

LA FISICA NELLA FORMAZIONE INSEGNANTI DELLA SCUOLA DI BASE: UNA SFIDA DI RICERCA

Marisa Michellini

Unità di Ricerca in Didattica della Fisica
Università degli Studi di Udine, Udine
E-mail: marisa.michellini@uniud.it

Introduzione

Il tema della formazione degli insegnanti ha destato molto interesse e lavoro negli ultimi 20 anni in Europa (Pintò 2001, Michellini 2004 e 2011, WCPE 2014). I principali problemi, che hanno destato tale interesse sono evidenziati da studi internazionali sulle prestazioni degli studenti in test (OECD 2006, Olsen 2011) e sulle caratteristiche e bisogni degli insegnanti (TIMSS 2008, STEPS 2012).

Dal punto di vista degli insegnanti il problema si pone in tre prospettive: 1) politico - organizzativo, 2) competenze e bisogni formativi, 3) scambio tra scuola e università, ricerca didattica.

La prima prospettiva comprende il ruolo sociale dell'insegnante, dal salario al carico di lavoro, dall'autonomia nella programmazione e gestione delle attività, dall'immagine verso genitori e famiglie alle relazioni con il tessuto culturale locale e internazionale.

La seconda prospettiva riguarda lo sviluppo professionale e la carriera dell'insegnante; intrecciata con la prima prospettiva vi è la formazione continua e le modalità con cui si esplica in termini di diritto-dovere e riconoscimento di professionalità acquisita; vi è anche il sostegno all'insegnante per l'innovazione didattica, da quanto riguarda la formazione a quanto coinvolto nella realizzazione di ambienti di apprendimento che promuovono l'innovazione.

La terza prospettiva salda l'asse formativo in termini di continuità nel processo formativo dei giovani e coinvolge la ricaduta della ricerca didattica nella pratica scolastica, proponendo la ricerca-azione dell'insegnante come dimensione della professionalità docente, che fa evolvere la professionalità stessa nella dinamica in cui la riflessione sulla pratica modifica strategie, strumenti e metodi nel processo formativo.

Troviamo questi problemi trattati su tre piani: 1) Strutture ed organizzazione della formazione degli insegnanti, 2) discipline, conte-

nuti e attività, 3) contributo della ricerca didattica, da parte di diversi soggetti: politici ed in particolare Ministri, facoltà e dipartimenti nelle università e negli istituti pedagogici e reti nazionali, comunità di ricerca. Le risposte a tali sfide vengono dall'integrazione tra la ricerca didattica ed in particolare quella disciplinare e la formazione iniziale degli insegnanti, campo su cui si lavora da molto tempo.

È opportuno precisare che la ricerca nella didattica disciplinare e della fisica in particolare nella formazione iniziale degli insegnanti non va confusa o sostituita con ricerche pedagogiche sull'insegnamento, ricerche psicologiche sull'apprendimento individuale, studi sociologici sulla organizzazione delle attività scolastiche. Essa è legata alla costruzione di competenze per produrre apprendimenti specifici di tipo disciplinare (*learning of Subject Matter*).

In questa sede si discutono le caratteristiche ed il ruolo della ricerca didattica sulla professionalità docente e dei bisogni formativi degli insegnanti di materie scientifiche nel contesto della società della conoscenza. I modelli elaborati dalla ricerca per la formazione di una professionalità docente in campo scientifico vengono discussi in dettaglio. Laboratori concettuali di esplorazione operativa basati sulla ricerca vengono proposti come contesto per l'apprendimento situato da parte dell'insegnante, il cui ruolo viene anche approfondito nella prospettiva di una didattica attiva basata sulla problematizzazione ed il personale coinvolgimento degli studenti. Le caratteristiche una modalità di attuazione della formazione degli insegnanti primari in fisica condotta all'Università di Udine esemplificano una proposta di formazione integrata nella ricerca sperimentata negli ultimi dieci anni.

Professionalità docente e ricerca didattica

Un contributo dirompente in questo campo è stato dato dagli studi sulla conoscenza pedagogica dei contenuti ovvero il *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) e la formazione degli insegnanti. A partire da una rassegna sulle ricerche in didattica, Lee Shulman si è posto negli anni ottanta il problema dell'apprendimento dei contenuti, della natura della conoscenza degli insegnanti e della crescita di conoscenza nell'insegnamento (Shulman 1981, 1986, 1987). Ha esaminato i tests per insegnanti usati per l'abilitazione dei candidati e dagli standards nazionali utilizzati in quegli anni che richiedeva-

no abilità di base a leggere, scrivere, risolvere problemi, ponevano una pesante enfasi sulle procedure, evocavano la competenza di insegnamento basata sulla ricerca, ma non prevedevano nessuna mappatura sui contenuti del curriculum. Si è reso conto che l'enfasi era da porre su come gli insegnanti gestiscono la classe, organizzano le attività, fissano i tempi e i compiti e giudicano l'apprendimento generale dello studente. Si è quindi chiesto: Dove è finito il contenuto disciplinare? Cosa ne è della materia di insegnamento e della disciplina?. L'efficacia dell'insegnante risultava individuata dall'efficacia dell'insegnamento, da studi processo-prodotto e dal comportamento dell'insegnante accreditato tra gli studenti in base all'accresciuto stile espositivo. Le ricerche sulla formazione degli insegnanti consistevano in esperimenti di ricerca in cui l'insegnante era formato ad usare specifiche impostazioni per trovare il comportamento, che più efficacemente promuove l'apprendimento dello studente. Il comportamento dell'insegnante veniva correlato con gli esiti, senza guardare ai contenuti (Shulman 1986). Nessuno si era posto il problema di come i contenuti sono stati trasformati dalla conoscenza dell'insegnante nel contenuto dell'istruzione. Non vi era nessun esame nella prospettiva del processo di apprendimento sui contenuti ed era poco considerata la conoscenza dei contenuti e la rispettiva organizzazione nelle idee dell'insegnante. Egli ha quindi sottolineato che i ricercatori ignorano un aspetto centrale della vita in classe: i contenuti disciplinari. Ha posto le principali questioni aperte ignorate: Da dove vengono le spiegazioni degli insegnanti? Come decide l'insegnante cosa insegnare? Come rappresentarlo? Come indagare con gli studenti su ciò? Come affrontare i problemi di fraintendimento?. Ha quindi posto attenzione agli aspetti di contenuto dell'insegnamento e non solo agli elementi del processo di insegnamento ed individuato come problema di ricerca la crescita della conoscenza nell'insegnamento, con le seguenti domande di ricerca: Quali sono le sorgenti della conoscenza degli insegnanti? Come viene appresa la nuova conoscenza? Come impiega l'insegnante la sua *expertise* per generare nuove spiegazioni, rappresentazioni o chiarimenti? Quali sono le fonti di analogie, metafore, esempi, dimostrazioni o nuove formulazioni - *rifrasamenti*? Shulman ha focalizzato la sua ricerca in questa nuova prospettiva, studiando come prepara l'insegnante qualcosa da insegnare che

non ha mai imparato prima, come avviene l'apprendimento dell'insegnante, come fa l'insegnante a prendere un contenuto e trasformare il suo personale apprendimento di esso in un contenuto di istruzione che i suoi studenti comprendono. Ha impostato la sua ricerca sulla conoscenza dell'insegnante: Quali sono il dominio e le categorie della conoscenza dei contenuti nella mente dell'insegnante? Come sono correlati CK e PK generale?

