

FORMAZIONE DEGLI INSEGNANTI ALL'INNOVAZIONE DIDATTICA IN FISICA

MARISA MICHELINI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

Abstract: La professionalità docente determina la qualità dell'istruzione. La formazione degli studenti in area scientifica ed in fisica in particolare è una sfida a livello europeo determinata dall'esito di indagini a livello internazionale, in cui sono emerse gravi carenze in molti Paesi e dalla decrescente motivazione verso studi scientifici da parte dei giovani. Un grande bisogno di cambiamento negli strumenti e nei metodi didattici in tale area emerge dalle ricerche sull'apprendimento che evidenziano come i modi di apprendere non corrispondano al modo in cui la conoscenza è strutturata nei libri e negli insegnamenti di tipo trasmissivo. Lo studente protagonista della propria conoscenza è inoltre una modalità auspicata perché si sviluppino competenze e non solo conoscenze. Ricerche a livello europeo hanno evidenziato che gli insegnanti non posseggono quella conoscenza concettuale che dovrebbero sviluppare nei loro studenti. La formazione degli insegnanti è quindi una necessità dettata dal cambiamento degli obiettivi scolastici e dalle sfide poste per garantire una cultura globale, anche scientifica, ai cittadini.

Keywords: metodi, formazione, educazione scientifica, ricerca didattica.

1. Introduzione

La professionalità docente può essere considerata l'aspetto specifico caratteristico più importante nell'istruzione (Elbaz 1983, p.11), cardine per migliorare l'apprendimento degli studenti, rinnovare i curricula effettivamente attuati nelle scuole, introdurre innovazione didattica e metodologica basata sugli esiti della ricerca (Calderhead 1996, Borko, Putnam 1996; Park, Oliver 2008). Formare gli insegnanti per l'educazione scientifica è pertanto una sfida in cui si gioca la possibilità di trasferire alle nuove generazioni una cultura in cui la scienza è parte integrante, non marginale. È una sfida che si gioca sulla possibilità di offrire agli studenti l'appropriazione di elementi fondamentali del sapere scientifico, in una forma che permetta loro di saperli gestire anche in altri mondi: nei contesti quotidiani, nelle questioni sociali, nel lavoro.

Il problema che ci troviamo ad affrontare è che vi è una sostanziale carenza in campo scientifico nella cultura di base dei cittadini (Holbruch 2002). L'influenza idealista ed illuminista ha creato visioni mistificate della scienza, purtroppo largamente diffuse anche ad alti livelli sociali (Olsen, Prenzel, Martin 2011). La fisica viene confusa con la tecnologia, considerata una disciplina deterministica e totalizzante, che ammette soltanto un mondo misurabile e prevedibile, mediante difficili strumenti formali, accessibili soltanto alla comunità eletta degli scienziati, di per sé poco motivante per i giovani. Alcune ricerche hanno però mostrato che tutte le volte che i giovani si trovano davanti ad un problema vero, a una sfida culturale, come quelle poste in campo scientifico, risultano motivati e dimostrano grande impegno (Viennot 2008). L'educazione scientifica è oggi un'emergenza a livello internazionale nella sfida per lo sviluppo. Il problema di una cultura scientifica dei cittadini si pone 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, ma deve essere sede di una meta-riflessione anche sull'esperienza in cui strumenti e metodi della scienza devono essere 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); laboratori per esplorare con i sensi, la mente, i sensori, gli strumenti. Si deve avviare l'educazione scientifica molto presto, con le prime esperienze di conoscenza del mondo con insegnanti preparati sin dai primi livelli scolari (Buckberger *et al.* 2000, Michelini 2004).

L'indagine TIMSS (TIMSS 2007, 2008) ha permesso di individuare strategie e metodi utilizzati comunemente dagli insegnanti, evidenziando in particolare che la quasi totalità degli insegnanti è vincolata ai libri di testo/sussidiari (circa 100%), per metà del tempo di insegnamento impegna i ragazzi nella lettura della 'teoria' o in come fare esercizi (> 50%), a volte facendo assistere a dimostrazioni (11- 54 %) e solo in pochi casi coinvolgendoli nello svolgimento di esperimenti o esplorazioni (0 – 30 %). Nella prospettiva della Ricerca Didattica in Fisica emerge che 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.

Dal questionario STEPS TWO (2010) è emerso che nella maggior parte delle Nazioni attualmente i programmi di formazione iniziale degli insegnanti (FII) utilizzano due principali modelli: I. sequenziale, in cui la formazione Disciplinare precede quella Pedagogica; II. parallela, in cui si sviluppano parallelamente, in forma comunque separata, i contenuti disciplinari e quelli pedagogici. In molti Paesi sono in corso nuovi sviluppi nei programmi o nei metodi della FII. In merito alla natura e al livello di conoscenze in fisica degli insegnanti in formazione, da STEPS TWO emerge 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 2012).

Il problema della Formazione Iniziale Insegnanti (FII) coinvolge diversi piani: A) le strutture e l'organizzazione della formazione degli insegnanti; B) le discipline, i contenuti e le attività; C) il contributo della ricerca didattica, e viene visto con prospettive diverse da diversi soggetti (Ministri/politici, Facoltà/Dipartimenti – Reti nazionali, Comunità di ricerca), ma le risposte vengono solo dalla ricerca su tale sfida e dall'integrazione della ricerca didattica nella formazione iniziale degli insegnanti.

2. Le basi degli studi sulla formazione degli insegnanti

La formazione iniziale degli insegnanti (FII) è un campo su cui la ricerca in didattica della fisica lavora da molto tempo. Essa non va confusa/sostituita con ricerche pedagogiche sull'insegnamento o ricerche psicologiche sull'apprendimento individuale, o con 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*) (Shulman 1986, 1987; Guess Newsome 1999; Magnusson *et al.* 1999).

L'analisi di Shulman parte dalla riflessione sulle prove di abilitazione degli insegnanti (Shulman 1986), che ponevano una pesante enfasi sulle procedure, su come gli insegnanti gestiscono la classe, organizzano le attività, fissano i tempi e i compiti, giudicano l'apprendimento generale dello studente, senza nessuna attenzione ai contenuti del

curriculum. Vi era una evocazione della competenza di insegnamento basata sulla ricerca, ma non si faceva nessuna mappatura della stessa.

Anche negli studi sull'insegnamento c'era l'omissione del ruolo dei contenuti disciplinari. Il comportamento dell'insegnante veniva correlato con gli esiti: il successo formativo dei ragazzi, in termini di numero di studenti promossi, senza guardare ai contenuti. Nessuno si poneva il problema di come i contenuti vengano trasformati dalla conoscenza dell'insegnante al contenuto dell'istruzione. Non veniva effettuato alcun esame del processo di apprendimento dei contenuti e veniva posta poca attenzione alla riorganizzazione della conoscenza a scopo didattico da parte dell'insegnante. I ricercatori ignoravano un aspetto centrale della vita in classe, i contenuti disciplinari. Le ricerche riguardavano soprattutto l'efficacia dell'insegnante, ad esempio l'accresciuto stile espositivo. Esperimenti di ricerca in classe inoltre indagavano su come l'insegnante, formato ad usare specifiche impostazioni, trovasse il comportamento più efficace per promuovere l'apprendimento degli studenti (Anderson 1976; Shulman 1981).

