

Sensori On-line nella scuola primaria per sviluppare il pensiero formale

Martina Vendramini¹, Marisa Michelini²

¹ Istituto Comprensivo di Pasiano di Pordenone (PN)

² Unità di Ricerca in Didattica della Fisica, Università degli Studi di Udine (UD)
martinavendra@gmail.com

Abstract. Una sperimentazione di ricerca sul ruolo di sensori on-line con il computer per l'educazione scientifica nella scuola primaria su fenomeni termici è il cuore del lavoro. Con un gruppo di 30 alunni, divisi in due gruppi (uno sperimentale e uno di controllo), abbiamo osservato, esperito e riflettuto in merito ai fenomeni termici. Le attività didattiche proposte hanno abbracciato un approccio graduale e flessibile, che ha voluto attraversare trasversalmente e ricorsivamente la fisica e la matematica, mediante situazioni di Problem Solving e Inquiry Based Learning con l'utilizzo del *Termocrono* (nel gruppo sperimentale) e del termometro a dilatazione (nel gruppo di controllo). Gli alunni frequentano la classe 4^a della scuola primaria "A. Rosmini" dell'Istituto Comprensivo di Pordenone Sud, Italia. La ricerca è durata 22h per classe e si è sviluppata in arco temporale di 4 mesi. I dati raccolti spiegano il ruolo assunto dai sensori on-line nello sviluppo del pensiero formale e testimoniano l'importanza di un approccio didattico che guarda in maniera trasversale ai diversi campi del sapere.

Parole chiave: Sensori on-line e rappresentazione grafica, Problem Solving, Inquiry Based learning alternanza scuola-lavoro, APP, suono.

1 Introduzione

La costruzione del pensiero formale, da raggiungere con il contributo delle aree scientifiche è uno degli obiettivi principali delle Linee Guida Internazionali per l'istruzione primaria [1]. Le indagini Pisa evidenziano la necessità di rafforzare il ruolo dell'educazione scientifica nella scuola primaria con un approccio operativo che, il prima possibile, avvicina i discenti al fare fisica a scuola, e a spiegare i fatti della quotidianità secondo un approccio scientifico e tecnologico [2]. La competenza scientifica, infatti, consente al bambino di interpretare la realtà e di agire su di essa [3], prendendo decisioni informate e consapevoli. La ricerca sull'insegnamento della fisica indaga sulle metodologie e gli strumenti didattici che possono offrire esperienze di apprendimento significative agli alunni, in modo da far comprendere loro cosa sia la fisica [4], cosa tratta e come funziona, attraverso l'esperienza personale diretta e le esplorazioni scientifiche [5]. La ricerca in didattica della fisica ha analizzato le attività educative in termini di costruzione attiva di competenze [6-7], anche alla luce degli esiti di indagini internazionali [2], che hanno evidenziato la mancanza di istruzione

scientifico nella scuola primaria e la tendenza diffusa ad affrontare l'apprendimento memorizzando frasi ed informazioni in maniera dogmatica, senza avere la comprensione dei concetti coinvolti. Nelle attività in classe, una prospettiva interdisciplinare e trasversale, che si serve delle innovazioni tecnologiche (TIC), come suggerito da un'ampia letteratura di ricerca [3, 4, 6, 7, 8, 9] e richiesta nelle Linee Guida Curricolari [1] non è ancora presente nei libri di testo italiani con conseguenti ricadute sul piano della didattica: gli insegnanti infatti seguono ciò che appare nei libri, che per gli alunni sono il principale supporto scritto [10]. L'obiettivo cardine di integrare l'apprendimento della fisica e della matematica, anche attraverso l'uso delle TIC, per favorire la costruzione di competenze trasversali, nella scuola primaria italiana rimane un bisogno insoddisfatto, che abbiamo voluto raccogliere delineando un progetto di ricerca pilota con attività innovative sul piano della didattica. In questa ricerca sperimentale, discipline come la fisica, la matematica e la tecnologia vengono analizzate in termini di contributo all'epistemologia operativa delle discipline stesse e alla loro reciproca implementazione per comprendere i fenomeni termici. Le misurazioni in linea nel computer, realizzate mediante sensori di temperatura (*Termocrono*) [11] con il grafico in tempo reale, se integrate in maniera flessibile nel modulo di apprendimento-insegnamento, offrono nuove opportunità per superare i nodi di apprendimento, consentendo anche di esemplificare i metodi di ricerca-conoscenza sul piano sperimentale [4, 8, 11, 12].

