 4) progettazione (integrando *Design Based Reserach* ed *Empirical research*), 5) individuazione, messa a punto e validazione di strumenti e metodi, rubriche, test, schede tutoriali (*Fischer et al.2005. Constantinou 2010*).

La struttura del RIMPEC per la formazione degli insegnanti, schematizzato in fig. 2, deve prevedere l'integrazione dei seguenti elementi: a) concettualizzazione di contenuti disciplinari basata sulla discussione di singoli concetti, di proposte didattiche, di difficoltà di apprendimento e di processi di apprendimento relativi allo specifico argomento considerato; b) analisi di proposte didattiche per creare sensibilità e risonanza alla progettazione coerente centrata sugli apprendimenti dei ragazzi; c) integrazione di modelli formativi Metaculturale, Esperienziale e Situato come modalità di sviluppo di competenze pedagogiche dei contenuti (PCK).

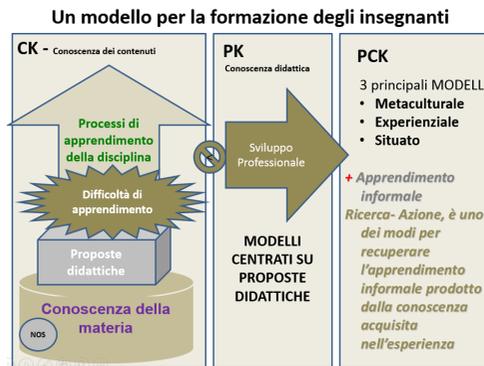


Fig. 2 - Struttura del modello RIMPEC da noi sviluppato per lo sviluppo di competenze pedagogiche dei contenuti di fisica (PCK).

Nell'ambito del RIMPED sono stati sviluppati questionari PCK, differenziati per tematica e per livello scolastico, che sostengono e consolidano lo sviluppo delle competenze professionali dell'insegnante su specifici nodi concettuali (Heron, et al., 2011; Michelini, Santi, Stefanel, 2014; Michelini, Stefanel, 2014; Michelini, Mossenta, 2014; Michelini, Viola, 2009). Essi sono costruiti selezionando situazioni e problemi di apprendimento nella letteratura di ricerca didattica e sono strutturati in due parti: CK, in cui l'insegnante in formazione esplora le proprie idee sul problema e PCK, in cui è richiesta la riflessione sui possibili ragionamenti coinvolti nelle risposte di studenti e l'individuazione di modalità di intervento. Vengono utilizzati anche per una valutazione formativa degli insegnanti in formazione per esplorare come gli insegnanti discutono le tipiche risposte degli studenti sullo stesso quesito che era stato posto loro nella parte CK.

7. Un caso di applicazione del modello RIMPEC per la formazione degli insegnanti primari sull'energia

Il modello formativo RIMPEC di cui si sono delineate le caratteristiche principali, è stato tradotto operativamente in Moduli di Intervento Formativo (MIF) su diversi ambiti tematici. Qui si sintetizza lo schema del MIF sull'energia sperimentato con 332 studenti del corso di laurea in Scienze della Formazione Primaria presso l'Università di Udine, negli ultimi anni accademici. Esso è l'esito di ricerche condotte dal 2008 sulla didattica dell'energia nella scuola primaria (Heron et al., 2011), approfondite nell'ambito del gruppo tematico sull'energia del GIREP (Heron, Michellini, 2014).

In Tabella 1 è schematizzato il MIF che si articola in due parti principali, più una terza parte progettuale e di valutazione. Nella prima parte (parte CK) è stata proposta una discussione disciplinare sul concetto di energia a partire da un'impostazione classica basata sulla conservazione dell'energia meccanica a partire dal concetto di lavoro. Nella seconda parte (laboratoriale PCK) si sono integrate: a) l'analisi della proposta HMS sull'energia con impostazione profondamente diversa e basata sulla ricerca (Heron, et al. 2008; 2009), b) la discussione di proposte didattiche di impostazione differenziata al concetto di energia e c) l'analisi dei principali nodi concettuali dalla letteratura (Millar, 2005).