Ha individuato tre tipi di conoscenza dei contenuti (CK): disciplinare (SM), pedagogica (PK) e curricolare (CuK), distinguendo l'ammonare e l'organizzazione della conoscenza in se dell'insegnante in: 1) Substantive: varietà di modi in cui i concetti di base e i principi sono organizzati e 2) Syntactic: insieme di regole per determinare cosa è parte del sapere in un dominio disciplinare. L'insegnante deve infatti essere capace di spiegare proposizioni, regole, leggi, la relativa potenzialità e i limiti e riconoscere diverse forme di organizzazione, selezionandone una a seconda delle circostanze (PK base).

Ha fondato il concetto di insegnabilità ovvero il PCK – pedagogical content knowledge, che va oltre la conoscenza della disciplina in sé e la dimensione della conoscenza della materia, della disciplina per l'insegnamento, comprende le più utili e alternative forme di: analogie significative, rappresentazioni, illustrazioni, esempi, spiegazioni. Comprende una comprensione di ciò che rende facile o difficile l'apprendimento di specifici argomenti, concezioni e preconcezioni, strategie fertili nella riorganizzazione della comprensione, misconcezioni degli studenti e la loro influenza sull'apprendimento, la conoscenza basata sulla ricerca e la comprensione pedagogica dei contenuti disciplinari.

La conoscenza curricolare comprende: i programmi stabiliti dai ministri per l'insegnamento di una disciplina, materiali didattici e relativa varietà (Libri, articoli, esiti di ricerche, percorsi), materiali per l'istruzione, testi alternative, software, proposte di esperimenti ed esplorazioni di laboratorio, percorsi alternative, contenuti degli esami.

Un'analisi concettuale della conoscenza degli insegnanti, emerge che le tre maggiori fonti di conoscenza per l'insegnamento sono: 1) ricerche su percorsi di I/A e relativi ruoli per la pratica didattica, principi di insegnamento attivo e relativi risultati nella pratica scolastica, studi sperimentali dell'efficacia dell'insegnamento; 2) Conoscenza di casi: prototipi, esperienze, buone pratiche; 3) Conoscenza strate-

gica: padronanza di procedure, contenuti, impostazione, riflessione sulla propria conoscenza, competenze metacognitive per progettare attività curriculari. Gli insegnanti contribuiscono alla letteratura dei casi emblematici e delle buone pratiche con studi sperimentali sull'efficacia dell'insegnamento e sulla trasformazione della propria conoscenza in insegnamento.

Un ampio impegno di ricerca sulla formazione degli insegnanti ha avuto in seguito come prospettiva e quadro di riferimento queste idee. La letteratura recente sul PCK riguarda: i diversi approcci per misurare il PCK degli insegnanti, quale PCK favorisce l'apprendimento e la motivazione, tests e altri strumenti per misurare il PCK, il PCK-in-azione e PCK-sull'azione (componente riflessiva dell'insegnante), come sviluppare modelli di sviluppo delle competenze operative e strumenti per misurare i diversi aspetti delle competenze del docente.

Accanto alle ricerche sul PCK sono state svolte indagini sulla prassi nella didattica, la più importante è TIMSS (TIMSS 2007, Mullis 2008, Murdock 2008), che ha messo in evidenza come strategie e metodi siano vincolate dai libri di testo (100%), come accada che per più del 50% del tempo in classe i ragazzi leggano "teoria" o come fare esercizi, come le dimostrazioni sperimentali a cui i ragazzi assistono soltanto siano prevalenti negli insegnamenti scientifici (11-54%) rispetto ad attività sperimentali che coinvolgono direttamente gli studenti (0 – 30 %). Una delle principali esigenze degli insegnanti è di acquisire competenze nel produrre ambienti di apprendimento in cui vi è il ruolo attivo di chi apprende (Sassi 2012).

Formazione iniziale degli insegnanti

I progetti EU SPEPS (Steps 2012) hanno svolto diverse indagini tra cui una sulla formazione degli insegnanti da cui è emerso che sono applicati due principali modelli di formazione degli insegnanti nei diversi Paesi: a) Sequenziale, in cui insegnamenti disciplinari precedono quelli pedagogici, come avviene in Italia per la formazione degli insegnanti secondari e b) Parallelo, in cui insegnamenti disciplinari vengono svolti in parallelo a quelli pedagogici, come avviene in Italia per la formazione degli insegnanti primari. Dai risultati di ricerca in merito alla natura ed al livello di conoscenze degli insegnanti in formazione emerge la comprensione dei contenuti discipli-

nari di fisica prodotta nei corsi della formazione iniziale non è quella comprensione concettuale che i futuri insegnanti dovranno sviluppare nei loro futuri studenti. Si pone pertanto una forte domanda di studio e di ricerca sulla formazione iniziale degli insegnanti.

I ministri Europei hanno condiviso il Green Paper (Buckberger 2000), che sottolinea il ruolo cruciale della progettazione nella formazione degli insegnanti e raccomanda che si realizzino appropriate situazioni di insegnamento / apprendimento in cui i futuri insegnanti possono trovare occasioni di sviluppo delle principali abilità professionali, così come quella cultura scientifica di base che può abilitarli ad attuare progetti didattici di successo nonostante la limitata conoscenza disciplinare. Le attività suggerite a tale scopo sono: Ricostruzione didattica dei contenuti disciplinari, Situazioni di Problem Solving, Progettazione curricolare basata sulla ricerca, Pianificazione di interventi di insegnamento / apprendimento (I/A), Analisi di nodi di apprendimento, Analisi dei ragionamenti degli studenti in attività di I/A.

Nel GIREP International Seminar tenuto ad Udine nel 2003 su *Quality development of Teacher Education and training* sono stati sottolineati tre bisogni principali: 1) Specifici programmi professionali per la formazione degli insegnanti, 2) il Raccordo / collaborazione tra scuola e università e 3) la Ricerca didattica (legata ai contenuti) integrata con la formazione degli insegnanti e la didattica scolastica. Nuovi modi di pensare alla formazione degli insegnanti sono emersi da queste sollecitazioni e la preparazione professionale di un insegnante di materie scientifiche è stata approfonditamente analizzata in termini di profilo professionale (*professional profile*) nel contesto di lavori per lo "Human Talent Management". Tale profilo è spesso analizzato in termini di competenze (*competences*) e questo nuovo termine è entrato nella nuova normativa internazionale. Al Simposio sulla formazione degli insegnanti tenuto nell'ambito della GIREP Conference 2010 a Reims (Michelini&Sperandeo 2011) sono state individuate tre principali competenze che l'insegnante deve avere: 1) abilità ad indirizzare, padroneggiare e gestire specifiche conoscenze e metodi relativi all'area di interesse; 2) capacità di integrare diversi tipi di conoscenza e metodi in una rete flessibile; 3) abilità a trasformare tale rete di conoscenze e metodi in una sinergica attitudine a operare in concreto.