2 Strumenti, metodi e Research Questions

Il quadro teorico del Model of Educational Reconstruction [13] ha guidato il lavoro di ricerca, che ha compreso: la ricostruzione a scopo didattico dei concetti fondanti dell'argomento scelto; lo studio dei nodi concettuali sui fenomeni termici e un'indagine con gli studenti del campione di ricerca, la pianificazione del modulo di intervento didattico (razionale), la preparazione dei materiali didattici e il monitoraggio dei processi di apprendimento con metodi di ricerca qualitativi, scelti per la natura della ricerca sui processi di apprendimento di un piccolo gruppo significativo di studenti [14, 15].

In riferimento agli studi sulle schede EIC [16, 17] ogni attività del percorso didattico è stata un'esperienza d'apprendimento in cui situazioni e contesti sempre nuovi stimolavano gli alunni di due classi quarte di scuola primaria attraverso il confronto operativo delle proprie idee e il fare per cercare soluzioni possibili, stimolando la riformulazione del pensiero interpretativo come sfida concettuale con impegno diretto e personale di ogni singolo ragazzo. Il gruppo sperimentale di 16 alunni ha utilizzato i 4 sensori termici collegati con il computer e la LIM (*Termocrono*) come estensione dei sensi, osservando i relativi grafici $T(t)$ tracciati contemporaneamente, che hanno stimolato la riduzione immaginativa tra l'azione e la descrizione formale della temperatura, in un percorso concettuale di apprendimento-inchiesta (Inquiry Based Learning). In una classe parallela di controllo (14 alunni), il percorso di apprendimento-insegnamento è stato condotto presentando le medesime attività ma con l'utilizzo di un semplice termometro a dilatazione. Nel nostro lavoro di ricerca abbiamo, quindi, analizzato il ruolo delle TIC nel Problem Solving [18] in relazione alla rappresentazione grafica per il superamento

dei nodi concettuali sui fenomeni termici e lo sviluppo del pensiero formale. Abbiamo prestato attenzione al ruolo assunto dai grafici $T(t)$ nel compito di rappresentare i fenomeni termici in relazione all'utilizzo delle TIC, così come agli elementi formali emersi nelle descrizioni dei fenomeni termici, affrontati con un approccio termodinamico che mira alla costruzione di una comprensione profonda dei concetti di *stato* e di *processo* per sviluppare un apprendimento che prende avvio dalla chiarificazione tra sentire, essere, diventare e tenere caldo del senso comune. Per valutare l'efficacia del percorso basato su ICT, le stesse attività con le medesime modalità e la medesima insegnante sono state fatte usando il termometro in una classe parallela. I principali nodi concettuali a cui si è posta attenzione sono: l'identificazione e distinzione tra le grandezze temperatura e calore; il superare l'idea di calore come ente per descriverlo come un processo di riscaldamento; il guardare ai fenomeni termici distinguendo tra stati e processi/ trasformazioni.

Per la sperimentazione sono state appositamente create 21 schede-operative a supporto dell'operatività dei ragazzi durante gli esperimenti e/o i problem solving; la cura rivolta alla scelta del linguaggio delle domande-stimolo è stata minuziosa. Esse sono servite all'analisi dei dati di apprendimento.

Domande di ricerca della sperimentazione basata sulle TIC per l'esplorazione sperimentale erano:

- Come le misure basate sull'utilizzo di sensori collegati con il computer favoriscono l'apprendimento di elementi concettuali relativi ai fenomeni termici?
- Come i bambini si avvalgono dei grafici eseguiti dal computer in tempo reale per riconoscere stati e processi termici, rispetto a bambini che eseguono misure con il termometro?
- Come l'esperienza di utilizzo di strumenti multimediali, per misure dell'evoluzione della temperatura nel tempo, aiuta a sviluppare competenze di problem solving?