La struttura del MIF sull'energia per la formazione iniziale degli insegnanti di scuola primaria			
Parte I	Approccio al concetto di energia a partire dal concetto di lavoro	M	
	Questionario CK-PCK (I somministrazione)		E
Parte II	Fase A - (0,5 h) - Individuale con tutorial (S1) in cui: <ol style="list-style-type: none"> 1. Elencare i concetti ritenuti più importanti sull'energia 2. Individua le questioni ritenute critiche rispetto ai concetti da apprendere 3. Motivare 		E
Laboratorio didattico	Fase B - (1 h) Esplorazione delle attività del percorso HMS e discussione a grande gruppo delle scelte a confronto con altri percorsi didattici. Fase C Revisione dei punti 1-2 del tutorial (S1) usato nella fase A Fase D (0,5 h con fase C) Discussione in gruppo e costruzione di risposte condivise sui punti 1-3 del tutorial S1 di Fase A	M	E E E
Parte III	Questionario CK-PCK (II somministrazione) (1 h)		E
	Progettazione di interventi didattici curricolari sull'energia (lavoro individuale)		S
	Esame: Questionario scritto (include il Questionario CK-PCK (III somministrazione)) e progettazione didattica		E

Tab. - 1 Struttura del MIF sull'energia per la formazione primaria basato sul Modello RIMPEC. Per ciascuna delle tre parti in cui si articola sono specificate le fasi di lavoro, il compito previsto per gli studenti, la tipologia di attività svolta (M: Metaculturale; E: Esperienziale; S: Situa).

La discussione del percorso didattico basato sulla ricerca HMS sul concetto di energia (Heron et al.2008, 2009) è stata ponte di raccordo tra la prima parte del MIF, dedicata alla formazione sulla conoscenza dei contenuti dell'insegnante (Parte CK), e la seconda parte, focalizzata sulla costruzione delle PCK. Il percorso HMS prevede un ruolo attivo dei bambini, in cui idee e riflessioni si sviluppano in un contesto di gioco nella esplorazione di fenomeni e processi che i bambini realizzano con giocattoli, materiali a basso costo, di facile reperibilità, familiari,

coinvolgenti. Schede tutorial che attivano una strategia PEC (Thornton, Sokoloff, 1999; Theodorakakos et al., 2010) e un approccio *inquiry based learning* (McDermott et al., 2000) sono utilizzate come strumento di lavoro coi bambini e strumento di monitoraggio dei loro percorsi di apprendimento. Principali obiettivi concettuali per i bambini e quindi anche per gli insegnanti in formazione sono: 1) l'energia si presenta in differenti tipi (cinetica, potenziale, interna, associata alla radiazione (luce)) [...non forme, come l'eolica, l'idroelettrica legate ai metodi di produzione dell'energia elettrica]; 2) l'energia è una proprietà di stato di un sistema [non una sostanza ... una benzina universale]; 3) quando i sistemi interagiscono si hanno trasformazioni di energia; 4) trasformazioni di energia mi denominano le forme che si esplorano nei processi quotidiani e qualche esempio di produzione dell'energia su larga scala; 5) è semplice misurare la variazione di qualche tipo di energia (mediante variazioni di altezza, di temperatura); 6) nelle trasformazioni l'energia cambia di forma o di tipo, ma ne ho sempre in totale la stessa quantità "conservazione dell'energia" come presupposto qualitativo; ; 7) ci sono differenti forme dell'energia interna.

Il questionario PCK sull'energia è stato strutturato in due parti (Tabella 2): A – in cui si raccolgono i modi con cui gli insegnanti in formazione discutono espressioni come conservare, trasformare, perdere energia passando dal significato quotidiano a quello scientifico; B – in cui si propongono tipiche situazioni (simulazioni di situazioni didattiche), che riguardano nodi concettuali sull'energia individuati in letteratura di ricerca (Millar, 2005).