Il più recente contributo sulla formazione iniziale degli insegnanti è uno studio del progetto EU STEPS TWO a cui hanno contribuito 74 Dipartimenti di 36 Paesi (Titulaer 2012, WCPE book 2014) redigendo raccomandazioni (EU Eurobenchmarks) allo scopo di: 1) aiutare i dipartimenti a progettare e adattare i programmi di formazione iniziale degli insegnanti; 2) individuare standards per il Controllo di Qualità (valutazione e accreditamento); 3) progettare programmi supplementari per insegnanti che necessitano ulteriore qualificazione in fisica o formazione pedagogica (soprattutto in Paesi con percorsi brevi per la formazione iniziale degli insegnanti); 4) offrire linee guida per il riconoscimento della qualificazione degli insegnanti nei diversi Paesi EU. Requisiti irrinunciabili previsti per la formazione iniziale degli insegnanti è che essa sia accademica, preferibilmente a livello di Master, basata sulla ricerca nelle tre componenti: disciplinare, didattica disciplinare, di pedagogia applicata, su aspetti sociali e della comunicazione, comprendente attività pratiche a scuola, una tesi su attività di I/A. Esempi delle competenze individuate per l'insegnamento della fisica sono:

1. Chiarire cosa sono le scienze e la fisica, 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 dei ragazzi;
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. Conoscenza ed esperienza di un ampio spettro di metodi nella didattica della fisica, compresi esperimenti didattici ed impieghi differenziati di tecnologie multimediali;
6. Individuazione di difficoltà concettuali ed organizzazione di ambienti di apprendimento per il loro superamento.

Modelli di formazione iniziale degli insegnanti dalla ricerca didattica

La ricerca didattica ha studiato modelli in merito ai modi in cui realizzare il processo di apprendimento di una professionalità da parte dell'insegnante in formazione (Michellini 2004, 2012). I modelli attuati si sono evoluti ed integrati, mettendo in evidenza che il processo di cui si sta parlando non può considerarsi come il cumulo di conoscenze di vario tipo e natura, ma l'evoluzione ed appropriazione

di modalità operative esperite. Elementi di competenza sono stati via via individuati come parti di una struttura in modelli differenziati di formazione iniziale degli insegnanti (Fig. 1). Tra questi la conoscenza della materia e la riflessione sulla natura epistemica della disciplina (NOS) sono le fondamenta su cui costruire le conoscenze delle proposte didattiche e delle difficoltà di apprendimento, che la letteratura di ricerca e quella didattica producono per contribuire alla pratica scolastica. La conoscenza dei processi di apprendimento nella disciplina costituisce un'altra conoscenza dei contenuti che l'insegnante deve saldare con le conoscenze di carattere pedagogico, sociale e psicologico per elaborare ed articolare le proprie strategie, i propri schemi e metodi. L'integrazione tra le conoscenze disciplinari e pedagogiche sembra avere come mediatore l'appropriazione di proposte didattiche in cui uno specifico PCK è esemplificato. La costruzione della professionalità docente risulta poi avere tra le proprie fasi quella trasformazione di percorsi didattici, che due specifiche e diverse modalità di ricerca hanno come obiettivo nel legarsi alla pratica didattica: la Design Based Research per l'elaborazione di proposte didattiche e l'action research per la trasformazione delle stesse nel contesto didattico specifico (Niedderer 2010).

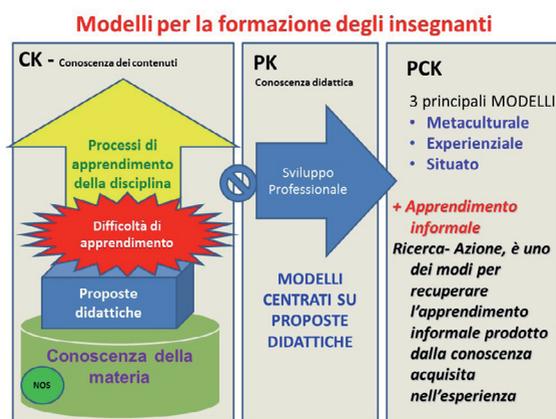


Figura 1. Elementi di competenza come parti di una struttura nei modelli di formazione iniziale degli insegnanti.

Tre modalità formative sembrano doversi integrare nel processo (Michellini 2004, 2012): Metaculturale, Esperienziale, Situata. Il modello **Metaculturale** implica la presentazione in termini tecnici e professionali di una proposta didattica in tutti i suoi dettagli, inclusa la discussione critica di elementi culturali, pedagogici, disciplinari e dei processi che caratterizzano l'apprendimento disciplinare specifico, gli aspetti didattici. Comprende *case studies* di proposte didattiche. Lascia all'insegnante la programmazione e la preparazione delle modalità di lavoro in classe e dei materiali didattici. Gli articoli su riviste per gli insegnanti (come *La Fisica nella Scuola* o il *Giornale di Fisica*), così come ambienti web di risorse di materiali professionali per gli insegnanti sono esempi di strumenti per tale tipo di formazione. Svolgono tale ruolo alcuni ambienti di risorse di materiali professionali per gli insegnanti da noi sviluppati come GEIWEB (<http://www.fisica.uniud.it/GEI/GEIweb/index.htm>) e SECIF, <http://www.fisica.uniud.it/URDF/secif/index.htm>. Tali ambienti mettono a disposizione degli insegnanti esempi di esperimenti, percorsi didattici, esiti di ricerche sull'apprendimento e rassegne di ricerche documentate in letteratura, materiali per la valutazione, applet Java per la modellizzazione; documentazione di sperimentazioni didattiche su innovazioni nell'I/A. GEIWEB propone materiali per l'educazione scientifica nella scuola di base con modalità tipiche dell'*inquiry based learning* e dell'educazione informale, le collane di esperimenti della mostra *Giochi Esperimenti Idee* (GEI), materiali di approfondimento ad essa connessi, percorsi didattici, schede di lavoro, raccolte di articoli sui processi di apprendimento, proposte di modellizzazione (Bosio 1999, Michellini, Pugliese 2001). L'ambiente SECIF offre proposte didattiche innovative su fenomeni termici nella scuola di base, ottica fisica e meccanica quantistica nella scuola secondaria superiore, specificando per ciascuna proposta: Introduzione, approccio, strategia e metodi, prerequisiti, mappe concettuali e mappe organizzative, il filo del percorso didattico, caratteri interdisciplinari, risorse per lo studio, contenuti, esperimenti, simulazioni, esempi ed esiti di sperimentazioni in classe (Michellini, Meneghin 2000; Cobal 2002; Michellini et al. 2002). Nel sito dell'URDF (<http://www.fisica.uniud.it/URDF/>) vi sono altri cluster di materiali con le caratteristiche suddette, come FFC su fenomeni termici, magnetici e quantistici ed i materiali di INTERREG

III nei quali si trovano di nuovo proposte didattiche su fenomeni elettromagnetici e quantistici con proposte nuove sul moto ed i fluidi in equilibrio, sviluppati in prospettiva verticale.

Le sperimentazioni di ricerca basate sul modello meta-culturale, anche quando sono fondate sui migliori materiali di ricerca, studiati per gli insegnanti in formazione e per la progettazione didattica, con tutti gli elementi di CK e PK della Fig.1, evidenziano una formazione che non è sufficiente per una buona professionalità docente: le proposte progettuali degli insegnanti così formati sono spesso poco organiche, traducono materiali validati e percorsi organici con lacune in punti cruciali, la coerenza dei ragionamenti e lo sviluppo della comprensione concettuale non sono focalizzati, lo stile di insegnamento informativo e trasmissivo è riadottato nell'attuazione dell'innovazione, le idee degli studenti ed il processo di apprendimento non sono considerati nella pianificazione didattica (Michelini 2004 e 2012, Viennot 2005).

