

Processi di modellizzazione nella scuola di base, ovvero come unificare l'apprendimento di scienze, matematica e lingua

Roberto Tortora – Università Federico II di Napoli
rtortora@unina.it

“Cercare di fornire agli studenti una sequenza meccanica di azioni, forse con l’idea di ‘rendergli le cose più facili’, è operazione destinata al fallimento. Perché ogni volta che cadiamo preda della ‘trasposizione didattica’, cioè ogni volta che ci ritroviamo a trasporre o a convertire la nostra consapevolezza di esperti in sequenze di istruzioni comportamentali (cioè in tecniche di routine), stiamo perdendo la vera essenza di quello che vogliamo ottenere. Il nostro insegnamento perde in efficienza e in efficacia, i risultati sono di corto raggio e svalutiamo noi stessi riducendo la nostra competenza ad una semplice sequenza di comportamenti”
(Mason, 2001, p. 22)

1. INTRODUZIONE

E’ ampiamente condivisa l’esigenza nell’insegnamento della matematica di non calare dall’alto le nozioni e le procedure “astratte” della matematica ma di costruirle a partire dall’osservazione del mondo “concreto”. Molto per la verità ci sarebbe da dire su che cosa si debba intendere per concreto e astratto, concetti troppo spesso banalizzati, soprattutto da parte di chi ritenendo l’astrazione troppo difficile insiste perché le nozioni astratte siano il più possibile bandite dalla scuola primaria. Non entreremo qui nel dettaglio di questa questione, anche se risulterà chiaro come concreto e astratto siano con il nostro approccio nient’altro che due polarità fra cui a tutte le età continuamente si oscilla.

Una volta chiarito che i concetti della matematica debbano quanto più possibile essere radicati nella realtà e nell’esigenza di far evolvere i modi per descriverla, il problema da affrontare è che in effetti il legame tra la realtà che ci circonda e le strutture matematiche non è mai banale. Lo diceva con chiarezza già Galilei (“Occorre defalcare gli impedimenti”), lo dice K. Marx nel *Capitale* “Ogni scienza sarebbe superflua se l’essenza delle cose e la loro forma fenomenica direttamente coincidessero”, è in ogni caso sotto gli occhi di tutti. Le cose che osserviamo sono sempre complesse e intrecciate, e già l’idea di osservare è in realtà qualcosa di molto più sofisticato che il semplice guardare: che cosa osserviamo? con quali lenti? con quali ipotesi più o meno inconsapevoli sul mondo? disponendo già di quali categorie astratte per classificare le cose? Per esempio, che cosa significa osservare una forza, come quella esercitata da una calamita su un pezzo di ferro?

Dunque, a meno di usare non situazioni reali, ma ipersemplicizzazioni di esse già costruite per cavarne il modello matematico voluto, il percorso che conduce dall’osservazione e manipolazione degli oggetti fino ai costrutti matematici non è né breve né facile. Si tratta ad esempio di distinguere tra una prima fase di *modellizzazione fattuale* (Guidoni), in cui occorre scegliere le variabili e i parametri “giusti”, e una fase successiva di modellizzazione formale, in cui procedere verso la rappresentazione matematica del fenomeno. Né è banale il percorso inverso (*demodellizzazione*), in cui dare se occorre nuove interpretazioni nella realtà ai risultati matematici ottenuti, e magari riguardare la realtà stessa con lenti nuove, preparandosi a riprendere un nuovo ciclo di un lungo percorso a spirale.

Nel seguito discuteremo dunque di che cosa si debba intendere per modellizzazione (paragrafo 2), mettendo a confronto punti di vista diversi, e forniremo nel paragrafo 3 alcuni esempi di attività didattiche con bambini della scuola di base, condotte in *campi di esperienza* (Boero) ricchi di conoscenza informale, come forze, equilibri, equivalenze. Gli esempi servono a illustrare la possibilità di far crescere insieme, in un ambiente socio-costruttivo, le competenze matematiche e scientifiche, nonché quelle linguistiche, quando in particolare si lavora con i bambini facendo appello alle loro strategie cognitive naturali. La sfida è infatti quella di partire dalla predisposizione naturale ad esplorare e capire il mondo, con tutto il carico emotivo che comporta (rispondere ai bisogni profondi di un bambino mette in atto un processo di autentica ricerca) ed avviare un processo evolutivo di tipo vygotskijano, che contestualmente favorisca l'introduzione di linguaggi via via più raffinati.

Presentiamo dunque non solo alcuni spunti di riflessione di tipo teorico sul fenomeno apprendimento, ma anche ipotesi concrete di lavoro. Il nostro intento è, come nel titolo di (Verschaffel, 2002), prendere sul serio una prospettiva di lavoro sulla modellizzazione, e riteniamo in proposito che ci sia molto da fare nella sperimentazione didattica, puntando per quanto possibile in alto per quanto riguarda gli obiettivi, ma navigando basso, per tenere conto della difficoltà di agire in un sistema così complesso come è quello dell'apprendimento, con tutte le sue variabili (insegnante, studenti, istituzioni scolastiche, società) per giunta in continua evoluzione. Abbiamo ancora tanto da capire.