Tabella 2 - Questionario PCK	
Quesiti della Parte A	Esempio di quesito della Parte B
Q1. Che cosa sai sull'energia?	In un'intervista in classe viene posta la domanda: "Esistono corpi che hanno energia?".
Q2. Ci sono cose che FANNO energia?	Tre bambini rispondono come segue:
Q3. Ci sono cose che HANNO energia?	Giuseppe: "l'energia non è posseduta dai corpi, ma viene solo sviluppata nell'istante in cui viene prodotta come nello scoppio di una bomba"
Q4. L'energia si conserva? Spiega la risposta, precisando cosa vuol dire CONSERVARSI o non conservarsi.	Davide: "l'energia è posseduta da alcuni corpi come i combustibili, le stufe, i radiatori, il sole, l'acqua di un fiume"
Q5. L'energia si trasforma? Spiega e fai 2 esempi	Sara: "l'energia è posseduta dai corpi quando si muovono oppure quando fanno qualche cosa".
Q6. L'energia si perde? Spiega e fai due esempi	1. Quali sono i nodi problematici che ciascuna delle risposte mette in campo?
Q7. Quali tipi di energia conosci?	2. Quali attività si possono proporre ai bambini per affrontare ciascuno dei nodi individuati?
Q8. L'energia si trasferisce? Spiega e fai 2 esempi	
Q9. Illustra tre esempi di trasformazioni di energia	

Tabella 2 - Questionario PCK

Si possono sintetizzare alcuni principali risultati del MIF sull'energia relativi a 113 studenti dell'AA 2010-11, rimandando ad altri lavori per approfondimenti (Heron et al., 2011; Michellini, Santi, Stefanel, 2014). Il questionario è stato somministrato in tre fasi; i criteri per identificare l'energia del quesito Q1 sono soltanto 1-2 per il 90 % delle risposte e 3 per il 10% delle risposte nella prima somministrazione; tali criteri diventano nella seconda somministrazione 1-2 criteri per il 40 %, 3-4 per il 60%; nell'esame finale 2 criteri per il 20%, 3-4 per l'80%.

In fig. 3 Sono riportate le distribuzioni delle categorie (non esclusive) di risposta in cui si evidenzia la progressiva modifica nel modo di identificare l'energia: da grandezza che si produce ed è presente nelle diverse forme che fanno riferimento ai diversi modi di produrre energia elettrica, all'energia come grandezza posseduta dai corpi (anche fermi), che si trasforma e si conserva ed è presente in

4 tipi (cinetica, potenziale, interna e della radiazione). Analoga evoluzione sul concetto di energia si può riscontrare per quello che riguarda gli altri quesiti della parte A (Michelini, Santi, Stefanel, 2014). Dall'analisi dei quesiti PCK della parte B emerge che, il 78% degli studenti ha costruito personali coerenti significati dei concetti di trasformazione, conservazione, trasferimento, perdita di energia. L'82% ha sviluppato competenze didattiche in merito alla conoscenza delle idee dei bambini sui nodi concettuali dell'energia, ai correlati problemi di apprendimento ed agli approcci didattici operativo/esplorativi per affrontarli. Tali approcci si trovano anche nell'75% dei progetti didattici consegnati per la prova d'esame.

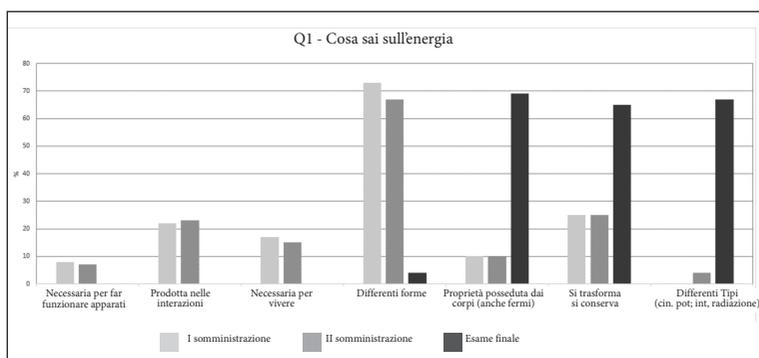


Fig. 3 Distribuzione delle categorie di identificazione dell'energia nelle tre somministrazioni: all'inizio e alla fine della II parte del MIF, nell'esame finale.



Le elaborazioni realizzate in gruppo al termine della parte II del MIF, sono decisamente più ricche e coerenti di quelle proposte dai singoli componenti (75%). Il lavoro di gruppo ha favorito il raggiungimento di una visione globale coerente sul concetto di energia e sui modi di affrontarlo con i bambini.