Sembra necessario che gli insegnanti vivano direttamente, abbiano esperienza diretta dei percorsi concettuali che saranno proposti ai loro studenti, per appropriarsi dell'innovazione (Sokoloff, Lawson, Thornton 2004), come avviene nel modello **esperienziale**, in cui l'insegnante fa la stessa attività che sarà poi proposta agli studenti, basandosi su tutorial che traducono operativamente una specifica proposta didattica. I tutorial (McDermott 2001) o le schede stimolo (Marucci 2000, Michelini, Santi, Sperandeo 2002) implicano che l'insegnante in formazione rifletta anche sui singoli passi in cui si sviluppa la proposta, ne valutano le valenze didattiche e i limiti, individuando i nodi concettuali risolti e quelli rimasti aperti. La formazione alle competenze sui contenuti e per l'innovazione vengono integrate e gli elementi del PCK vengono esemplificati per attivare processi di apprendimento, che mirano al superamento di nodi concettuali relativi ad uno specifico contenuto disciplinare. Nella Figura 2 sono mostrate due pagine di un tutorial utilizzato con modalità di e-learning nel Corso di Didattica della Fisica del Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria all'Università di Udine: nell'ambito della lezione in aula si sono filmate le parti più significative di una dimostrazione interattiva in cui con sensori di moto si acquisivano in tempo reale i grafici del moto di una macchinina lanciata sul tavolo con un colpetto e se ne correlavano le caratteri-

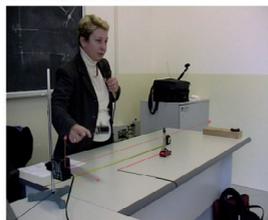
stiche con il moto osservato. Il filmato, accompagnato da un tutorial che pone agli studenti domande significative per appropriarsi delle caratteristiche del moto, è stato messo in rete telematica come Learning Object su cui gli studenti dovevano lavorare a casa. Ciò ha permesso di raccordare l'attività a casa con l'attività sperimentale in classe, ripensare sulla esperienza svolta, analizzare il significato dei grafici, produrre coinvolgimento personale nel metodo di analisi dei dati, esperire una modalità scientifica di studio di un fenomeno (Michelini 2005). Inoltre la correttezza dell'80% delle risposte nello studio dei moti in test standard di letteratura (come FCI) si è avuta a fine corso soltanto in relazione all'utilizzo dei Learning Objects di questo tipo.

1 – La macchinina lanciata su un piano orizzontale

La situazione.
Con un colpoetto si mette in moto una macchinina appoggiata sul piano della cattedra. La macchinina percorre qualche decina di centimetri e poi si ferma.

1.1 Descrivere il sistema di riferimento nella misura effettuata

1.2 Descrivere la traiettoria della macchinina



Esaminiamo la situazione. Il sistema di riferimento è determinato dal sensore

B – Il diagramma orario del moto della macchinina su un piano orizzontale

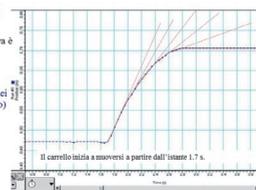
Esaminiamo il diagramma orario $s=v(t)$

B1. La pendenza della curva è sempre rimasta uguale?
B2. Come è cambiata?

Nella figura sono riportati dei segmenti (in tratteggio rosso) che approssimano nei vari tratti la curva $s(t)$.

Esaminiamo il moto della macchinina

B3. La sua velocità è sempre rimasta uguale?
B4. Come è cambiata?



B5. A che cosa è dovuta la variazione della velocità osservata?

B6. Che grafico $v(t)$ corrisponde al grafico $s(t)$ osservato? Racconta come lo costruisci

Figura 2. Learning object utilizzato nel Corso di Didattica della Fisica del Corso di Laurea in Scienze della Formazione Primaria all'Università di Udine (Marisa Michelini).

Nelle nostre ricerche è risultato ancora più utile un lavoro di questo tipo svolto, anche soltanto in presenza, per gruppi di lavoro nella formazione degli insegnanti secondari, che poi ne hanno fatto tesoro per proporre modalità analoghe di lavoro con gli studenti di scuola secondaria, anche nell'ambito del loro tirocinio. La modalità esperienziale ed il laboratorio in tempo reale si è dimostrato un'efficace modalità per la formazione degli insegnanti all'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione nello specifico dell'apprendimento della fisica di base sia nella scuola primaria sia in quella secondaria (Aiello 1997, Thornton 1999, Corni 2004, 2005, Michelini 2010). L'utilizzo della modalità asincrona in rete telematica associata a quella in pre-

senza (*modalità blended*) con risorse per l'approfondimento e la personalizzazione dell'apprendimento dell'insegnante è oggi di grande potenzialità, soprattutto per favorire l'utilizzo delle numerose risorse disponibili in rete telematica (informazioni, software, reti) e serve ricerca applicata per sostenere gli insegnanti nell'individuazione di strumenti e metodi in tale impiego (Bochicchio 2005, Longo 2005).

La strategia PEC utilizzata nella progettazione dei tutorial comporta domande stimolo di Previsione su uno specifico fenomeno del quale si sono già osservati aspetti, l'effettuazione di un Esperimento o di una esplorazione ed il Confronto tra previsione e osservazione (Theodorakakos 2010; Michelini, Santi, Sperandeo 2002).

La capacità dell'insegnante di attivare le PCK in situazioni didattiche nuove, reali sia nella pratica scolastica 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 non risultano essere formate con modalità meta-culturali ed esperienziali ed altri due aspetti risultano problematici: l'attenzione ai ragionamenti degli studenti per sviluppare apprendimento dalle loro idee e la progettualità, ovvero la relativa coerenza con strategie nuove rispetto alle proprie abitudini didattiche. Per questi obiettivi professionali è necessario prevedere attività di rielaborazione in contesti effettivi di sperimentazione di percorsi didattici, secondo un modello situato.

Il modello **Situato** è basato sull'apprendimento dell'insegnante attraverso la riflessione sull'esperienza di lavoro in classe. Rappresenta la crescita, che viene dall'esperienza e produce nuova professionalità. Offre l'occasione per un'innovazione che emerge dalle necessità didattiche e recupera gli apprendimenti informali dell'insegnante maturati nell'esperienza. Nel modello situato, la riflessione sull'esperienza professionale acquista una dimensione di ricerca (ricerca-azione).

Nella nostra esperienza la formazione situata si realizza con modalità differenziate in laboratori concettuali, in attività laboratoriali strutturate, in attività informali dentro e fuori dalla classe (Michelini 2004).

Laboratori CLOE basati sulla ricerca per l'apprendimento dell'insegnante

I laboratori concettuali di esplorazione operativa (CLOE) sono contesti di ricerca sui processi di apprendimento basati sull'esplorazione sperimentale ragionata, che diventano momento formativo per i futuri insegnanti sia mediante l'osservazione di interviste condotte da ricercatori durante le esplorazioni operative sia mediante una conduzione diretta di laboratori (Stefanel 2002; Fedele 2005; Bradamente 2005; Michellini 2006). Sono condotti in un ambiente di apprendimento in cui i ragazzi hanno ruolo operativo, proponendo situazioni-problema su specifici temi, usando interviste semi-strutturate e fogli di lavoro. Il problema di ricerca sui processi di apprendimento che vengono esplorati sono: il ruolo dell'operatività (pratica e concettuale), del coinvolgimento personale nell'esplorazione di fenomeni, del contesto, i ragionamenti attivati dall'operatività nella interpretazione di fenomeni e la loro evoluzione, i tipi di formalizzazione, i piani su cui i ragazzi si pongono nell'analisi dei fenomeni (descrittivo, interpretativo, i modelli usati nelle diverse situazioni). Dall'analisi dei dati in CLOE emergono i tipi di ragionamento di senso comune in relazione agli approcci, agli stimoli ed ai temi.