La riflessione avviata da Shulman ha posto nuove domande di ricerca sulle scelte di cosa insegnare, sull'origine delle spiegazioni, su come individuare come apprendano gli studenti, sulle sorgenti della conoscenza degli insegnanti, sulle caratteristiche e il ruolo delle rappresentazioni sulle fonti di analogie, metafore, esempi, dimostrazioni o nuove formulazioni-rifrasamenti (Shulman 1986, 1987). Shulman si è chiesto come l'insegnante apprenda e come impari a trasformare i contenuti disciplinari in un contenuto di istruzione che i suoi studenti comprendono. Ha studiato il dominio e le categorie della conoscenza dei contenuti dell'insegnante e come siano correlate la conoscenza dei contenuti (CK) e quella pedagogica (PK).

Tra le categorie della conoscenza dell'insegnante Shulman individua non solo la conoscenza disciplinare, ma anche la conoscenza curricolare che comprende: i programmi per l'insegnamento di una disciplina, i materiali didattici e la loro varietà (libri, articoli, esiti di ricerche, percorsi), i materiali per l'istruzione, testi alternativi, software, esplorazioni di laboratorio, percorsi didattici.

Con un'analisi concettuale della conoscenza degli insegnanti individua tre principali fonti di conoscenza per l'insegnamento: (i) ricerche su percorsi didattici, di insegnamento / apprendimento (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; (ii) conoscenza di casi: prototipi, buone pratiche; (iii) conoscenza strategica: padronanza di procedure, contenuti, conoscenza razionale; riflessione sulla propria conoscenza; competenze metacognitive per progettare attività curricolari. Ha introdotto l'*insegnabilità* di un contenuto (PCK – *Pedagogical Content Knowledge*), che va oltre la CK (conoscenza) del contenuto in sé, 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, che implica una comprensione di ciò che rende facile o difficile l'apprendimento di specifici argomenti, concezioni e preconcezioni, strategie fertili nella riorganizzazione della comprensione, i fraintendimenti degli studenti e la loro influenza sull'apprendimento, la conoscenza dell'agire pedagogico (PK). La teorizzazione dell'*insegnabilità* mira a far comprendere in che cosa consista e come avvenga la crescita della conoscenza dell'insegnante per una professionalità docente (Shulman 1986, 1987). Shulman ha anche sottolineato come gli insegnanti contribuiscano alla letteratura dei casi emblematici / buone pratiche, con studi sperimentali sull'efficacia dell'insegnamento e la trasformazione della propria conoscenza in insegnamento.

La prospettiva del PCK è stata il riferimento teorico sul quale si sono sviluppati nuovi modelli e metodi. La letteratura è vasta, ma ciò che ha prodotto un salto di attenzione in Europa è stato il *Green Paper on teacher education in Europe* (Buckberger *et al.* 2000), esito dell'incontro dei Ministri dell'Istruzione Europei, che entra nel merito delle attività necessarie per la formazione degli insegnanti e ricorda come la cultura scientifica di base non può bastare per abilitare gli insegnanti ad attuare progetti didattici di successo. Il *Green Paper* sottolinea il ruolo cruciale della progettazione realizzata in appropriate situazioni di insegnamento/apprendimento in cui i futuri insegnanti possono trovare occasioni di sviluppo delle principali abilità professionali. Indica alcune attività necessarie per la formazione di una professionalità docente, come la ricostruzione didattica dei contenuti disciplinari; l'esplorazione e la progettazione di situazioni di *Problem Solving*, la progettazione curricolare basata sulla ricerca; la pianificazione di interventi di insegnamento/apprendimento, l'analisi di nodi di apprendimento, l'analisi dei ragionamenti degli studenti in attività di insegnamento apprendimento (I/A).

3. La formazione degli insegnanti in area scientifica in Europa dagli anni 2000

Le comunità di ricerca in didattica dagli anni 2000 sono state molto attive anche in Europa. Un Congresso a Barcellona ha raccolto centinaia di contributi in materia (Pintò 2001). Il seminario internazionale del GIREP del 2003 ha sottolineato tre condizioni principali per la formazione di successo degli insegnanti: A) specifici programmi professionali per la formazione degli insegnanti; B) raccordo tra scuola e università; C) ricerca didattica in fisica, integrata con la formazione degli insegnanti e la didattica scolastica (Michelini 2004).

Studi ed indagini internazionali condotti in progetti europei hanno evidenziato le caratteristiche generali e i bisogni formativi degli insegnanti (ROSE 2006; TIMSS 2007-2008; SECURE 2008; MOSEM 2010; Steps 2012; Hope 2017) insieme a preoccupanti carenze formative degli studenti, in particolare in ambito scientifico (TIMSS 2010; IJSE 2011; PISA 2009). È emerso, in ricerche presentate in congressi internazionali ESERA (www.esera.org), GIREP (www.girep.org) e nella World Conference on Physics Education (Tasar 2012), che 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. Le avviate formazioni iniziali degli insegnanti sono da un lato troppo riprodotte di prassi, mai analizzate in termini di efficacia, e dall'altro impostate sul carattere accademico e trasmissivo, che si ritrova anche in quello che dovrebbe essere un processo di formazione professionale. La presenza di figure esperte del mondo della scuola diventa talvolta una delega alla professionalizzazione, con rinuncia al valore migliore dei sistemi di formazione degli insegnanti: la collaborazione a profili condivisi.

Il male peggiore è l'erogazione di corsi di pedagogia generale, non mirati alla competenza pedagogica da costruire come docente, accanto a corsi disciplinari, in cui viene proposta la disciplina in termini strutturati, quando si sa che il modo di apprendere non è quello sinottico strutturato e sono necessari metodi e strategie che permettano conoscenza concettuale sulla quale costruire il pensiero formale, che in fisica è parte integrante della competenza disciplinare.

La rapida evoluzione della società e del mondo del lavoro sulla spinta delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione ha introdotto una complessità nuova, un mondo del lavoro in rapida evoluzione (Gatti *et al.* 1998) e una domanda di modalità formative nuove (Van Merriënboer *et al.* 2005) attente a quei dettagli critici che aiutano l'apprendimento, coinvolgono individualmente e offrono sfide intellettuali (Viennot *et al.*

2005). La richiesta sociale e lavorativa dei giovani è diventata sempre di saper utilizzare adeguatamente il vasto mondo dell'informazione per un ruolo sociale, per professionalità e per modalità di lavoro flessibili e sempre nuove. Il ruolo delle risorse umane risulta sempre più importante nella differenziazione richiesta.

In questa nuova prospettiva la preparazione professionale di un insegnante di ambito scientifico è stata approfonditamente analizzata in termini di profilo professionale nel contesto di lavori per lo *Human Talent Management*: un profilo spesso analizzato in termini di *competences* e questo termine è entrato nella nuova normativa internazionale.

Il simposio Steps Two sulla formazione insegnanti, tenutosi nell'ambito del Congresso GIREP 2010 a Reims (Michelini, Sperandeo 2010), ha delineato il quadro condiviso sulle 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. La comunità di Steps Two, nell'ambito della World Conference on Physics Education, Istanbul, July 2012 (Titulaer 2012), ha redatto le raccomandazioni Europee per la formazione degli insegnanti di cui la fisica sia parte in termini di *eurobenchmarks*⁵: 1. aiutare i dipartimenti a progettare e adattare i programmi; 2. individuare *standards* per il Controllo di Qualità (valutazione e accreditamento); 3. progettare programmi supplementari per insegnanti che necessitano di ulteriore qualificazione in fisica o formazione pedagogica (soprattutto in Paesi con percorsi rapidi per la FII); 4. linee guida per il riconoscimento della qualificazione degli insegnanti nei diversi Paesi Europei. Steps two ha indicato anche i requisiti centrali richiesti per la FII, ossia che deve: essere universitaria e preferibilmente a livello di Master; essere basata sulla ricerca nelle varie componenti: Fisica, Didattica della Fisica; Pedagogia applicata e aspetti sociali; Attività pratiche a scuola; Tesi su attività effettiva di I/A. Esempi di competenze 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 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 e imparando dall'esperienza fatta; 5. conoscere e sperimentare un ampio spettro di metodi nella didattica della fisica, compresi esperimenti didattici e impieghi differenziati di tecnologie multimediali; 6. individuare difficoltà concettuali e organizzazione di ambienti di apprendimento per il loro superamento.