Considerazioni conclusive

Lo sviluppo professionale degli insegnanti specialmente in ambito scientifico è ancora oggi il nodo cruciale da risolvere per migliorare l'apprendimento/insegnamento scientifico, favorire lo sviluppo di una cultura scientifica integrata con le altre dimensioni della cultura dei cittadini, che dia strumenti di interpretazione delle fenomenologie quotidiana, che produca le basi per la costruzione di competenze specifiche, come pure capacità di lettura delle problematiche sociali sulle quali saremo sempre di più richiesti di intervenire con scelte responsabili e competenti.

La professionalità docente, centrale nel processo formativo, è stata oggetto di studi, che hanno evidenziato, per l'ambito scientifico in sistemi d'istruzione diversi, l'adozione prevalente di insegnamenti disgiunti e di carattere generale su contenuti di tipo pedagogico e di tipo disciplinare. Nella prospettiva della teorizzazione di Shulman sulla Pedagogical Content Knowledge (PCK) le conoscenze che l'insegnante deve acquisire riguardano anche lo specifico professionale dei modi in cui l'azione didattica si espleta in relazione ai contenuti disciplinari, ivi compresi casi di studio.

I risultati dei nostri studi evidenziano che lo sviluppo delle specifiche compe-

tenze professionali degli insegnanti richiede le conoscenze indicate da Shulman, ma non può essere lasciato al lavoro individuale dell'insegnante l'integrazione di contenuti appresi nei diversi ambiti: sono necessarie specifiche attività e modalità. Quella comprensione concettuale dell'insegnante, che attiva nei ragazzi il pensiero critico, l'esplicitazione e l'evoluzione di idee interpretative e lo sviluppo del pensiero formale, richiede l'analisi di percorsi didattici, di nuclei fondanti e nodi di apprendimento specifici.

In tale prospettiva abbiamo studiato e sperimentato un modello (RIMPEC) basato sulla ricerca per la formazione degli insegnanti in fisica finalizzato alla costruzione di competenze progettuali e di analisi dei processi di apprendimento. Esso integra modalità di formazione Metaculturali, Esperienziali e Situate. Si focalizza sull'analisi di percorsi didattici per la ricostruzione a scopo didattico delle conoscenze sui contenuti e per lo sviluppo di quadri coerenti in cui essi costituiscono proposte di apprendimento in contesti didattici. Offre una prospettiva a sviluppo verticale dei contenuti affrontati a partire dagli angoli di attacco spontanei di cui apprende in modalità esplorativa e problematizzante (strategia PEC) e cura la costruzione di un linguaggio non ambiguo basato sul riconoscimento del significato scientifico di termini e locuzioni del linguaggio quotidiano per una descrizione coerente di ambiti fenomenici sempre più vasti e la loro interpretazione sin dalla scuola primaria.

Tale modello RIMPEC è stato qui esemplificato nel caso dell'energia per gli insegnanti di scuola primaria. I risultati di analisi qualitativa e quantitativa in ricerche empiriche in cui è stato applicato hanno messo in evidenza che si è dimostrato efficace nel produrre competenze integrate sugli specifici contenuti disciplinari e sulla loro trasformazione in contenuti scientificamente coerenti e proponibili ai bambini.

Tra gli strumenti messi a punto nel modello RIMPEC vi sono i questionari PCK sui nodi di apprendimento: essi promuovono competenza sui contenuti disciplinari (CK), integrazione tra CK e PK e costruzione di competenze pedagogiche dei contenuti, riflessione sui ragionamenti dei ragazzi nei percorsi di I/A, attenzione ai ragionamenti degli studenti.

Dalle nostre ricerche otto tipi di attività RIMPEC si sono dimostrate particolarmente utili per lo sviluppo professionale degli insegnanti: 1. Riflessione su concetti e nodi da diverse prospettive (CK – PCK); 2. Discussione in gruppo di concetti e nodi; 3. Analisi di percorsi didattici e discussione; 4. Questionari sui nodi di apprendimento (QNA); 5. Progettazione di moduli di intervento didattico; 6. Sperimentazione di *microteaching* monitorando i processi di apprendimento; 7. Tirocinio avendo responsabilità degli esiti formativi della classe; 8. Co-progettazione scuola-università di attività didattiche.

La formazione iniziale degli insegnanti, in questa prospettiva, si pone come ponte tra ricerca in didattica della fisica e pratica scolastica.