3 La sperimentazione di ricerca: il campione e la temporizzazione del percorso

La ricerca sperimentale è stata condotta presso la Scuola Primaria "Antonio Rosmini" di Pordenone. Sono state coinvolte le due classi quarte di età omogenea (9 anni): la 4^A, composta da 14 ragazzi (5 maschi e 9 femmine) e la 4^B formata da 16 alunni (10 maschi e 6 femmine), classe sperimentale. Nelle classi ci sono dei bambini BES, di cui uno, ha un disturbo specifico dell'apprendimento (DSA). La sperimentazione con i ragazzi si è sviluppata in un arco temporale di 4 mesi con un incontro settimanale, per un totale di 22 ore per ciascun gruppo. Le attività didattiche, proposte in questo progetto di ricerca, costituiscono una scelta mirata con la finalità di esplorare i fenomeni termici in contesti quotidiani. L'impostazione del percorso didattico nelle due classi ha seguito i seguenti passi:

- L'essere caldo, freddo tiepido come proprietà di stato;
- La misura della temperatura come indice dello stato termico del corpo;

- La sensazione termica come processo di interazione dei sistemi con la mano;
- Modelli macroscopici v.s. modelli microscopici di interazione termica;
- L'idea di riscaldamento e di sorgente termica;
- L'energia interna e livellamento di temperature.

Tabella 1. sintesi delle attività del percorso didattico

1	Esplorazione di 4 scenari per l'individuazione di criteri che permettano di classificare le condizioni termiche di oggetti e sostanze.
2	Esperienza 1: misura della temperatura di oggetti o di sostanze sulla cattedra.
3	Esperienza 2: la temperatura della mano e del tavolo.
4	Esperienza 3: esplorazione sensazione termica oggetti e sostanze sulla cattedra.
5	Open Problem Solving 1: progettazione di esperimenti per individuare le variabili che influenzano la sensazione termica.
6	Open Problem Solving 2 - esplorazione sperimentale – le variabili che influenzano la sensazione termica (IBL).
7	Esperienza 4: interazione termica tra masse d'acqua uguali.
8	Esperienza 5: interazione termica tra masse d'acqua diverse.
9	Open Problem Solving 3: dal grafico $T(t)$ alla legge dell'equilibrio termico di Fourier.
10	Open Problem Solving 4: il ruolo della massa nell'interazione termica nel processo di raggiungimento dell'equilibrio.
11	Open Problem Solving 5: reinterpretazione dell'interazione termica guardando al riscaldamento (calorimetria).
12	Problem Situations: previsioni qualitative e quantitative in processi di interazione termica diversi con 2 diverse prospettive (raggiungimento equilibrio/ riscaldamento)

3.1 Le esperienze di IBL

Durante l'Esperienza 1 si è esaminata una serie di oggetti e sostanze di uso quotidiano (tazza, libro, forchetta, ...) in equilibrio termico con l'ambiente-cattedra, che al tatto danno sensazioni termiche differenti. Con un sensore di temperatura (gruppo sperimentale) o con un termometro (gruppo di controllo) si è misurata la temperatura di tutti gli oggetti e di tutte le sostanze. La scheda-operativa, inerente all'Esperienza 1, consiste in una sequenza di micro-step concettuali in cui l'esperimento viene vissuto come una sorta di gioco simbolico dove il discente "veste" i panni dello scienziato: fa ipotesi di previsione; conduce un'esplorazione sperimentale; attua una verifica confrontando previsioni e dati della sperimentazione. All'Esperienza 1 viene associata un'ulteriore scheda-operativa che ne rappresenta il completamento e mira al riconoscimento della temperatura come proprietà di stato, valorizzando gli aspetti rappresentativi, che vengono distinti da quelli descrittivi e interpretativi. Si ipotizza che gli oggetti e le sostanze

(dell'esperienza 1) vengano spostate in due ambienti: prima in uno molto freddo (a 4°C) e poi in uno molto caldo (a 50°C). Il problema nasce dalla necessità di riconoscere la temperatura degli oggetti e delle sostanze quando si trovano nei diversi ambienti. Al gruppo sperimentale, che ha vissuto l'Esperienza 1 con il *Termocrono*, si chiede di riprodurre il grafico della temperatura nel tempo $T(t)$ con riportate le temperature degli oggetti e delle sostanze quando sono sulla cattedra, nel frigo e nel forno. Questo compito richiede: il riconoscimento dell'organizzazione delle scale grafiche (temperatura e tempo); l'associazione delle grandezze fisiche rappresentate in ogni scala; la fedeltà della curva rappresentata rispetto al processo nelle scale indicate. Al gruppo di controllo, che nell'Esperienza 1 ha utilizzato un comune termometro, si chiede di segnare sul disegno di uno termometro le temperature delle sostanze e degli oggetti nei rispettivi tre ambienti.