La letteratura più recente sul PCK riguarda: i diversi approcci per misurarlo negli insegnanti; come favorisce l'apprendimento e la motivazione; Tests e altri strumenti per misurarlo; le caratteristiche in azione con gli studenti e sull'azione (componente riflessiva dell'insegnante); lo studio di modelli di sviluppo delle competenze operative e strumenti per misurare i diversi aspetti delle competenze (Guess-Newsome 1999; Rohaan *et al.* 2010).

⁵ Il documento, firmato da Urbaan M. Titulaer (responsabile, Linz, Austria), 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), Rita van Peteghem (Antwerpen, BE), Frank van Steenwijk (Groningen, NL), Vaggelis Vitoratos (Patras, GR) è stato l'esito condiviso di un confronto tra 74 Dipartimenti di fisica di 32 Paesi, sostenuti in tale lavoro dalla Comunità Europea e dall'European Physical Society.

4. L'integrazione di competenze per la professionalità docente: il modello MEPS

La teorizzazione di Shulman, che vede la PCK come esito dell'integrazione della conoscenza dei contenuti (CK), della conoscenza pedagogica (PK), della conoscenza concettuale (CoK) (fig.1), non è di per sé sufficiente ad indicare efficaci strategie di formazione, preparazione degli insegnanti (Guess-Newsome 1999; Michelini 2004a).

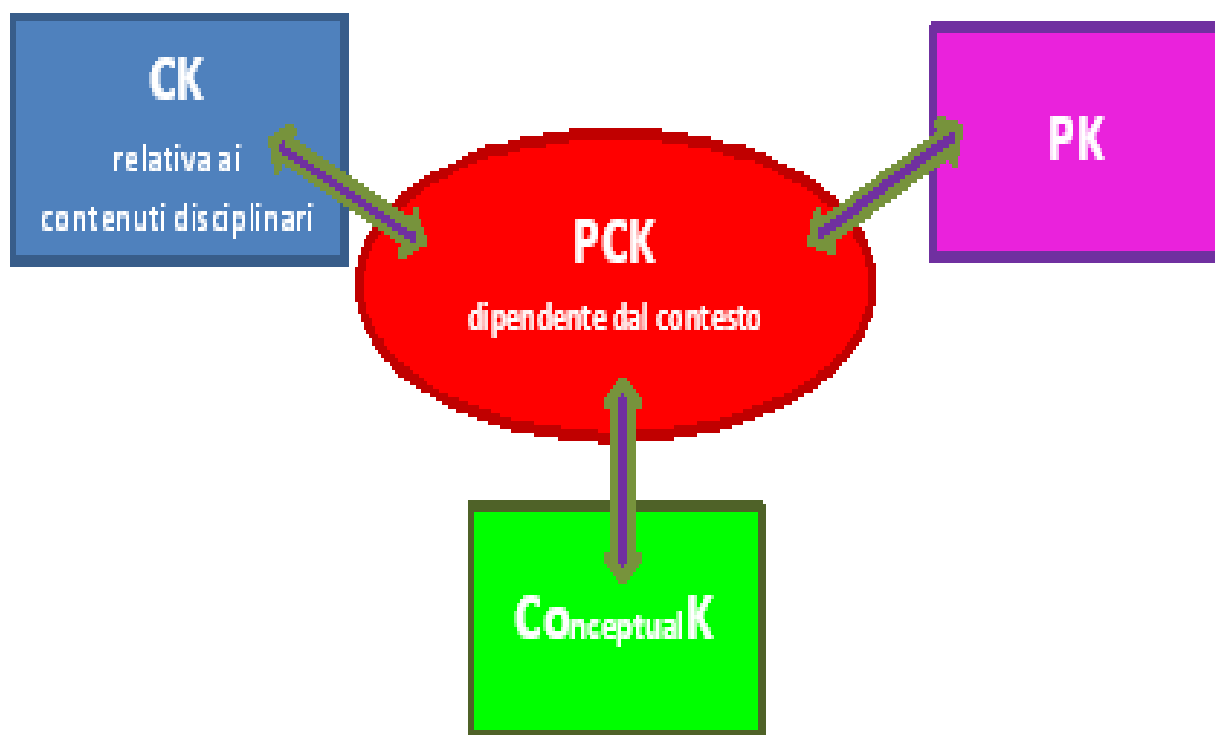


Figura 1. Il CoK come esito della rielaborazione del PCK costituito da conoscenze PK e CK.

In questo contesto, serve guardare ai modelli di FII, ai modi in cui attuarli, studiando il processo.

Dalle sperimentazioni di ricerca fatte emerge che una formazione separata, da un lato mirata alla conoscenza tradizionale dei contenuti (CK) e dall'altro alla conoscenza pedagogica tradizionale di base (PK), determina che: la conoscenza scientifica e i ragionamenti naturali co-esistono nello stesso terreno in forma spesso contraddittoria; non si produce nell'insegnante l'integrazione tra CK – PK; 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, partendo da quella locale nei ragionamenti, non è promossa (Guess-Newsome 1999; Michelini 2004; Viennot 2004).

Una possibile *soluzione/proposta* è quella di costruire le CK analizzando proposte didattiche che vengono dalla ricerca (Corni, Michelini *et al.* 2004; Bat Sheva Eylon 2006; Heron, Michelini 2011). Ciò attiva la necessaria integrazione tra CK e corrispondenti PCK, ma basterà per formare docenti in grado di attivare le PCK nei contesti reali di insegnamento? Basterà per tradurre le competenze sui nodi disciplinari in competenze progettuali?

5. Modelli per la formazione degli insegnanti e ricerche in didattica della fisica a Udine

Il concorso di conoscenze dei tre ambiti pedagogici (PK), dei contenuti (CK) e della conoscenza pedagogica dei contenuti (PCK), teorizzato da Shulman costituisce una base irrinunciabile, ma si è rivelata non sufficiente. Gli elementi costitutivi (i contenuti disciplinari specifici, individuati dai riferimenti accademici; la riflessione sulla natura della scienza e della fisica nello specifico; le proposte didattiche basate sulla ricerca e quelle dei libri di testo; le ricerche sulle difficoltà di apprendimento e sui processi di apprendimento tipici della disciplina o dello specifico contesto disciplinare), che si formano attingendo a fonti differenziate, possono essere sviluppati con approcci molto differenti. In particolare, nella formazione insegnanti centrata su proposte didattiche innovative, si possono individuare tre modelli di riferimento: il modello Metaculturale, il modello Esperienziale, il modello Situato (Michelini *et al.* 2000; 2005). Tali modelli, e in particolar modo quest'ultimo, si integrano con l'apprendimento informale prodotto dalla conoscenza acquisita 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 messo a punto e sperimentato da noi (MEPS) è l'esito dell'integrazione dei tre modelli suddetti, ne raccoglie le valenze e nell'integrazione supera i limiti di ciascuno, che vengono qui di seguito brevemente discussi.