Bibliografia

- Abell S. (2007). Research on science teachers' knowledge. In S.K. Abell, N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105-1149). Mahwa: Erlbaum.
- Aiello M.L., Balzano E., Corni F., De Ambrosio A., Mazzega E., Michelini M., Robutti O., Santi L., Sassi E., Sperandio R.M. (1997). Teaching mechanical oscillations using an integrate curriculum. *IJSE*, 19 (8), pp. 981-995.
- Benciolini L., Michelini M., Mossenta A. (2000). Teachers answer to new integrated pro-



- posals in physics education. In E. Mechlova (ed.), *Information and Communication Technology in Education* (pp. 149-153). University of Ostrava.
- Bohicchio M., Longo A., Michelini M., Stefanel A. (2005). Learning Objects for Blended Activities and Pre-Service Teachers Formation in Physics. In R. Pitntò, D. Couso (eds.), *CRESILS*. Barcellona: Esera.
- Borko H., Putnam R. T. (1996). Learning to teach. In D. C. Berliner, R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 673-708). New York: Macmillan.
- Bosio S., Di Pierro A., Meneghin G., Michelini M., Parmeggiani P., Santi L. (1999). A multimedia proposal for informal education in the scientific field. *European Multimedia Workshop*, Lille, 1998.
- Bosio S., Michelini M., Pugliese S., Sartori C., Scillia M.L., Stefanel A. (1997). Playing, experimenting, thinking: exploring informal learning within an exhibit. In S. Oblak (ed.), *New Way of Teaching* (pp. 448-452). Ljubljana: Girep.
- Buckberger F., Campos B.P., Kallos D., Stephenson J. (2000). *Green paper, TNTEE - European Commission* (DG XXII).
- Bradamante F., Fedele B., Michelini M. (2005). Children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields. In R. Pitntò, D. Couso (eds.), *CRESILS*. Barcellona: ESERA [ISBN: 689-1129-1].
- Calderhead J. (1996). Teachers: Beliefs and knowledge. In D. C. Berliner, R. C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 709-725). New York: Macmillan.
- Cassan C., Michelini M. (eds.) (2010). *ESERA10 Summer School, section E and F* booklet of Esera 2010 Summer School, University of Udine and ESERA. In <http://www-fisica.uniud.it/URDF/Esera2010/booklet.pdf>
- Cobal M., Corni F., Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2002). A resource environment to learn optical polarization. In *Physics in new fields*. Lund: Girep.
- Colonnese D., Heron P., Michelini M., Stefanel A. (2012). A vertical pathway for the teaching and learning of energy. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6 (1), pp. 21-50.
- Corni F., Michelini M., Stefanel A. (2004). Strategies in formative intervention modules for physics education of primary teachers. In M. Michelini (ed.), *Quality Development in Teacher Education and Training* (pp. 382-386). Udine: Forum.
- Corni F., Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2005) Sensori on-line per la formazione iniziale di insegnanti in fisica. In M. Michelini, M. Pighin (Eds.), *Comunità Virtuale* (vol. 2, pp. 1149-1161). Udine: AICA, Forum.
- Constantinou C. (2010). Design based research as a framework for promoting research-informed adoptions of inquiry oriented science teaching, *ESERA Summer School*, Udine 2010.
- Duit R., Gropengießer H., Kattmann U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The M.E.R. In H.E. Fischer (Ed.), *Developing standards in RSE* (pp. 1-9). London: Taylor Francis.
- Duit R. (2008). Physics Education Research – Indispensable for Improving Teaching and Learning. In R. Jurdana-Sepic et al. (Eds.), *Frontiers of Physics Education* (pp. 2-10). Rijeka: Zlatni.
- Duit R. (2009). *Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*, <http://www-ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Elbaz F. (1983). *Teacher thinking: A study of practical knowledge*. New York: Nichols.
- Eylon B.S., Bagno E. (2006). Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research. *Physics Review St. Phys. Educ. Res.*, 2, 020106, 020106-1-020106-14.
- Fensham P. (2001). Science content as problematic-issues for research. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Graber, M. Komorek, A. Kross, P. Reiska (eds.), *Research in Science Education* (pp. 27-41). Dordrecht: Kluwer.
- Fischer H. E., Klemm K., Leutner D., Sumfleth E., Tiemann R., Wirth J. (2005). Framework for Empirical Research on Science Teaching and Learning. *Journal of Science Teacher Education*, 16, pp. 309-349.
- Fischer H.E., Borowski A., Tegner O. (2012). Professional knowledge of science teachers; In B. Fraser, K. Tobin, C. McRobbie (Eds.), *2nd International Handbook of Science Education* (pp. 435-448). New York: Springer.