Con l'Esperienza 2 si osserva l'andamento della temperatura nel tempo: un sensore (o un termometro tradizionale nel caso del gruppo di controllo) viene inizialmente posto su un banco, e subito dopo viene tenuto in mano da un ragazzo volontario per un certo periodo di tempo. Gli alunni sono chiamati a riconoscere gli stati di equilibrio termico, separandoli dal momento transitorio in cui la temperatura cambia (in questo caso sale), distinguendo tra la temperatura del tavolo (ambiente), della mano e del sensore/termometro. La scheda-operativa si articola in modo tale da realizzare una sorta di ricostruzione formale dell'esperimento. I ragazzi del gruppo sperimentale rappresentano nel grafico la temperatura misurata, da quando il sensore era sul tavolo a quando era nella mano da un po' di tempo. Per rafforzare l'associazione fatti-grafico e dati-grafico viene richiesta la descrizione del grafico. La descrizione è totalmente libera, quindi l'insegnante può osservare se i ragazzi la associano alle azioni condotte nell'esperimento e/o ai valori numerici di temperatura dei sistemi isotermi (tavolo e mano), se associano l'andamento della curva all'evoluzione della temperatura del sensore nell'intero processo (di riscaldamento del sensore stesso) considerando la variabile tempo. Per i ragazzi del gruppo di controllo, che effettuano l'esperimento con un comune termometro, questo è il primo compito in cui viene loro richiesto di tracciare il grafico del processo. Per accompagnarli in questo delicato passaggio si è quindi deciso di non sostituire completamente il grafico al disegno del termometro ma di affiancare le due rappresentazioni.

Con le Esperienze 4-5 l'ampio e articolato concetto di interazione termica viene introdotto come approfondimento di quanto visto fino ad ora nel percorso didattico: la mano calda quando tocca gli oggetti meno caldi li scalda; c'è un'interazione termica tra la mano e gli oggetti toccati e tale interazione produce anche la sensazione termica. Gli apprendimenti si sviluppano in rete, per favorire tutti i possibili collegamenti concettuali e le relative inferenze. Si propongono quindi due esperimenti in cui si fanno interagire due masse d'acqua uguali/diverse per dare ai ragazzi la possibilità di osservare l'evoluzione delle temperature delle masse nel tempo, fino al raggiungimento di una comune condizione di equilibrio. Note le due temperature iniziali (T_{\square} e T_{\square}), le prime due domande di previsione vogliono orientare l'attenzione degli alunni in merito alla possibile variazione di temperatura, considerando singolarmente le masse interagenti e