5.1 Il modello Metaculturale

Esso implica la discussione critica di una proposta didattica innovativa esplicitandone i contenuti disciplinari, i processi che caratterizzano l'apprendimento disciplinare specifico (CK), gli aspetti didattici (PK), basandosi, in particolare, su *case studies* di proposte didattiche, oltre che sull'analisi delle difficoltà di apprendimento correlate, che la proposta didattica oggetto della formazione mira a superare. Illustra ogni dettaglio della proposta didattica, ma lascia all'insegnante la programmazione e la preparazione di materiali didattici per lo studente e talvolta anche strategie e metodi in classe. Necessita pertanto di materiali di supporto per la progettazione e l'attuazione in classe delle proposte: ambienti di risorse di materiali professionali per gli insegnanti, come 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 Java per la modellizzazione, documentazione di sperimentazioni didattiche. Il sito dell'URDF (<http://www.fisica.uniud.it/URDF/>) costituisce un ambiente di materiali e risorse di questo tipo per la formazione insegnanti.

L'ambiente GEIWEB (<http://www.fisica.uniud.it/GEI/GEIweb/index.htm>) propone l'educazione scientifica e la fisica in particolare per la scuola di base con modalità tipiche dell'educazione informale in cui, a partire dalle collane di esperimenti della mostra Giochi Esperimenti Idee, sono organizzati materiali di approfondimento, percorsi didattici, schede di lavoro, raccolte di articoli sui processi di apprendimento, proposte di modellizzazione (Bosio *et al.* 1997; 1999; Michelini, Pugliese 2001).



Figura 2. La pagina di accesso all'ambiente di risorse GEIWEB.

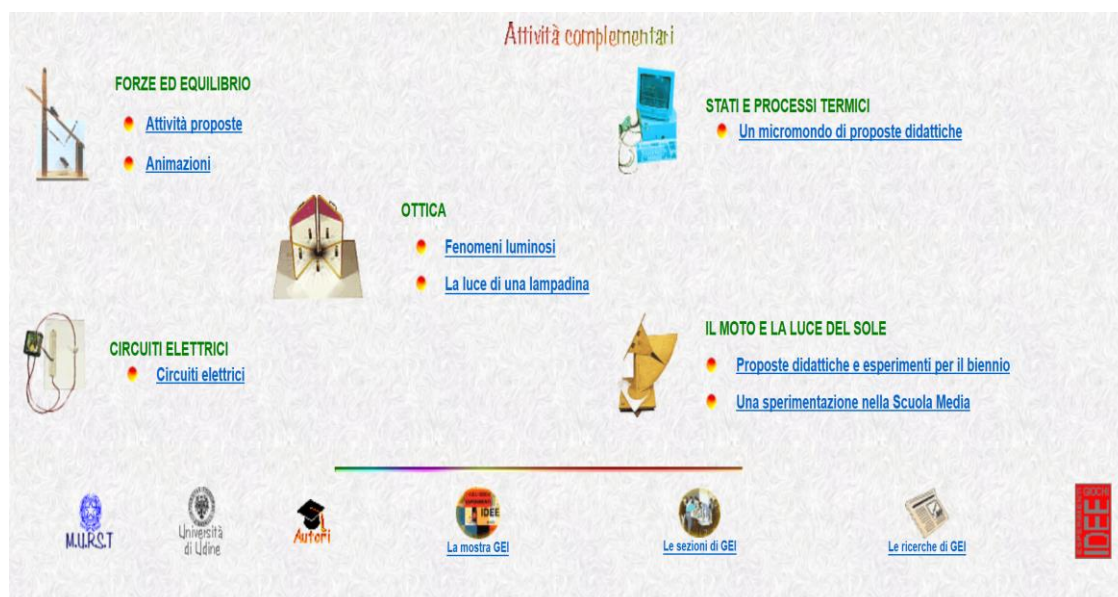


Figura 3. La pagina di approfondimenti, costituita da altrettanti ambienti di risorse tematici.

L'ambiente realizzato nell'ambito del progetto SeCiF, <http://www.fisica.uniud.it/URDF/secif/index.htm>, propone materiali organizzati traducendo la metafora dell'esplorazione di un territorio di risorse (ad esempio un arcipelago), prevedendo per ciascun tema (fenomeni termici per la scuola di base, ottica fisica e meccanica quantistica) la discussione di (fig. 4): 1) motivazioni disciplinari, sociali e didattiche alla base della scelta del tema (Introduzione), 2) approccio, 3) strategia e metodi, 4) prerequisiti, 5) mappa concettuale e mappa procedurale, 6) regia proposta nel percorso (il filo) didattico, 7) attività della regia ed eventuali caratteri interdisciplinari, 8) materiali didattici e principali articoli di riferimento (risorse), 9) discussione dei principali problemi di apprendimento sul tema (nodi concettuali), 10) esperimenti, simulazioni, 11) sperimentazioni in classe (Michelini, Meneghin 2000; Cobal *et al.* 2002; Michleini *et al.* 2002).

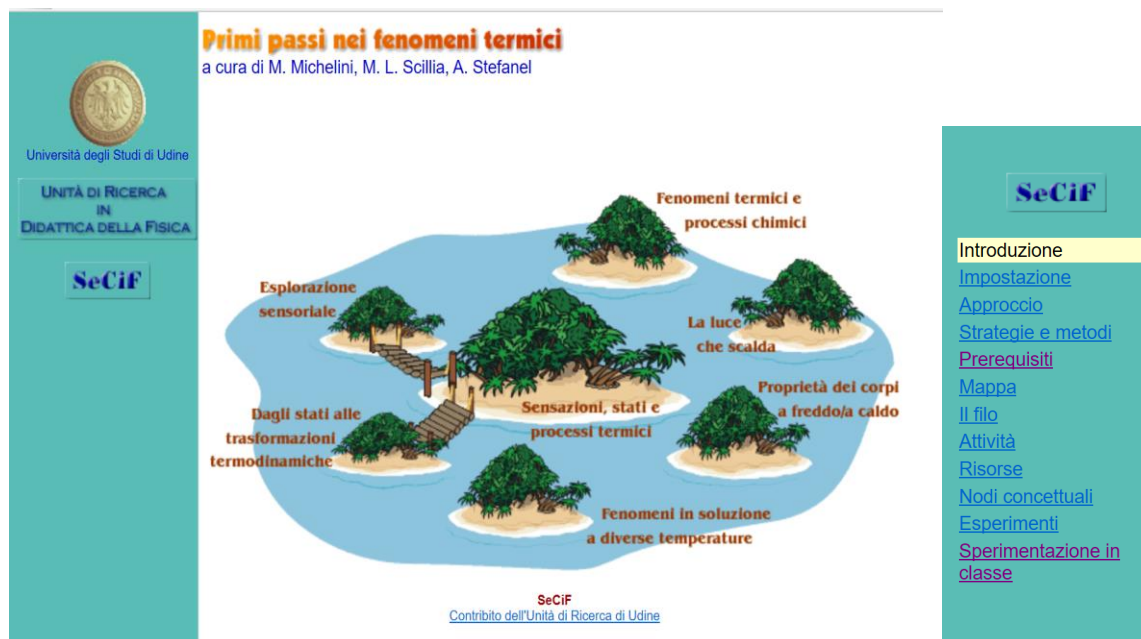


Figura 4. La pagina dell'ambiente SeCiF sui fenomeni termici: arcipelago di proposte (isole) per i diversi livelli scolari raccordate da ponti e isole per approfondimenti. Ciascuna isola contiene la discussione dei punti presentati nella barra di destra.