Oggi sappiamo infatti che non c'è l'osservazione senza un'idea interpretativa (esplicita o implicita) (Michellini 2006; 2010), che è locale e contingente, ma evolve con l'associazione concettuale in relazione agli stimoli. Ciascuno di noi nel leggere la fenomenologia fa ragionamenti di senso comune, che originano da elementi percettivi ed evidenze sperimentali contingenti (come la sensazione termica o il meccanismo della visione), da ambiguità del linguaggio (come l'aver forza) e da modelli interpretativi storici superati ed entrati nella nostra cultura (come nel caso del 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, che spesso non coincidono con la struttura ortodossa della disciplina: è perciò necessario trovare ponti per raggiungere la visione scientifica; vi sono chiavi interpretative, che emergono in termini operativi per un grande

numero di contesti fenomenologici e diventano modelli interpretativi. La capacità di leggere ed interpretare un processo dipende infatti 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 (Vosnoiadou 2004; 2007). I modelli spontanei di senso comune sono contingenti e locali ed abbiamo visto che i modelli oggettuali che sono utili ad esplorare le proprie idee per costruire tali ponti (Viennot 2004; Michelini 2006). Il pensiero formale cresce con le idee e le ipotesi interpretative, attivandosi in modo funzionale ai bisogni con capacità operative in diversi contesti (Michelini 2010).

La cultura, l'esperienza e l'età sono parametri secondari rispetto a questo processo che richiede la rielaborazione e l'appropriazione dei concetti. Gli insegnanti stessi hanno bisogno di vivere questa esperienza di apprendimento per riconoscerla nei propri studenti.

Nella formazione iniziale degli insegnanti in contesto operativo come approccio di ricerca sui processi di apprendimento, piuttosto che risultati generali o cataloghi di difficoltà, si esplorano gli ostacoli da superare per raggiungere il livello scientifico di comprensione e la costruzione del pensiero formale. (Michelini, Sperandeo 2011).

Si pone attenzione alla logica interna dei ragionamenti dei ragazzi ed ai modelli mentali spontanei, alla loro evoluzione dinamica a seguito di stimoli problematici (inquiry learning) in percorsi concettuali. Sperimentazioni di ricerca permettono di esplorare in modo operativo il contributo per l'apprendimento di proposte didattiche (Bradamante 2005; 2006; Heron 2008; Colonnese 2012). Nei laboratori CLOE 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.

Come in ogni attività basata sulla ricerca, quella basata sui CLOE o più in generale sulla didattica laboratoriale ha il proprio perno negli strumenti di monitoraggio e raccolta dati. Le schede esplorative (*Exploring Inquiring Cards –EIC*) messe a punto allo scopo sono di tre tipologie: A) aperte, in cui problematiche stimolo attivano il ciclo PEC in merito a una specifica situazione/problema; B) Ponte: si propone l'analisi di una prima situazione e la soluzione di un sem-

plice problema operativo, che funge da ancora cognitiva (es. Equilibrare su una bilancia un pesetto con un altro pesetto uguale) e si suggerisce un nuovo scenario ponte, che attiva la costruzione di una soluzione più ricca/elaborata di quella raggiunta nel primo caso (con un pesetto equilibra due pesetti uguali posti a uguale distanza dal fulcro della bilancia). Si riesaminano le soluzioni per una conclusione più generale, valida per una classe di situazioni. C) Stimolo basate sui grafici. Si chiedono tre compiti: 1) rappresentazione di un grafico che si è visto prodursi in tempo reale, mentre si osservava il fenomeno; 2) descrizione del grafico osservato; 3) spiegazione del grafico (Bosio et al 1997). Con la schede Grafiche (C) l'attivazione del ciclo PEC avviene in modo quasi spontaneo nell'utilizzo di sensori come estensione dei sensi per prevedere l'andamento temporale della grandezza considerata, riprodurre il grafico osservato confrontandolo con quello di previsione, leggere e analizzare il grafico per riconoscere le condizioni fisiche, che hanno permesso le diverse fasi di evoluzione temporale della grandezza osservata, costruire interpretazioni funzionali (fitting), costruire conclusioni basate sul fenomeno osservato. La strategia PEC diventa iterativa, un modo di procedere nell'interpretazione stimolando la costruzione di concezioni con sempre maggiore raggio di coerenza (Stefanel 2002, Michelini 2006, Michelini e Stefanel 2006, Michelini 2010). Il processo di apprendimento descritto riguarda anche gli insegnanti in formazione, che conquistano la capacità di gestire ambienti di apprendimento in cui la tecnologia è funzionale alla concettualizzazione. Essi ne fanno una competenza che tendono a riutilizzare con modalità differenziate quando superano una soglia di confidenza con tale modo di lavorare.

Nel modello esperienziale il docente viene coinvolto nell'andare a fondo sui nodi concettuali su cui si incentra la proposta, sulla 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 si focalizzi su obiettivi secondari o locali, rispetto a quelli a cui mira il percorso didattico. In questo senso l'integrazione con attività metaculturali porta a un valore aggiunto nella formazione, potendo essere in questo modo recuperata la dimensione generale. La padronanza esplicita e la rielaborazione progettuale avvengono con tali basi in modo soddisfacente, ma non

risulta formata quella professionalità operativa che produce l'abilità a predisporre ed attuare ambienti di apprendimento centrati sulle idee dei ragazzi e i loro bisogni di apprendimento. Servono attività situate nella prospettiva di ricerca.

Prospettiva di ricerca nella formazione situata degli insegnanti

Abbiamo ora chiaro che l'educazione scientifica non può risolversi con l'informazione o il semplice racconto. L'insegnante deve offrire l'occasione di capire cosa la scienza è e cosa non è, di cosa e come si occupa nel processo conoscitivo scientifico; come individua e controlla potenzialità e limiti del proprio operato. Strumenti e metodi della scienza devono essere conosciuti o ri-conosciuti, anche attraverso una metariflessione sull'esperienza vissuta.

Si deve mettere gli insegnanti in grado di migliorare l'educazione scientifica con Laboratori per esplorare con la mente e con i sensi ...i sensori ...gli strumenti; esperienze su cui ragionare, guardando alla professionalità docente nella prospettiva di ricerca, attenta ai processi di apprendimento dei ragazzi. La dimensione di ricerca mira a fare luce su modi di guardare alla fenomenologia, modi comuni di ragionamento e la loro evoluzione dinamica intrecciata con l'insegnamento, tenerne conto allo scopo di utilizzarli come ancora per proposte didattiche. Il primo passo è (Fensham, 2001) ripensare ai contenuti in termini problematici, ricostruirli in prospettiva educativa. Questo compito è spesso integrato con riflessioni sui ragionamenti dei ragazzi, progettazione di interviste, progettazione multi-fase di percorsi di I/A, ricerca – azione in una dialettica collaborativa tra scuola ed università.