le rispettive temperature (Come ti aspetti che cambi la temperatura della massa d'acqua m_1 ? Come ti aspetti che cambi la temperatura della massa d'acqua m_2 ?). Con la terza domanda di previsione si considerano contemporaneamente entrambe le temperature delle masse (T_1 e T_2) per favorire la loro messa a confronto, focalizzando l'attenzione sull'emergere di una possibile intuizione dei ragazzi in merito allo stato di equilibrio finale (con costante di temperatura) o, comunque, al raggiungimento di una temperatura comune (Che temperature ti aspetti abbiano le due masse d'acqua alla fine del processo di interazione termica? Motiva la risposta). La richiesta di motivare è mirata al stimolare l'interpretazione del fenomeno e non solo la sua descrizione. Da notare come le domande di previsione siano nella scheda-operativa intervallate da dei disegni, che ritraggono le masse e la loro interazione (ne verso una dentro altra), così da catturare l'attenzione dei ragazzi, rendendo le schede più attrattive, e favorendo la comprensione del messaggio comunicativo anche attraverso il canale grafico. Nella scheda-operativa, alla previsione verbale (stimolata dalle domande aperte) si affianca la previsione grafica, per cui gli alunni devono rappresentare nel grafico $T(t)$ quello che pensano possa essere l'andamento nel tempo della temperatura delle due masse d'acqua che interagiscono termicamente. La registrazione dei dati dell'esperimento viene fatta in una scheda-operativa, che documenta l'esperienza nel suo complesso. Gli alunni del gruppo sperimentale, nello stesso grafico di previsione, rappresentano la temperatura della massa m_1 e la temperatura della massa m_2 nel tempo. Si sceglie di ripetere la rappresentazione nello stesso grafico di previsione per agevolare un possibile e spontaneo confronto fra le due curve del grafico, quella di previsione e quella di esecuzione. I ragazzi del gruppo di controllo, eseguono lo stesso compito della classe sperimentale e, dal momento che eseguono l'esperimento con un comune termometro, in aggiunta, segnano i valori di temperatura iniziali e finali (T_1 e T_2) anche nel disegno del termometro a mercurio. La lettura del grafico è guidata: per favorire l'associazione grafico-dati vengono richiesti i valori numerici dei sistemi interagenti (temperatura iniziale/finale, salti di temperatura); per favorire l'associazione fatti-grafico è richiesta la descrizione dell'evoluzione della temperatura e la descrizione della temperatura finale (Con il passare del tempo com'è cambiata la temperatura della massa d'acqua m_1 ? Con il passare del tempo com'è cambiata la temperatura della massa d'acqua m_2 ? Com'è la temperatura finale delle due masse d'acqua?). Per iniziare a superare il nodo concettuale mirato al riconoscimento del ruolo delle masse interagenti nel livellamento delle loro temperature, si chiede un confronto fra le due variazioni di temperatura e si chiede di spiegare (Confronta le due variazioni di temperatura ΔT_1 e ΔT_2 . Come spieghi il risultato). La fase di verifica, va oltre il semplice confronto fra previsione ed esecuzione, in quanto mira a una vera e propria riorganizzazione e riformulazione dei concetti appresi, per sondare le modalità con cui avviene la costruzione degli elementi teorici.

3.2 Gli Open Problem Solving

Nell'Open Problem Solving 3 sono proposti due esperimenti di interazione termica tra due masse d'acqua a temperature diverse. I valori di temperatura iniziali sono gli stessi per entrambi gli esperimenti; ciò che cambia è la temperatura finale. Nel primo caso, infatti, le due masse interagenti sono uguali ($m_1=m_2=100\text{g}$), mentre nel secondo caso

sono una il doppio dell'altra ($M_1=200\text{g}$; $m_1=100\text{g}$). I due esperimenti ricalcano le Esperienze 4 e 5 vissute concretamente dai ragazzi: si tratta di tipologie di situazione a loro note, che vengono qui rilette, affinché possano essere un indizio alla risoluzione dell'Open Problem Solving, per giungere ad interpretazioni ancora più ampie e articolate sul ruolo che la massa gioca nell'interazione termica (nodo concettuale). Nella scheda-operativa vengono resi noti (verbalmente) i valori delle masse in grammi e i valori di temperatura iniziale in gradi centigradi, ma la scheda comprende anche un allegato A4 con il grafico $T(t)$ in cui, con colori diversi, sono rappresentati i due processi di interazione termica attraverso le evoluzioni delle temperature nel tempo. Agli alunni si chiede di leggere il grafico $T(t)$ per compilare la tabella della scheda-operativa, in cui si chiede di indicare la temperatura di equilibrio finale, di individuare a quale temperatura iniziale è più vicina la temperatura finale e di vedere come si dividono il salto le due masse (Qual è la T di equilibrio finale delle due masse d'acqua? A quale temperatura iniziale è più vicina la T di equilibrio finale? Guardiamo il salto totale di temperatura DT_1 e DT_2 e vediamo come se lo dividono le due masse. Tutte le masse devono arrivare alla stessa temperatura di equilibrio: come si dividono il salto?).