- Guess-Newsome J. (1999). Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation. In J. Guess-Newsome, N. G. Lederman (Eds.), *Examining PCK* (S. 3–17). Dordrecht: Kluwer.
- Guess-Newsome J., Lederman N.G. (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge*. Dordrecht: Kluwer.
- Heron P. R. L., Michelini M. (2014). Teaching about energy. Which concepts should be taught at which educational level? In W. Kaminski, M. Michelini (eds.), *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?* (pp. 284-285).....
- Heron P., Michelini M., Stefanel A. (2009). Teaching and Learning the Concept of Energy in Primary School. In C.P. Constantinou, N. Papadouris (eds.), *Physics Curriculum Design, Development and Validation*. Nicosia, <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>
- Heron P., Michelini M., Stefanel A. (2009). Teaching and learning the concept of energy at 14 years old. In M. Garip et al. (eds.), *Proceedings of selected papers to the FISER 08*, (pp. 231-240). Famagusta: EMU.
- Heron P., Michelini M., Stefanel A. (2011). Evaluating pedagogical content knowledge of energy of prospective teachers. In D. Raine, C. Hurkett, L. Rogers (eds.), *Physics Community and Cooperation* (Vol. 2, pp. 147-161): Leicester: Lulu.
- Hestenes D. (2007). Notes for a modeling theory of science. In E. van den Berg, T. Ellermeijer, O. Slooten, *Modelling in Physics and Physics Education* (pp. 34-65). Amsterdam: GIREP-Amstel.
- Holbrook J., Rannikmäe M. (2001). STL: Introducing a Philosophy and Teaching Approach for SE. *ICASE*, pp. 1-19.
- IJSE (2011). *International Journal of Science Education*, 33: 1.
- Lumbelli L. (1996). Focusing on text comprehension. In C. Cornoldi, J. Oakhill (eds.), *Reading comprehension difficulties*. Erlbaum: Mahwah.
- Magnusson S., Krajcik J., Boriko H. (1999). Nature, Sources, and Development of PCK for Science teachers. In J. Gess-Newsome, N.G. Lederman (Eds.), *Examining PCK* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer.
- Marucci G., Michelini M., Santi L. (2001). The Italian Pilot Project LabTec of the Ministry of Education. In R. Pinto, S. Surinach (Eds.), *Phytech2000* (pp. 607-611). Paris: Elsevier.
- McDermott L.C., Shaffer P.S., Costantiniou C.P. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. *Phys. Educ.* 35 (6), pp. 75-81.
- Michelini M. (ed.) (2004). *Quality Development in the Teacher Education and Training*. Udine: Forum.
- Michelini M. (2006). The Learning Challenge: A Bridge Between Everyday Experience And Scientific Knowledge. In G. Planinsic, A. Mohoric (Eds.), *Informal learning and public understanding of physics* (pp. 18-39). Ljubijana: Girep.
- Michelini M. (2010). Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena. In L. Menabue, G. Santoro (eds.), *New Trends in Science and Technology Education* (vol. 1, pp. 257-274). Bologna: CLUEB.
- Michelini M., Meneghin G., Santi L., Stefanel A. (2002). A resource environment to introduce quantum physics in secondary school. *Proc. International MPTL-7*, in <http://informando.infm.it/MPTL/http://informando.infm.it/MPTL/>
- Michelini M., Mossenta A. (2014). Building a PCK proposal for Primary Teacher in Electrostatics. In W. Kaminski, M. Michelini (eds.), *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?* (pp. 164-173). Udine: Lithostampa.
- Michelini M., Santi L., Sperandeo R.M. (Eds.) (2002). *Proposte didattiche su forze e movimento*. Udine: Forum.
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2013). La formación docente: un reto para la investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10 (Número Extraordinario), 846-870.
- Michelini M., Santi L., Stefanel A. (2014). PCK approach for prospective primary teachers on energy. In Tasar F.ed., *WCPE* (pp. 473-478). Istanbul: Pegem.
- Michelini M, Stefanel A (2014). Prospective primary teachers and physics PCK. In W. Kaminski, M. Michelini (eds.), *Teaching and Learning Physics today* (pp. 148-157). Udine: Lithostampa.
- Michelini M., Viola R. (2009). *Blended Modality in Implementing an European Project on*