La prospettiva di ricerca nell'innovazione significa porre attenzione agli approcci nei contenuti disciplinari (Fischer et al. 2005) per identificare le strategie di cambiamento concettuale (Vosniadou, 2008). Ripensare ai contenuti in termini problematici (Fensham, 2001), ricostruirli in prospettiva educativa. Svolgere ricerche empiriche sui ragionamenti dei ragazzi, attivando percorsi sperimentali di I/A.

L'attività sul campo ha un ruolo determinante per l'apprendimento dell'insegnante. Ciò è stato riconosciuto dalle recenti norme sulla formazione degli insegnanti che introducono attività di tirocinio obbligatorio nella formazione degli insegnanti per tutti i livelli scolari. Il salto da fare è integrare nella formazione sui contenuti quella la-

boratorialità che garantisce l'appropriazione e rielaborazione dei concetti, degli strumenti e dei metodi e della irrinunciabile associata attività situata. Non basta la pratica guidata da insegnanti esperti se resta come momento esterno, come fase non integrata tra conoscenze, come operatività disgiunta dai contenuti e dal contesto di rielaborazione della conoscenza e della ricerca.

L'insegnante deve raccogliere ed imparare ad analizzare dati sull'apprendimento. Deve strutturare attività e valutarne l'efficacia. Deve assumere la responsabilità del proprio operato per periodi lunghi e non solo per brevi interventi di formazione.

Formazione degli insegnanti primari in fisica come sperimentazione di ricerca

Uno dei più importanti quadri teorici di riferimento per la ricerca basata sui contenuti è il Model of Educational Reconstruction (MRE) (Duit, Gropengießer, Kattmann, 2005; Duit 2006). Tale quadro teorico di riferimento, che è per noi la modalità per progettare ricerca, è diventato anche la struttura di base per la formazione degli insegnanti e per la loro formazione professionale in termini di ricerca. Il MRE prevede: A) Analisi della struttura dei contenuti attraverso la A1. Chiarificazione disciplinare: A1.1 – libri di testo e pubblicazioni; A1.2 – sviluppo storico delle idee; A1.3 – Concezioni ed idee spontanee dei ragazzi; A2. Analisi della significatività educativa; B. Ricerca sui percorsi di I/A; C. Sviluppo di materiali e attività di ricerca, proposte di I/A con nuovi metodi.

Dalle sperimentazioni di ricerca fatte emerge che una formazione separata alla conoscenza dei contenuti (CK) ed alla conoscenza pedagogica di base (PK) determina non attiva la personale costruzione di un PCK. La conoscenza scientifica e i ragionamenti naturali co-esistono nello stesso terreno in forma spesso contraddittoria; lo stile di insegnamento riproduce una lista narrativa di nozioni, una serie di risposte a questioni non poste o che lo studente non riconosce come sue; il ragionamento di senso comune è evocato come strategia per coinvolgere lo studente, ma non è usato come punto di partenza per produrre l'evoluzione del modo di pensare dello studente; la prospettiva globale da quella locale nei ragionamenti non è promossa (Guess-Newsome 1999; Michellini 2004; Viennot 2004). Una possibile strada è quella di costruire le CK analizzando

proposte didattiche che vengono dalla ricerca (Corni, Michelini et al 2004; Bat Sheva Eylon 2006; Heron, Michelini; Stefanel 2011). Ciò attiva la riflessione tra elementi di CK e corrispondenti elementi del PCK, ma non basta per formare docenti in grado di attivare le PCK nei contesti reali di insegnamento, di tradurre le competenze sui nodi disciplinari in competenze progettuali.

Si è visto che condizione necessaria per una formazione insegnanti efficace di tipo PCK è necessario realizzare una integrazione dei modelli metaculturale, esperienziale e situato.

Nella formazione degli insegnanti primari in fisica presso l'Università di Udine dal 2001 si è operato nella prospettiva del MRE integrando i tre modelli come segue per ottenere PCK. 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. Con attività laboratoriali nell'ambito informale della mostra GEI si progettano e vivono esperienze di attività con i bambini. Si riflette sui nodi concettuali degli studenti nell'apprendimento durante le attività situate, attraverso cui si sviluppa il PCK-in-azione e il PCK-sull'azione, con sperimentazione di proposte di Insegnamento/Apprendimento basate su microstep concettuali in cui l'insegnante oltre ad avere esperienza dell'interazione con gli studenti, forma le sue competenze operative sulla pianificazione didattica, ed apprende le metodologie di monitoraggio e analisi dei dati di ricerca sull'apprendimento, integrando la ricerca curricolare (Design Based Research – Constantinou 2010 con la ricerca empirica (Niedderer 2010). Le esperienze situate vengono analizzate e discusse in forma cooperativa.

Un impegnativo lavoro viene svolto per elaborare una conoscenza concettuale disciplinare (CoK - integrando MRE e PCK), la gestione di strumenti didattici, l'attenzione ai processi di apprendimento. Particolare attenzione viene posta per produrre un atteggiamento dell'insegnante che raccorda fenomeni quotidiani con le molte dimensioni della conoscenza, integra l'educazione informale nel curriculum (Michelini 2004). Tra gli strumenti più efficaci di lavoro vi sono i questionari PCK in cui gli studenti si confrontano con le loro idee mentre si chiedono quali ragionamenti sottendono a frasi tipiche di studenti nella lettura dei fenomeni.

Considerazioni conclusive

Lo sviluppo di competenze professionali non può essere lasciato al lavoro individuale dell'insegnante a seguito di una formazione sui contenuti disciplinari e pedagogici. La comprensione e la conoscenza concettuale richiedono l'analisi di percorsi didattici e questionari PCK. Questi ultimi favoriscono la conquista di una conoscenza concettuale sui contenuti disciplinari, l'integrazione tra conoscenze disciplinari e pedagogiche, la riflessione sui ragionamenti degli studenti, la coerenza nella progettazione di percorsi didattici e l'attenzione ai ragionamenti dei ragazzi. L'integrazione di modelli metaculturali esperienziali e situati sembra essere una condizione necessaria alla formazione della professionalità docente.

Risulta cruciale costruire nella formazione degli insegnanti un linguaggio basato sulle parole ed i verbi usati nella vita quotidiana, che non si riferisca agli schemi interpretativi locali ed ingenui di senso comune, ma in modo semplice e non ambiguo aiuti a leggere i fenomeni comuni.

Otto attività sembrano essere utili allo sviluppo di una professionalità nei futuri insegnanti: la riflessione su concetti rilevanti e nodi o difficoltà di apprendimento da prospettive diverse, la discussione di gruppo di nuclei e nodi concettuali, l'analisi di percorsi didattici messi a punto dalla ricerca, questionari PCK, progettazione di moduli di intervento formativo, sperimentazione dei moduli progettati monitorando i processi di apprendimento, tirocinio con responsabilità degli esiti formativi, integrazione della dimensione di ricerca nella pratica didattica.

Bibliografia

- Aiello Nicosia, M.L., Michelini, M. *et al.* (1997). "Teaching mechanical oscillations using an integrate curriculum", *International Journal in research on Science Education* 19 (8), 981-995.
- Anderson, L.M., Evertson, C.M. & Brophy, J.E. (1979). "An Experimental Study of Effective Teaching in First-Grade Reading Groups", *The Elementary School Journal* 79 (4), 193-223.