Interreg III è un altro ambiente interessante, contenente proposte su diversi temi ed articolato in: proposte esplorative, schede esperimenti, proposta didattica e relativo percorso, schede studenti e documentazione della sperimentazione didattica. È stato costruito e sperimentato a seguito di una collaborazione tra la nostra Università di Udine e quella di Lubiana, e messo a disposizione di tutte le scuole delle due regioni limitrofe in Italiano e Sloveno.

Università degli Studi di Udine Repubblica Italiana Regione Friuli Venezia Giulia Unione Europea Repubblica Slovenia Univerzi v Ljubljani

Programma di Iniziativa Comunitaria Interreg III
ITALIA – SLOVENIA 2000 – 2006

Materiali di innovazione didattica in fisica a supporto della formazione iniziale e in servizio degli insegnanti



Università degli Studi di Udine Repubblica Italiana Regione Friuli Venezia Giulia Unione Europea Repubblica Slovenia Univerzi v Ljubljani

Programma di Iniziativa Comunitaria Interreg III
ITALIA – SLOVENIA 2000 – 2006

Materiali di innovazione didattica in fisica a supporto della formazione iniziale e in servizio degli insegnanti

Ottica / Optika

Scuola superiore / Srednja šola

Università degli Studi di Udine

Esplorare la diffrazione ottica: le leggi fenomenologiche / Raziskovanje optične difrakcije: fenomenološki zakoni
a cura di Alberto Stefanel, Adriana Visentin
Schede esperimenti Kartice s preizkusi
Proposta didattica
Schede studente
Sperimentazione didattica

Riconoscere la polarizzazione ottica esplorando l'intensità della luce / Razpoznavati optično polarizacijo s preučevanjem svetlobne jakosti
a cura di Alberto Stefanel, traduzione in sloveno di Gregor Leiler
Proposte esplorative Dejavnostni predlogi
Proposta didattica
Schede studente

Vodne leče | Le lenti ad acqua - Vodni model očesa | Il modello dell'occhio con l'acqua
Ana Gostinčar Blagotinšek
Camera obscura
Sonja Jejič
Senca navidezne slike | L'ombra delle immagini virtuali
Mojca Čepič
Proposte operative Dejavnostni predlogi

Univerzi v Ljubljani

Figura 5. La pagina iniziale e una delle pagine del progetto INTERREG Italia – Slovenia, raggiungibile alla pagina <http://www.fisica.uniud.it/URDF/interreg/index.htm>.

Una formazione basata soltanto sul modello Metaculturale, seppure ricca di materiali di ricerca o studiati per sostenere gli insegnanti nella formazione e nella progettazione didattica, non è sufficiente. Negli anni abbiamo visto che le proposte progettuali degli insegnanti costruite basandosi su tali materiali sono spesso poco organiche, traducono le proposte con lacune in punti cruciali, la coerenza dei ragionamenti e lo sviluppo della comprensione concettuale non sono focalizzati, lo stile di insegnamento tradizionale (trasmissivo) è riadottato anche nell'attuazione dell'innovazione; le idee degli studenti ed il processo di apprendimento non sono considerati nella pianificazione didattica (Guess-Newsome 1999; Michelini 2004. Viennot *et al.* 2005).

5.2 . Il Modello Esperienziale

Esso è basato sul principio di fare in modo che gli insegnanti abbiano esperienza diretta dei percorsi concettuali, che sono proposti ai loro studenti in una specifica proposta didattica. In questo modello l'insegnante fa la stessa attività che sarà poi proposta agli studenti, basandosi su tutorial che oltre a tradurre operativamente la proposta didattica oggetto della formazione, riflettono anche sui singoli passi in cui essa si sviluppa, ne valutano le valenze didattiche e i limiti, individuano i nodi risolti e quelli restati aperti (McDermott *et al.* 2000; Marucci, Michelini, Santi 2000; Michelini, Santi, Sperandeo 2002; Sokoloff, Lawson, Thornton 2004). La formazione alle competenze dei contenuti diventa in tale modello parte della formazione alla PCK, in quanto la riflessione sul processo formativo attivata dai tutorial si incentra sui nodi concettuali dello specifico contenuto disciplinare e sui processi di apprendimento che permettono di superarli. La strategia Previsione Esperimento Confronto (PEC) indirizza alla progettazione dei tutorial, in cui vi sono domande stimolo su uno specifico fenomeno (es. Come ci si aspetta sia il comportamento di diversi oggetti a cui si avvicina un magnete?), si fa un Esperimento o una Esplorazione (es. Effettua la prova. Che cosa si osserva?) e si discutono i risultati (es. Discuti uguaglianze, differenze tra previsione e osservazione. Come spieghi ciò che hai osservato?) (Thornton, Sokoloff 1999; Theodorakakos 2010; Michelini, Santi, Sperandeo 2002).

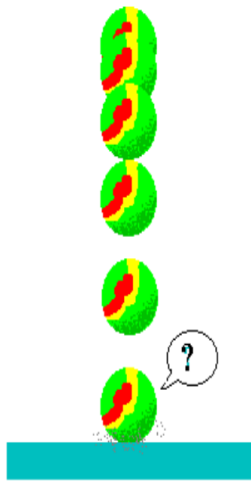
Questa impostazione, utilizzata soprattutto in USA per la formazione degli insegnanti, è stata adottata nel progetto dedicato allo studio della meccanica e realizzato in collaborazione tra le Università di Modena, Napoli, Palermo, Pavia e Udine, con un prodotto rappresentato da una valigetta contenente l'impostazione didattica proposta in un contratto didattico e nelle schede-stimolo tutoriali per gli studenti e gli insegnanti (Michelini, Santi, Sperandeo 2002) (fig.6). Lo studio sperimentale di oscillazioni e onde è un altro prodotto di ricerca con l'impostazione Esperienziale (Ajello *et al.* 2002).



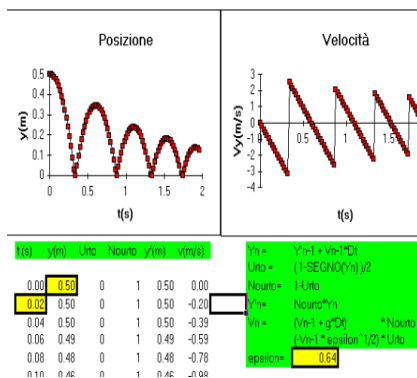
Figura 6. Presentazione del Progetto EspB, <http://cird.uniud.it/espB/VARIA/ESPB.HTM>

Il rimbalzo di una pallina

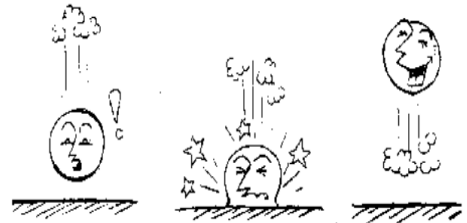
Esplorazione fenomenologica



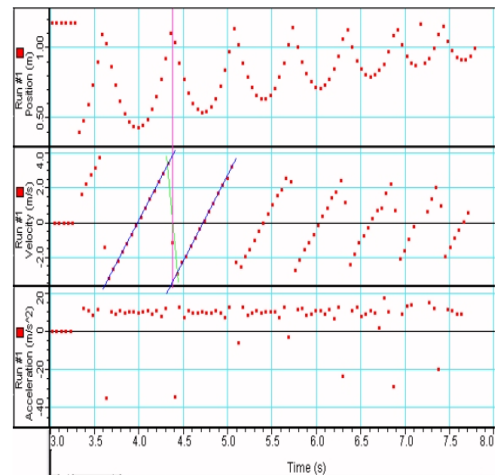
Analisi dati e modelli su foglio elettronico



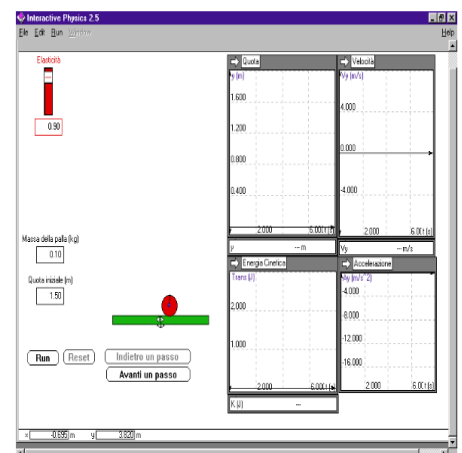
Analisi del fenomeno



Misure con il sensore di posizione



Un micromondo simulato



La sequenza delle immagini riportate richiama le nostre proposte di studio del fenomeno.