- Curricular Innovation for in-Service Teacher*, MPTL14 Proceeding, CD-ROM and <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>
- Michelini M., Sperandeo R. M. (2014). Challenges in primary and secondary science teachers Education. In W. Kaminski, M. Michelini (eds.), *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?*, (pp. 143-148). Udine: Lithostampa.
- Millar R. (2005). Teaching about energy. *Dep. of Educ. Paper 2005/11*. York Univ.
- Niederderer H. (2010). *Content-specific research in science education*, ESERA Summer School, Udine 2010.
- Mullis I.V.S., Martin M.O. (Eds.) (2008). *TIMSS 2007 Encyclopedia*. Chestnut Hill: Boston College, <http://timssandpirls.bc.edu/isc/publications.html>.
- Olsen R.V., Prenzel M., Martin R. (2011). Interest in Science: A many-faceted picture painted by data from the OECD PISA study. *International Journal of Science Education*, 33 (1), pp. 1-6.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2007). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world-Volume I: Analysis*. Paris: OECD. www.pisa.oecd.org
www.pisa.oecd.org
- Park S., Oliver J. (2008). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), pp. 261-284.
- Pugliese S., Michelini M. (2001). Development of a Lab-oriented Hypertextual Teacher Training and Classroom materials: an example from Geiweb. In R. Pinto, S. Surinach (Eds.), *Phyteb2000* (pp. 679-682). Paris: Elsevier.
- Rohaana E., Neuhaus B., Neumann K., Fischer H. E. (2010). Different approaches to measure teachers' PCK. In G. Cakmakci & F. Taşar (Eds.), *Contemporary science education research, Book 1* (pp. 59-60). Ankara: Pegem Akademi.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (Z). pp. 4-14.
- Sokoloff D.R., Lawson P.W., Thornton R.K. (2004). *Real Time Physics*. New York: Wiley.
- Stefanel A., Moschetta C., Michelini M. (2002). Cognitive Labs in an informal context to develop formal thinking in children. In M. Michelini, M. Cobal (eds.), *Developing Formal Thinking in Physics* (pp. 276-283). Udine: Forum.
- STEPS TWO. (2012). www.stepstwo.eu
[http://www.stepstwo.eu/](http://www.stepstwo.eu)
- Taşar M.F., Çakmakçı G. (Eds.) (2010). *Contemporary science education research Vol.2: pre-service and inservice teacher education*. Ankara: Pegem Akademi.
- Theodorakakos A., Psillos D. (2010). PEC task explore. in C. Constantinou (ed.), *CBLIS 2010* (pp. 75-83). Warsaw: Oelizk.
- Thornton R.K., Sokoloff D.R. (1999). Learning motion concepts using RTL. *A.J.P.* 58 (9), pp. 858-867.
- Titulaer U. (2011). *European benchmarks for physics teaching degrees*. http://www.stepstwo.ua.ac.be/~stepstwo/48_teaching-Eurobenchmarks-Oct.23.pdf
- URDF (2000). <http://www.fisica.uniud.it/URDF/>
- Viennot L. (2008). Attracting students towards physics – A Question of topics? In R.J. Šepić, V. Labinac, M. Žuvic-Butorac, A. Sušac (Eds.), *Frontiers of Physics Education* (pp. 34-43). Rijeka: Zlatni.
- Viennot L., Chauvet F.O., Colin P., Rebmann G. (2005). Designing Strategies and Tools for Teacher Training: The Role of Critical Details, Examples in Optics. *Science Education*, 89 (1), pp. 13-27.
- Volmer M (2003) Physics teacher training and research in physics education. *Eur. J. Phys.* 24, 131-147.
- Vosniadou S. (Ed.) (2004). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Erlbaum: Routledge.