- Bat-Sheva, E. & Bagno, E. (2006). "Research-design model for professional development of teachers: Designing lessons with physics education research". *Phys. Rev. St. Phys. Educ. Res.* 2, 020106 _2006, 020106-1-020106-14,
- Bohicchio, M., Longo, A., Michelini, M. & Stefanel, A. (2005). "Learning Objects for Blended Activities and Pre-Service Teachers Formation in Physics", in CRESILS, R. Pitntò & D. Couso (eds.), *Selected papers in ESERA publication*, Barcellona [ISBN: 689-1129-1].
- Bosio, S., Di Pierro, A., Meneghin, G., Michelini, M., Parmeggiani, P. & Santi, L. (1999). *A multimedial proposal for informal education in the scientific field: a contribution to the bridge between everyday life and scientific knowledge*. European Multimedia Workshop, Lille, 1998. International Conference on Science Education for the 21st Century - SciEd21 Book, K. Papp, Z. Varga, I. Csiszar & P. Sik (eds.), Szeged University, Hungary.
- Bosio, S., Capocchiani, V., Michelini, M., Pugliese Jona, S., Sartori, C., Scillia, M.L. & Stefanel, A. (1997). *Playing, experimenting, thinking: exploring informal learning within an exhibit of simple experiments, in New Way for Teaching*, Ljubljana: Girep book.
- Bradamante, F., Fedele, B. & Michelini, M. (2005). "Children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields". In CRESILS, R. Pitntò & D. Couso (eds.), *Selected papers in ESERA publication*, Barcellona [ISBN: 689-1129-1].
- Buckberger, F., Campos, B.P., Kallos, D. & Stephenson, J. (2000). *Green paper on teacher education in Europe*, TNEE - European Commission (DG XXII).
- Cobal, M., Corni, F., Michelini, M., Santi, L. & Stefanel, A. (2002). "A resource environment to learn optical polarization". In *Physics in new fields*, Girep International Conference proceedings, Lund.
- 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.
- Constantinou, C. (2010). *Design based research as a framework for promoting research-informed adoptions of inquiry oriented science teaching*, ESERA Summer School. Udine.
- Corni, F., Michelini, M. & Stefanel, A. (2004). "Strategies in formative intervention modules for physics education of primary school teachers: a coordinated research in Reggio Emilia and Udine". In M. Michelini (ed.), *Quality Development in the Teacher Education and Training*. Selected papers in Girep book, Udine: Forum, 382-386.
- Duit, R. (2008). "Physics Education Research – Indispensable for Improving Teaching and Learning". In R. Jurdana-Sepic *et al.* (eds.), *Frontiers*

- of Physics Education*, Rijeka: Zlatni, 2-10 <<http://www.naturfagsentret.no/esera/summerschool2006.html>>.
- Duit, R. (2009). *Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*, <<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>>.
- Duit, R., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2005). In H.E. Fischer (ed.), *Developing standards in research on science education*, 1-9.
- Elbaz, F. (1983). *Teacher thinking: A study of practical knowledge*. New York: Nichols.
- Fedele, B., Michelini, M. & Stefanel, A. (2005). "5-10 years old pupils explore magnetic phenomena in Cognitive Laboratory (CLOE)". In CRE-SILS, R. Pintò & D. Couso (eds.), *Selected papers in ESERA publication*, Barcellona [ISBN: 689-1129-1].
- 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, 309-349.
- Fisher, H.E. (ed.) (2005). *Developing Standard in Research on Science Education*. London: Taylor and Francis, 1-9.
- Gess-Newsome, J. (1999). "Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation". In J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (ed.), *Examining pedagogical content knowledge*, Dordrecht: Kluwer, 3-17.
- 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*, selected papers, in GIREP-EPEC & PHEC Book, Leicester: Lulu [ISBN: 978-1-4466-1139-5], 147-161.
- Holbrook, J., Rannikmäe, M. (2001). *Introducing STL: A Philosophy and Teaching Approach for SE*, ICASE, 1-19.
- Jona Pugliese, S. & Michelini, M. (2001). "Development of a Lab-oriented Hypertextual Teacher Training and Classroom materials: an example from Geiweb". In R. Pintò & S. Surinach (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference, Paris: Elsevier, 679.
- Jüttner, M. & Neuhaus, B.J. (2010), "Using empirically analyzed pupils' errors to develop a PCK test". In G. Cakmakci & M.F. Taşar (eds.), *Contemporary science education research: scientific literacy and social aspects of science, Book 2*, Ankara, Turkey: Pegem Akademi, 330-240.
- Lumbelli, L. (1996). "Focusing on text comprehension", In C. Cornoldi & J. Oakhill (eds.), *Reading comprehension difficulties*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). "Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science teachers". In J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 95-132.
- Marucci, G., Michelini, M. & Santi, L. (2001). "The Italian Pilot Project LabTec of the Ministry of Education". In R. Pintò & S. Surinach (eds.). *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phytec2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phytec2000 International Conference. Paris: Elsevier. 607.
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S. & Costantiniou, C.P. (2000). "Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry", *Phys. Educ.* 35 (6).
- Michelini, M. (2004). "Fisica in contesto per formare gli insegnanti elementari". In *Percorsi in Formazione - Diventare insegnanti nella scuola dell'infanzia e nella scuola primaria*, Udine: Forum [ISBN 88-8420-199-3], 43-58.
- Michelini, M. (2004). *L'educazione scientifica nel raccordo territorio/università a Udine*, 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*, selected papers in Girep book. Ljubijana [ISBN 961-6619-00-4], 18-39.
- Michelini, M. (2010). "Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena to develop formal thinking". In L. Menabue & G. Santoro (eds.), *New Trends in Science and Technology Education*, Selected Papers, vol. 1. Bologna: Clueb [ISBN 978-88-491-3392-9], 257-274.
- Michelini, M. (2012). *Research Based Teacher Education in Europe*, invited talk in AAPT Congress, Philadelphia 2012.
- Michelini, M. (ed.) (2004). *Quality Development in the Teacher Education and Training*, selected papers in Girep book. Udine: Forum.
- Michelini, M. & Mossenta, A. (2011). "Building a PCK Proposal for Primary Teacher Education in Electrostatics". In *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?*, International Conference GIREP-ICPE-MPTL 2010 Proceedings, Université de Reims Champagne Ardenne, Reims 22-27 August 2010, <http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29476/30030.pdf>.