Figura 7. Presentazione dell'Unità articolata in 6 diversi approcci allo studio del rimbalzo di una pallina.

Un esempio di approccio tematico di impostazione Esperienziale è la proposta con cui è possibile trattare tutta la meccanica classica (cinematica e dinamica) con attività sperimentali, un esempio di simulazione e di modellizzazione è quello del rimbalzo della pallina: sei unità con tutorial per studenti e insegnanti conducono in modo coerente dall'esplorazione cinematica del rimbalzo della pallina, con leggi fenomenologiche, alla sua trattazione dinamica, con discussione dei grafici del moto a quella energetica (fig. 7 - http://www.fisica.uniud.it/~michelini/pallina/struttura_pallina.html) (Michelini, Santi 2001).

Come strumenti di monitoraggio del processo di apprendimento messo in campo in questo modo, abbiamo progettato e messo a punto Rubriche e Schede (*Exploring, Inquiring, Cards* –EIC) di tre tipologie: TA) la prima tipologia serve ad implementare in forma aperta le domande che attivano il ciclo PEC in merito a una specifica situazione; TB) nella seconda tipologia l'analisi di una prima situazione funge da ancora cognitiva (es. equilibrare su una bilancia un pesetto con un altro peso uguale) per un nuovo scenario ponte che attiva la costruzione di una conclusione più ricca di quella raggiunta nel primo caso (con un pesetto equilibra due pesi uguali posti a uguale distanza dal fulcro della bilancia); l'analisi si conclude con la discussione degli esiti; TC) nella terza tipologia si chiede di rappresentare, ricordandolo, un grafico osservato in tempo reale durante un esperimento, di descriverlo e spiegarlo (Bosio *et al.* 1997). L'attivazione del ciclo PEC trova un'immediata applicazione nell'utilizzo dei sensori per prevedere il grafico che si osserverà in tempo reale quando si effettuerà la misura della grandezza considerata. Abbiamo evidenza che, in insegnanti e studenti, la riproduzione del grafico osservato confrontandolo con quello di previsione, leggendo e analizzandolo per riconoscere le condizioni fisiche che hanno dato luogo alle diverse fasi di evoluzione temporale della grandezza osservata, realizza la riduzione immaginativa del fenomeno, fonda la costruzione degli aspetti formali e stimola alla costruzione di concezioni con sempre maggiore raggio di coerenza (Stefanel *et al.* 2002; Michelini 2006; Michelini, Stefanel 2006; Michelini *et al.* 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 (Aiello *et al.* 1997; Corni *et al.* 2004, 2005). Nella nostra esperienza tale modalità è stata realizzata in molti corsi di formazione degli insegnanti della Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario (SSIS) e del successivo Tirocinio Formativo Attivo (TFA).

Nel modello esperienziale, come si è visto nelle esemplificazioni qui discusse, il docente vive la proposta didattica, viene coinvolto nell'andare a fondo sui nodi concettuali su cui si incentra la proposta, sulla riflessione in merito alla valenza didattica di ogni singolo passaggio, di ogni attività e di ogni esperimento. Il rischio è che perda di vista la coerenza complessiva del percorso didattico, si focalizzi su obiettivi secondari o puntuali. In questo senso l'integrazione con attività Metaculturali porta a un valore aggiunto nella formazione, potendo essere in questo modo recuperata la dimensione generale.

Con attività formative basate sul modello Metaculturale o su quello Esperienziale (o su una loro integrazione) non viene esplicitamente messa in campo la capacità degli insegnanti di saper attivare le competenze professionali (PCK) in situazioni didattiche reali, nella pratica didattica con gli studenti. Mancano anche la fase di personale progettazione di un percorso didattico (eventualmente a partire dalle proposte esaminate nelle modalità Metaculturale ed Esperienziale) e la messa a punto per la sua implementazione, nonché la preparazione del monitoraggio degli apprendimenti e della documentazione dell'attività. Per questi obiettivi è necessario prevedere attività di

Progettazione e implementazione di quanto progettato, come fase intermedia a quella Situata.

5.3 Il modello Situato

Esso è basato sull'apprendimento dell'insegnante attraverso la riflessione sull'esperienza di lavoro in classe. Rappresenta la crescita che viene dalla professionalità, offre l'occasione per un'innovazione che emerge dalle necessità didattiche. La riflessione sull'esperienza professionale acquista una dimensione di ricerca; come attività di ricerca-azione recupera gli apprendimenti informali dell'insegnante maturati durante l'esperienza di lavoro con i ragazzi. Nella nostra esperienza di formazione insegnanti la formazione situata si realizza con modalità differenziate in laboratori concettuali, in attività laboratoriali strutturate, in attività di tirocinio nelle classi (Michelini 2004).

I laboratori concettuali sono contesti di ricerca sui processi di apprendimento che diventano momento formativo per i docenti in formazione che osservano e conducono un'attività di tipo *inquiry based learning* (laboratoriale) in esplorazioni sperimentali con gli studenti (Stefanel *et al.* 2002; Fedele, Michelini Stefanel 2005; Bradamente, Fedele, Michelini 2005; Michelini 2006). Numerose sono state le esperienze condotte con e da insegnanti in formazione. I principali problemi di ricerca sui processi di apprendimento che sono stati esplorati sono: a) il ruolo dell'operatività (pratica e concettuale), del coinvolgimento personale nell'esplorazione di fenomeni, del contesto; i ragionamenti nella interpretazione di fenomeni attivati dall'operatività; b) le modalità di formalizzazione, c) i piani in cui gli studenti si pongono nell'analisi dei fenomeni (descrittivo, interpretativo, i modelli usati nelle diverse situazioni). Si sono studiati i ragionamenti di senso comune, che si attivano. Oggi sappiamo che non c'è osservazione senza 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 a partire 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; chiavi interpretative, che emergono in termini operativi per un grande numero di contesti fenomenologici. La capacità di leggere e interpretare un processo dipende quasi sempre 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: modelli oggettuali che sono utili ad esplorare le proprie idee per costruire tali ponti (Viennot 2004; Michelini 2006). 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 FII 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 (Judner 2010) e la costruzione del pensiero formale (Michelini, Sperandeo 2011). Si pone attenzione alla

logica interna di ragionamento, ai modelli mentali spontanei, alla loro evoluzione dinamica a seguito di stimoli problematici nei percorsi didattici.

Sperimentazioni di ricerca permettono quindi di esplorare in modo operativo il contributo per l'apprendimento di proposte didattiche (Bradamante, Michelini 2005; 2006; Heron, Michelini, Stefanel 2008; Colonnese *et al.* 2012).