Nell'Open Problem Solving 4, la scheda-operativa propone quattro esperimenti di interazione termica dove m_1 interagisce termicamente con m_2 . In ogni esperimento i valori di temperatura iniziale sono gli stessi ($T_1=38^\circ\text{C}$ e $T_2=20^\circ\text{C}$) così come m_2 è sempre di 100g, mentre m_1 è via via sempre più grande (100/200/500/800g). Ai ragazzi si chiede di osservare attentamente i dati ed eventualmente tracciare i grafici $T(t)$ per trovare la temperatura di equilibrio. I primi due esperimenti ricalcano tipologie di situazioni note agli alunni. Gli ultimi due esperimenti, invece, sono del tutto nuovi e sfidanti. La scelta di questi quattro esperimenti è mirata, nei primi due casi, a favorire il recupero delle informazioni apprese rassicurando gli alunni dal punto di vista dell'autoefficacia, prevenendo, così, la possibile sensazione di smarrimento di fronte al problem solving (cambiano i valori di temperatura iniziale ma non la tipologia di interazione, che è la stessa). Negli ultimi due casi, la scelta degli esperimenti è mirata a far evolvere la consapevolezza del fatto che la temperatura finale di equilibrio può essere sempre prevista con precisione, attraverso la ricostruzione del livellamento dipendente dalle masse in gioco, in ciascun livello di temperatura. Per trovare la temperatura di equilibrio finale, nella scheda-operativa, la possibilità di tracciare i grafici è lasciata libera, per osservare quanti ragazzi la scelgono volontariamente, perché ritengano il grafico realmente funzionale alla risoluzione del problema.

4 Dati, risultati e considerazioni conclusive

L'analisi dei dati raccolti offre delle indicazioni sul modo in cui i bambini sviluppano il pensiero formale. L'operatività dei discenti, associata a delle sfide intellettuali, ha consentito agli alunni di riflettere per costruire conoscenze ed abilità. La metodologia dell'Inquiry Based Learning nella esplorazione sperimentale ha permesso ai bambini di evolvere nei modi di guardare ai fenomeni termici: dopo aver vissuto l'Esperienza 1 è aumentato notevolmente il numero di studenti che affermano che la temperatura degli oggetti e delle sostanze sulla cattedra è la stessa (da 14/30 nello Scenario1 a 30/30

nell'*Esp.1*), così come è cresciuto il numero di chi distingue la sensazione termica e la temperatura (da 13/30 nell'*Esp.1* a 28/30 nell'*Esp.3*). Le attività di Problem Solving hanno consentito agli alunni di prendere possesso del problema, di spiegare ed interpretare i fenomeni sperimentali e formali. Con il Problem Solving i bambini hanno riconosciuto le proprietà/quantità da cui dipendono la sensazione termica (24/30 in maniera generale, 6/30 in maniera locale e contingente). Gli Open Problem Solving si sono dimostrati efficaci perché gli alunni: interpretano i grafici dell'interazione termica (28/30); applicano strategie interpretative (11/30); analizzano meta-cognitivamente le procedure di calcolo (5/16 gruppo sperimentale); utilizzano strategie esplicite per fare una previsione della temperatura (14/30). Dal punto di vista del pensiero formale e degli apprendimenti, i discenti costruiscono il concetto di temperatura come proprietà di stato, costante in tutte le situazioni di equilibrio, e il concetto di sensazione termica come descrittore di un processo. Nel gruppo sperimentale, rispetto a quello di controllo, si vede un maggior numero di bambini che descrivono l'interazione termica come processo (gruppo sperimentale 14/16, gruppo di controllo 8/14) e l'equilibrio termico come esito dell'interazione (gruppo sperimentale 14/16, gruppo di controllo 12/14). Complessivamente si vede l'emergere di alcune competenze, quali la capacità di previsione (dal 27% al 67% dopo l'*O.P.S.3*) e la capacità di giustificare i metodi di risoluzione adottati (50%). Gli alunni del gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo dimostrano di avere una più diffusa e consolidata capacità di interpretare i grafici T(t) nei processi di interazione (gruppo sperimentale 14/16, gruppo di controllo 8/14). Fin dalla primissima esperienza di misura della temperatura i ragazzi del gruppo sperimentale (16/16) hanno dimostrato un implicito significato di temperatura costante, legato al grafico T(t) visualizzato in tempo reale e considerato come riduzione immaginativa della condizione termica, dandone inizialmente motivazione o giustificazione. Quando poi, si è rappresentata la temperatura di oggetti e sostanze che venivano spostati in più ambienti (con temperature differenti), i discenti del gruppo sperimentale hanno spontaneamente attuato delle correlazioni tra: il piano dell'azione (il mettere in un ambiente più o meno caldo); il piano del fenomeno (il riscaldamento e il raffreddamento) e il piano della sua rappresentazione formalizzata (il grafico della temperatura nel tempo), familiarizzando con il concetto di temperatura costante e di temperatura intesa come proprietà acquisita di stato. Il 69% del gruppo sperimentale ha fin da subito dimostrato di cogliere gli stati di costanza della temperatura nel tempo come condizione di equilibrio termico, associandoli alle temperature degli ambienti in cui gli oggetti e le sostanze erano posti. Ciò dimostra che la rappresentazione grafica T(t) eseguita in tempo reale favorisce la produzione di risonanze cognitive tra le azioni, la fenomenologia e la rappresentazione formalizzata delle grandezze misurate. La differenza nei risultati tra il gruppo sperimentale e quello controllo mette in luce il ruolo svolto dalle misure con sensori (*Termocrono*) nello sviluppo del pensiero formale. Dal confronto delle descrizioni e delle spiegazioni dei ragazzi del gruppo sperimentale e del gruppo controllo sono infatti emerse categorie concettuali fra loro differenti. In particolare, dall'analisi e dal confronto dei dati dei due gruppi di ricerca, è emerso come il gruppo sperimentale avesse una visione termodinamica dei fenomeni osservati, perché abituato a vedere i processi tramite la rappresentazione in tempo reale del grafico T(t), con il superamento di uno dei principali nodi concettuali che consiste nel fatto di confondere le grandezze