- Michellini, M., Mossenta, A. & Benciolini, L. (2000). "Teachers answer to new integrated proposals in physics education: a case study in NE Italy". In E. Mechlova (ed.), *Information and Communication Technology in Education*, Intern. Conf. Proceedings, University of Ostrava, 149.
- Michellini, M., Santi, L. & Stefanel, A. (2010). "Thermal sensors interfaced with computer as extension of senses in kindergarten and primary school, in Multimedia in Physics Teaching and Learning". In M. Michellini, R. Lambourne & L. Mathelisch (eds.), *SIF, Bologna and in Il Nuovo Cimento*, 33 C, 3, DOI 10.1393/ncc/i2010-10641-x, *NIFCAS* 33 (3), 171-179.
- Michellini, M., Santi, L. & Stefanel, A. (2012). "PCK approach for prospective primary teachers on energy". In F. Tasar (ed.). *The World Conference on Physics Education 2012*, Pegem Akademi, Ankara, 2014 [ISBN 978-605-364-658-7].
- Michellini, M., Santi, L., Stefanel, A. & Meneghin, G. (2002). "A resource environment to introduce quantum physics in secondary school", Proceedings International MPTL-7, <<http://informando.infm.it/MPTL/>>.
- Michellini, M., Santi, L., Stefanel, A. & Vercellati, S. (2011). "Community of prospective primary teachers facing the relative motion and PCK analysis". In *Teaching and Learning Physics today: Challenges? Benefits?*, International Conference GIREP-ICPE-MPTL 2010 Proceedings, Université de Reims Champagne Ardenne, Reims 22-27 August 2010, <http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29840.pdf>.
- Michellini, M. & Sperandeo, R.M. (2011). *Challenges in Primary and Secondary Science Teachers Education and Training*, <<http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-international-conference/list-of-submitted-full-papers-for-proceedings,13181,23069.html?>>>.
- Michellini, M. & Stefanel, A. (2006). "Hands-on sensors for the exploration of light polarization". In G. Planinsic & A. Mohoric (eds.). *Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, selected papers in Girep Book. Ljubijana [ISBN 961-6619-00-4], 202-208.
- Michellini, M., Stefanel, A. & Longo, A. (2005). "Blended Activity using Learning Objects in Web OpenEnvironments for Primary School Teachers Formation in Physics Education". In *Physics Teaching and Learning*, selected paper in Girep Book, dedicated to the memory of professor Arturo Loria. Udine: Forum [ISBN: 88-8420-280-9], 103-112.

- Michellini, M. & Viola, R. (2009). *Blended Modality in Implementing an European Project on Curricular Innovation for Research Based in-Service Teacher Training on Superconductivity*, MPTL14 Proceeding, CD-ROM and <<http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>>.
- Michellini, M. & Meneghin, G. (2000). "Heat and Temperature: a hypertext documentation of a school experience planned as a support for teacher training", European Multimedia Workshop 1997. Cit. in N. Bergomi & L. Borghi, Workshop 1997, *La Fisica nella Scuola*, XXXI, 3 Suppl., 1998, p. 82, Wirescript (Web Information REpository on Scientific Culture Research Innovation Policy and Technology) Magazine (with refereed papers: C. del Papa (editor), A.M. Kendoff, P. Barberio Corsetti (coeditors), editorial board: G.Barbiellini, C. Boulin, M. Hammel, G. Franceschetti, G. Scalera McClintock, K.M. Smith), <www.wirescript.com>, aprile 2000.
- Mullis, I.V.S., Martin, M.O., Olson, J.F., Berger, D.R., Milne D. & Stanco G.M. (eds.) (2008). *TIMSS 2007 Encyclopedia. A Guide to Mathematics and Science Education Around the World*. Volume I. Chestnut Hill, MA: Boston College, 203-216.
- Murdock, J. (2008). "Comparison of curricular breadth, depth, and recurrence and physics achievement of TIMSS population 3 countries". *International Journal of Science Education* 30 (9), 1135-1157.
- Niedderer, H. (2010). *Content-specific research in science education*, ESE-RA Summer School, Udine 2010.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2007a). *PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world - Volume I: Analysis*. Paris: OECD.
- 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), 1-6.
- 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), 261-284.
- Pintò, R. & Surinach, S. (eds.) (2001). *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference. Paris: Elsevier, 679.
- PISA inquiry <www.pisa.oecd.org>.
- Rohaan, E., Taconis, R., Jochems, W., Lange, K., Kleickmann, T., Moeller, K., Schmelzing, S., Wuesten, S., Sandmann, A., Neuhaus, B., Riese, J., Reinhold P., Olszewski, J., Neumann, K. & Fischer, H.E. (2010). "Different approaches to measure teachers' pedagogical content knowledge". In G. Cakmakci & M.F. Taşar (eds.), *Contemporary scien-*

- ce education research: scientific literacy and social aspects of science, Book 1*, Ankara, Turkey: Pegem Akademi, 59-60.
- Sassi, E. (2012). *General talk in FFP12*, <<http://www.fisica.uniud.it/~ffp12/ftp/fullpapers/GT9MicheliniandSassi.pdf>>.
- Shulman, L.S. (1981). "Disciplines of Inquiry in Education: An Overview". *Educational Researcher* 10 (6), 5-12, 23.
- Shulman, L.S. (1987). "Knowledge and teaching: Foundations of the new reform". *Harvard Educational Review* 57 (1), 1-22.
- Shulman, L.S. (1986). "Those who understand: knowledge growth in teaching". *Educational Researcher* 15 (Z), 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*, Girep Book of selected papers. Udine: Forum [ISBN: 88-8420-148-9], 276-283.
- Steps (2012). <<http://www.stepstwo.eu>>.
- Taşar, M.F. & Çakmakçı, G. (eds.) (2010). *Contemporary science education research. Vol.2: preservice and inservice teacher education*. Ankara, Turkey: Pegem Akademi.
- Theodorakakos, A., Hatzikraniotis, E. & Psillos, D. (2010). "PEC task explorer: a tool for ICT supported learning in science". In C. Constantinou et al. (eds.), *CBLIS 2010*. Warsaw: Oelizk, 75-83.
- Thornton, R.K. & Sokoloff, D.R. (1999). "Learning motion concepts using real-time microcomputer-based lab tools", *A.J.P.* 58 (9), 858-867.
- TIMSS (2007). *Trends in International Mathematics and Science Study*, <<http://www.timss.bc.edu/>>.
- TIMSS (2008). *TIMSS Advanced 2008* (che ha coinvolto 10 nazioni: AM, IR, IT, LB, NL, NO, PH, RU, SI, SE), <<http://nces.ed.gov/Timss/>>.
- Titulaer, U. (2012). *Steps two: European Benchmarks for Physics Teacher Education Degrees*. Document by: Urbaan M. Titulaer, Linz, Austria. Task force members: Ovidiu Caltun, Iasi, RO; Eamonn Cunningham, Dublin, IE; Gerrit Kuik and Ed van den Berg, Amsterdam, NE; Marisa Michelini, Udine, IT; Gorazd Planinsic, Ljubljana, SI; Elena Sassi, Napoli, IT; Urbaan Titulaer, Linz, AT (Chair); Rita van Peteghem, Antwerpen, BE; Frank van Steenwijk, Groningen, NL; Vaggelis Vitoratos, Patras, GR. 74 Physics Departments from 32 countries, supported by the EU and EPS, Working Group 1: Physics, curricula after Bologna, Working Group 3: Physics, Teacher Education. Presentato alla WCPE, Istanbul 2012.

- Viennot, L. (2008). "Attracting students towards physics - A Question of topics?". In R. Jurdana-Sepic *et al.* (eds.). *Frontiers of Physics Education*, Rijeka: Zlatni, 34-43.
- 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), 13-27.
- Volmer, M. (2003). "Physics teacher training and research in physics education: results of an inquiry by the European Physical Society", *Eur. J. Phys.* 24, 131-147.
- Vosniadou, S (2007). *Human Development* 50, 47-54.
- Vosniadou, S. (ed.) (2004). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (Educational Psychology Handbook), Erlbaum.
- WCPE book (2014). *The World Conference on Physics Education 2012*, Ankara: Pegem Akademi [ISBN 978-605-364-658-7].