Il nostro *modello MEPS* consiste in una integrazione dei modelli Metaculturale, Esperienziale e Situato con una fase progettuale basata su quadri teorici di ricerca.

5.4 Il contributo della Progettualità nella formazione dell'insegnante

Il contributo formativo nella preparazione di Progetti di intervento didattico nella formazione dell'insegnante è tanto più fertile e produttivo, quanto più è rigoroso e condotto con modalità di ricerca didattica. La progettazione 'a buon senso' senza criteri di ricerca è quasi dannosa, perché abitua a considerare valida qualunque creazione, senza validazioni e criteri di riferimento.

Il nostro riferimento teorico per la ricerca didattica sulla progettazione didattica si basa sulla ricostruzione in chiave educativa dei contenuti. Si tratta del *Model of Educational Reconstruction* (Duit, Gropengießer, Kattmann, 2005; Duit 2006), la cui struttura prevede A) l'analisi della struttura dei contenuti attraverso:

A1. la chiarificazione disciplinare (A1):

A1.1 – dei libri di testo e delle pubblicazioni;

A1.2 – dello sviluppo storico delle idee;

A1.3 – delle concezioni e delle idee spontanee dei ragazzi;

A2. l'analisi della significatività educativa;

B) la ricerca sui percorsi di insegnamento / apprendimento, sia nella prospettiva di chi apprende, sia dell'insegnante, sia dei processi;

C) lo sviluppo di materiali e progettazione di proposte didattiche, con nuovi metodi, anche attraverso l'interconnessione tra ricerca e sviluppo;

D) la ricerca curricolare e le politiche sull'educazione scientifica.

Nelle nostre sperimentazioni di formazione degli insegnanti questa fase di Progettazione basata sulla ricerca è la più delicata, perché comporta l'appropriazione di processi rielaborativi, il controllo di coerenza dei contenuti, l'organicità dello sviluppo concettuale e il controllo della previsione di modalità differenziate per affrontare i nodi concettuali.

6. Considerazioni conclusive

L'educazione scientifica a tutti i livelli richiede oggi di costruire conoscenza concettuale nei giovani, perché questa possa trasformarsi in competenza ad utilizzare le basi della formazione scientifica con modalità e in contesti differenziati.

Gli stessi insegnanti non hanno avuto una formazione mirata a questo obiettivo e sono abituati a riportare le loro esperienze formative nel proprio stile di insegnamento.

Come già negli anni '80 è stato evidenziato dalla ricerca didattica, insegnare una disciplina significa conquistare conoscenze disciplinari (CK), pedagogiche (PK) e di insegnamento (PCK). Ciò ancora non basta: l'integrazione di conoscenze non è un processo automatico ed è trasformativo; comporta la rielaborazione a scopo didattico della conoscenza, l'individuazione di strategie e metodi per il superamento dei nodi concettuali, per rendere capaci di far apprendere gli studenti. Tale professionalità, nella nostra esperienza, richiede di realizzare una integrazione dei modelli Metaculturale, Esperienziale, in cui la costruzione della conoscenza concettuale dei contenuti (CoK) è operativamente esemplificata e viene attivata attraverso la riflessione sulla disciplina nella

prospettiva della Progettazione secondo il quadro teorico del MER, attraverso il vissuto dei propri nodi concettuali irrisolti nelle attività esperienziali, attraverso i nodi concettuali degli studenti. La competenza operativa si conquista con l'apprendimento nelle 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 nella pianificazione didattica e apprende le metodologie di monitoraggio e di analisi dei dati di ricerca sull'apprendimento, integrando la ricerca curricolare con la ricerca empirica. Attività irrinunciabili in questo quadro appaiono la preparazione e l'uso di strumenti didattici e di monitoraggio dei processi di apprendimento, l'analisi dei dati raccolti. Nella nostra esperienza di sperimentazione basata sulla ricerca iniziata nel 1976, riassumiamo nel modello MEPS questo complesso percorso professionalizzante.

Il contributo della ricerca didattica in tale processo è fondamentale e non può essere dato per scontato (Volmer 2003). Esso include l'individuazione dei modelli implementati nella formazione degli insegnanti e l'analisi dei rispettivi ruoli; la progettazione e la produzione di risorse sui nodi concettuali e sulle corrispettive difficoltà (Ricerca Empirica); le proposte didattiche di Insegnamento /Apprendimento (*Design Based Research*, R&D); l'analisi dei dati di apprendimento (*Empirical research*); la progettazione – integrando la *Design Based Research* con la Ricerca Empirica; l'individuazione, la messa a punto e la validazione di Strumenti e Metodi, Rubriche, Tests, Tutoriali (Fischer 2005).

Per produrre un atteggiamento dell'insegnante che raccordi fenomeni quotidiani con le molte dimensioni della conoscenza, è utile sostenere modalità di educazione informale nel curriculum.

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), pp. 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), pp. 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
- Borko H., Putnam R. T. 1996, Learning to teach, in D. C. Berliner D.C., Calfee R.C. (eds.), *Handbook of educational psychology*, Macmillan, New York, pp. 673–708.
- 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 1999.
- 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*, Girep book, Ljubljana.
- Bradamante F., Fedele B., Michelini M. 2005, *Children's spontaneous ideas of magnetic and gravitational fields*, in Pitntò R., Couso D. (eds.), CRESILS, ESERA publication, Barcellona.
- Buckberger F., Campos B. P., Kallos D., Stephenson J. 2000, *Green paper*, TNTEE - European Commission (DG XXII).

- Calderhead J. 1996, *Teachers: Beliefs and knowledge*, in Berliner D.C., Calfee R.C. (eds.), *Handbook of educational psychology*, Macmillan, New York, pp. 709-725.
- Cassan C., Michelini M. (eds.) 2010, *ESERA10 Summer School, section E and F*, booklet of Esera Summer School, University of Udine.
- 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.
- 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 Michelini M. (ed.), *Quality Development in the Teacher Education and Training*, selected papers in Girep book, Forum, Udine, pp. 382-386
- Duit R. 2006, *Science Education Research – An Indispensable Prerequisite for Improving Instructional Practice*, ESERA Summer School, Braga, July 2006, <http://www.naturfagsenteret.no/esera/summerschool2006.html>.
- Duit R. 2008, *Physics Education Research – Indispensable for Improving Teaching and Learning*, in Jurdana-Sepic R. et al. (eds.), *Frontiers of Physics Education*, Zlatni, Rijeka, pp. 2-10.
- 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 Fischer H. E. (ed.), *Developing standards in research on science education*, pp. 1-9.
- Elbaz F. 1983, *Teacher thinking: A study of practical knowledge*, Nichols, New York.
- Fedele B., Michelini M., Stefanel A. 2005, *5-10 years old pupils explore magnetic phenomena in Cognitive Laboratory (CLOE)*, in Pittoè R., Couso D. (eds.), CRESILS, ESERA publication, Barcellona.
- Fensham P. 2001, *Science content as problematic-issues for research*, in Behrendt H., Dahncke H., Duit R., Graber W., Komorek M., Kross A., Reiska P. (eds.), *Research in Science Education – past, present, and future*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht.
- Fisher H. E. (ed.) 2005, *Developing Standard in Research on Science Education*, Taylor and Francis, London, pp. 1- 9.
- Gatti M., González L. G., Mereu M., Tagliaferro C., 1998, *L'impatto delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione sulle competenze professionali e sulla formazione*, CEDEFOP, Salonicco.
- Gess-Newsome J. 1999, *Pedagogical content knowledge: an introduction and orientation*, in Gess-Newsome J., Lederman N. G. (eds.), *Examining pedagogical content knowledge*, Kluwer, Dordrecht, pp. 3-17.
- Heron P., Michelini M., Stefanel A. 2011, *Evaluating pedagogical content knowledge of energy of prospective teachers*, in Raine D., Hurkett C., Rogers L. (eds.), *Physics Community and Cooperation Vol. 2*, Selected papers in GIREP-EPEC & PHEC Book, Leicester, Lulu, pp. 147-161.
- Hestenes D. 2007, *Notes for a modeling theory of science*, in Van den Berg E., Ellermeijer T., Slooten O., *Modelling in Physics and Physics Education*, GIREP-Amstel, Amsterdam, pp. 34-65.
- Holbrook J., Rannikmäe M. 2001, *Introducing STL: A Philosophy and Teaching Approach for SE*, ICASE, pp. 1-19.
- <http://nces.ed.gov/Timss/>
- Jona Pugliese S., Michelini M. 2001, *Development of a Lab-oriented Hypertextual Teacher Training and Classroom materials: an example from Geiweb*, in Pinto R., Surinach S. (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference, Elsevier, Paris, p. 679.
- Jüttner M., Neuhaus B. J. 2010, *Using empirically analyzed pupils' errors to develop a PCK test*, in G. Cakmakci C., Taşar M.F. (eds.), *Contemporary science education research: scientific literacy and social aspects of science, Book 2*, Pegem Akademi, Ankara, pp. 330-240.
- Magnusson S., Krajcik J., Borko H. 1999, *Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science teachers*, in Gess-Newsome J., Lederman N.G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 95-132.
- Marucci G., Michelini M., Santi L. 2001, *The Italian Pilot Project LabTec of the Ministry of Education*, in *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, in Pinto R., Surinach S. (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference, Elsevier, Paris, p. 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).