temperatura e calore o la capacità di distinguere tra le condizioni di stato e di cambiamento (processo), seguendo il modo in cui cambia la temperatura nel tempo e superando una visione statica, che guarda solo allo stato finale e iniziale del processo. Mentre nel gruppo di controllo è emerso come la maggior parte degli alunni guardasse prevalentemente ai livelli di temperatura e come i bambini fossero meno preparati a vedere l'evoluzione del fenomeno termico nel tempo. Nella previsione della temperatura di equilibrio i discenti del gruppo di controllo, contrariamente a quelli del gruppo sperimentale, hanno utilizzato per lo più rituali di calcolo matematico, riferendosi al grafico semplicemente come strumento rappresentativo finale, aggiuntivo rispetto al calcolo. I ragazzi del gruppo sperimentale, invece, si sono serviti del grafico $T(t)$ come se fosse un vero e proprio strumento operativo finalizzato alla risoluzione del problema posto. Questo aspetto chiarisce come nella scuola di base sia fondamentale proporre un approccio coinvolgente alle problematiche che nascono dall'osservazione e dall'interpretazione di situazioni singole ma riproposte in più contesti, mediante l'utilizzo delle nuove tecnologie per garantire la generalizzazione degli apprendimenti. Dal punto di vista della didattica, la sperimentazione ha consentito di consolidare e perfezionare il percorso didattico e di individuare: i microstep necessari per costruire e ricostruire i passaggi logici intermedi che conducono alla conoscenza dei fenomeni termici e all'abilità di saperli interpretare, prevedendone le possibili evoluzioni. Allo stesso modo è stato possibile individuare i gli aspetti da rafforzare per rendere la progettazione didattica efficace: nello studio dei processi sono necessari delle domande mirate sul tempo affinché tale variabile sia considerata in maniera esplicita; vanno proposte delle attività che fanno riflettere sul concetto di ambiente in relazione al raggiungimento dell'equilibrio termico; e va incrementata la riflessione metacognitiva.

Le TIC nell'attività di esplorazione sperimentale mette in campo la risonanza cognitiva tra l'osservazione dei fenomeni e la loro rappresentazione formale mediante il grafico della evoluzione temporale della temperatura. Costruiscono l'abitudine e la competenza ad utilizzare il grafico come strumento di sintesi e di raccordo tra i fenomeni, i concetti che ne rappresentano l'interpretazione fisica e le relazioni formali. I bambini che hanno usato i sensori ed hanno osservato i grafici nelle esplorazioni sperimentali si appropriano della capacità di fare previsioni in situazioni nuove, derivando le relazioni matematiche necessarie dai ragionamenti sui grafici e non applicandole come rituali esercitativi come fanno i bambini che non hanno vissuto tale esperienza.