- Michellini M. 2004, *L'educazione Scientifica nel raccordo territorio/università a Udine*, Forum, Udine.
- Michellini M. (ed.) 2004a, *Quality Development in the Teacher Education and Training*, Selected papers in Girep book, Forum, Udine.
- Michellini M. 2006, *The Learning Challenge: A Bridge Between Everyday Experience And Scientific Knowledge*, in Planinsic G., Mohoric A. (eds.), *Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, Selected papers in Girep book, Ljubijana, pp. 18-39.
- Michellini M. 2010, *Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena to develop formal thinking*, in Menabue L., Santoro G. (eds.), *New Trends in Science and Technology Education*, CLUEB, Bologna, pp. 257-274.
- Michellini 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 *Information and Communication Technology in Education*, Intern. Conf. Proceedings, E. Mechlova, University of Ostrava, p. 149.
- Michellini M., Santi L. 2001, *A bouncing ball to learn mechanics*, in Pinto R., Surinach S. (eds.), *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference, Elsevier, 2001, p.147.
- Michellini M., Santi R. M. (eds.) 2002, *Proposte didattiche su forze e movimento: le tecnologie informatiche nel superamento di nodi concettuali in fisica*, Forum, Udine.
- Michellini M., Santi L., Stefanel A. 2010, *Thermal sensors interfaced with computer as extension of senses in kindergarten and primary school*, in Michellini M., Lambourne R., Mathelisch L. (eds.), *Multimedia in Physics Teaching and Learning*, SIF, Bologna and in *Il Nuovo Cimento*, 33 C, 3, pp. 171-179.
- Michellini M., Santi L., Stefanel A. 2012, *PCK approach for prospective primary teachers on energy*, in Tasar F. (ed.), *Sel. Paper of World Conference on Physics Education*.
- 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. . 2011, *Challenges in Primary and Secondary Science Teachers Education and Training*, GIREP book of selected papers, Forum: Udine <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 Informal Learning And Public Understanding Of Physics*, Planinsic G., Mohoric A. (eds.), Selected papers in Girep Book, Ljubijana, pp. 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, Forum, Udine, pp. 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, citato in Bergomi N., Borghi L., 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: Del Papa C. (ed.), Kendoff A. M., Barberio Corsetti P. (coeds.), editorial board: Barbiellini G., Boulin C., Hammel M., Franceschetti G., Scalera G., Clintock Mc, Smith K.M., 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*, vol. I., Chestnut Hill, Boston College, pp. 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), pp. 1135-1157.
- Niederderer H. 2010, *Content-specific research in science education*, ESERA Summer School, Udine.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) 2007, *PISA 2006: Science*.
- 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.
- 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.
- Pinto R, Surinach S. (eds.) 2001, *Physics Teacher Education Beyond 2000 (Phyteb2000)*, Girep book - Selected contributions of the Phyteb2000 International Conference, Elsevier, Paris.
- PISA 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 Çakmakci G., Taşar M.F. (eds.), *Contemporary science education research: scientific literacy and social aspects of science, Book 1*, Pegem Akademi, Ankara, pp. 59-60.
- ROSE <http://www.uv.uio.no/ils/english/research/projects/rose/>
- Ryde, J., Banner I. 2013, *School teachers' experiences of science curriculum reform*, International Journal of Science Education, 35, pp. 490-514.
- SECURE <http://secure-project.eu/>
- Shulman L.S. 1981, *Disciplines of Inquiry in Education: An Overview*, Educational Researcher, 10 (6), pp. 5-12, 23.
- Shulman L. S. 1986, *Those who understand: knowledge growth in teaching*, Educational Researcher , 15(Z), pp. 4-14.
- Shulman, L.S. 1987, *Knowledge and teaching: Foundations of the new reform*. Harvard Educational Review, 57 (1), pp. 1-22.
- Sokoloff D.R., Lawson P.W., Thornton R.K. 2004, *Real Time Physics*, Wiley, New York.
- Steps Two EU Project involved 74 Physics Departments from 32 countries and was supported by EPS had a specific Working Group (WG3) on Physics Teacher Education. <http://www.stepstwo.eu/>
- Tasar F. (ed.) 2012, *Proceedings of The World Conference on Physics Education*, Pegem Akademi.
- Taşar M.F., Çakmakcı G. (eds.) 2010, *Contemporary science education research, vol.2, Preservice and inservice teacher education*, Pegem Akademi, Ankara.
- Theodorakakos, A., Hatzikraniotis, E., Psillos, D. 2010, *'PEC task explorer': a tool for ICT supported learning in science*, in CBLIS 2010, Constantinou, C., et al. (eds.), Oelizk, Warsaw, pp.75-83.
- Thornton R.K., Sokoloff D.R. 1999, *Learning motion concepts using real-time microcomputer-based lab tools*, A. J.P. 58 (9), pp. 858-867.
- TIMMS 2008, *TIMSS Advanced 2008* che ha coinvolto 10 countries: AM, IR, IT, LB, NL, NO, PH, RU, SI, SE); TIMSS 2007, *Trends in International Mathematics and Science Study*, <http://www.timss.bc.edu/>
- 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.*
- Van Merriënboer J.J.G., Sweller J. 2005, *Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions*, Educational Psychology Review, 17, p. 147.
- Viennot L. 2008, *Attracting students towards physics- A Question of topics?*, in Jurdana-Sepic R. et al. (eds), Frontiers of Physics Education, Zlatni, Rijeka, pp. 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), pp. 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, pp. 131-147.
- Vosniadou S. 2007, *Human Development* , 50, pp. 47-54.
- Vosniadou S. (ed.) 2004, *International Handbook of Research on Conceptual Change* , Educational Psychology Handbook, Erlbaum.