Riferimenti bibliografici

1. CE recommendations, Key competences for long life learning, 18/12/2006
2. Progetto IDIFO, <http://www.fisica.uniud.it/URDF/laurea/idifo6.htm>
3. Michelini M (2010), *Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena to develop formal thinking*, New Trends in Science and Technology Education, 1, Manabue L and Santoro G eds. CLUEB, pp. 257-274
4. Michelini M. (2005), The Learning Challenge: A Bridge between Everyday Experience and Scientific Knowledge, in Informal learning and Public Understanding of Physics, third international conference, GIREP Seminar 2005, Selected contributions
5. McDermott, L. (1993). *How we teach and how students learn – A mismatch*, Am. J. Phys., 61 (4), pp. 295-298.

6. Behrendt, H, Dahncke H, Duit R, Graber W, Komorek M, Kross A, Reiska P (2001), eds., *Research in Science Education* (pp. 27-41), Dordrecht, Kluwer.
7. Cibir L., Michelini M., Odorico A., Stefanel A. (2003) Formalization processes in learning physics at 6-11 years old, in European Science Education Research Association book of selected papers, Noordwijkerhout, The Netherlands
8. Stefano Vercellati, Marisa Michelini, Lorenzo Santi (2014) The use of computers and multimedia in the Italian kindergarten, primary, and lower secondary schools in results by EU project SECURE research on the use of computer in Italian compulsory schools, Dormido et al. ed., MPTL18 Madrid 11-13 September 2013.
9. Michelini M, Mossenta A, Mvondo S, Stefanel A, Vercellati S, Viola R (2010) *MPTL14: Stato e Prospettive della Multimedialità nella Didattica della Fisica*, in *Didattica 2010 – selected papers*, Labella A, Andronico A, Patini F eds, Roma [ISBN 978-88-901620-7-7]
10. Sassi E, Michelini M (2014) *Physics Teachers' Education (PTE): Problems and Challenges*, in *Frontiers of Fundamental Physics and Physics Education Research*, Burra G. S., Michelini M, Santi L, eds, Book of selected papers presented in the International Symposium Frontiers of Fundamental Physics-12th edition, Udine 21-23 November 2011, Springer, Cham, Heidelberg, NY, Dordrecht, London, [978-3-319-00296-5], pp. 41-55.
11. Gervasio M, Michelini M (2006) *TERMOCRONO. Un semplice sistema economico e flessibile per misure di temperatura in tempo reale*, in *Didattica 2006* - Andronico A et al eds., AICA, Cagliari, pp. 522-529
12. Michelini M, Mossenta A, Santi L, Stefanel A, Vercellati S (2011) *La ricerca in didattica delle scienze in Europa oggi: ESERA10*, *La fisica nella Scuola*, XLIV, 2 suppl., pp. 28-37
13. Duit R., Gropengießer H., & Kattmann U. (2005), Towards science education research that is relevant for improving practice: the model of educational reconstruction. In H.E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education* (pp. 1-9). London: Taylor & Francis.
Kirtikar R. (2013), A Problem-Solving Approach for Science Learning, New Perspectives in Science Education, International Conference
14. Corbetta P, 1999, *Metodologia e tecniche della ricerca sociale*, Il Mulino
15. Valente A, Castellan T, 2014, *Conoscere la realtà con strumenti qualitativi*, *Ecoscienza*, 4
16. Marucci G, Michelini M (responsabili scientifici) (2001), *Il Progetto Labtec/1: insegnamento scientifico - tecnologico integrato con le nuove tecnologie*, *Quaderno MPI* n. 39
17. Michelini M, Mossenta A, Stefanel A (2003) *L'operatività per l'apprendimento nel contesto informale della mostra GEI*, *Museologia scientifica*, 18/1-2, pp. 94-99
18. Maloney D, 2011, An overview on physics education research on problem solving, *Reviews in PER*, 2, 1 (<https://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=11457>)