Sull'insegnamento di Matematica e Fisica esiste ovviamente una bibliografia sterminata. Ci sembra però utile segnalare qui tre testi di riferimento (AA.VV., 2000, 1996, 2007), che in questi anni sono stati prodotti in America da gruppi di lavoro molto ampi e qualificati, con cui riteniamo sia indispensabile confrontarsi: PSSM (Principles and Standards for School Mathematics), NSES (National Science Education Standards), TSS (Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8). Tutti e tre sottolineano, da prospettive diverse, l'esigenza di un'integrazione forte tra le due materie. Segnaliamo anche un intervento in una precedente edizione di questo convegno (Guidoni, 2006), al quale il presente contributo si riconnette per affinità di ispirazione.

2. MODELLIZZAZIONE: CHE COSA INTENDIAMO

Del termine modello/modellizzazione si occupano molti autori e in molti ambiti. Nella scienza, in generale, con la parola modello si suole indicare una struttura matematica "isomorfa" al fenomeno in osservazione, e il processo di modellizzazione tende a essere tipicamente descritto come orientato dall'osservazione percettiva del fenomeno alla sua formulazione algebrica. Accade così che il rapporto tra matematica e fisica in ambito scolastico si declini su questa base "unidirezionale". Col risultato di riguardare o la matematica come ancella della fisica, a cui fornisce il linguaggio e gli strumenti per indagare sulla realtà esterna, oppure, inversamente ma in modo ugualmente riduttivo, riguardare la fisica come campo di applicazioni della matematica, dove trovare esempi di nozioni, metodi e risultati.

Una più attenta ricognizione delle vicende della storia induce invece a vedere le due discipline come due facce della stessa medaglia, che crescono insieme e in continua interferenza. Meglio di tutti lo dice forse già Galilei. Afferma Sagredo nella seconda

giornata del *Dialogo sui Massimi Sistemi*: “*Quasi che la natura prima facesse il cervello a gli uomini, e poi disponesse le cose conforme alla capacità de’ loro intelletti. Ma io stimerei più presto, la natura aver fatte prima le cose a suo modo, e poi fabbricati i discorsi umani abili a poter capire (ma però con fatica grande) alcuna cosa de’ suoi segreti*” (Galilei, 1964), vol. II, pag. 326.

Riportiamo anche un passo tratto da (Boncinelli e Bottazzini, 2000), nel quale, parlando delle leggi di Keplero, si evidenzia bene come l’intreccio tra sviluppo della matematica e della fisica non si lascia descrivere in modo semplicistico. “*Fino a quando trovi che le varie posizioni dei pianeti stanno su un’ellisse, non hai ancora spiegato molto. Il processo di vera e propria matematizzazione comincia quando prima Hooke e poi Newton fanno la congettura che l’attrazione gravitazionale sia proporzionale all’inverso del quadrato delle distanze, e prende corpo quando Newton riesce a dimostrare con un ragionamento di tipo matematico che se un corpo A è attratto da un altro corpo B con una forza che è inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra A e B, allora A si muove lungo un’ellisse di cui B è uno dei fuochi*” (op. cit., 194-195).

Passando alla sfera educativa, notiamo che a livello istituzionale si va facendo strada il convincimento dell’importanza di affrontare a scuola processi di modellizzazione. In campo internazionale ne sono testimonianza i testi già citati nell’Introduzione, così come gli studi dell’OCSE alla base dei test di valutazione PISA (OECD, 2000). A livello italiano, dell’importanza delle nozioni di modello e modellizzazione sono persuasi ad esempio gli autori dei volumi *Matematica 2001* e *Matematica 2003* (AA.VV., 2001 e 2003), che ad esse dedicano uno specifico ‘nucleo trasversale’ (*Problemi e Modelli*). Nei documenti ufficiali più recenti tale argomento compare ormai stabilmente tra quelli caratterizzanti l’educazione scientifica, sin dai primi livelli di scuola. In questi ultimi mesi si sta ad esempio procedendo alla stesura del nuovo curriculum della laurea per l’insegnamento primario, ed in esso trovano posto questi argomenti.

La ricerca sull’educazione matematica ha messo più volte l’accento su questi temi. Un recente ICMI Study è interamente dedicato alla modellizzazione: (Blum *et al.*, 2007). Tuttavia nella comunità dei ricercatori le accezioni delle parole ‘modello’ e ‘modellizzazione’ sono varie e spesso, a mio avviso, riduttive: per modellizzazione si intende talora solo il processo interno al problem solving con cui si dà forma matematica ad un problema verbale. Una definizione abbastanza circostanziata è fornita da Mason: “*La modellizzazione matematica è il processo per cui vengono poste questioni su una qualche situazione materiale; si forma un’immagine o un senso di una versione ideale della situazione e della questione; le si esprimono in qualche forma, di solito simbolica; si cerca di rispondere alla versione simbolica della questione; poi la si reinterpreta nella realtà; e all’occorrenza si ripete il processo ciclicamente più volte allo scopo di ottenere una sufficiente corrispondenza tra la situazione materiale come è percepita e la risposta trovata*” (Mason, 2001, traduzione mia). Anche Verschaffel definisce ‘modellizzazione’ in un articolo (Verschaffel, 2002) che si occupa soprattutto di word problems e che, fra le altre cose, ha il pregio di contenere un’ampia rassegna bibliografica, su word problems e modellizzazione.

Molto accurato, un limpido e sicuro riferimento, è infine l’elenco che (Niss, ...) propone, delle componenti essenziali della competenza matematica, di ciascuna delle quali fornisce poi un’articolata descrizione. Fra le otto indicate compare ‘Modellizzare in

senso matematico (cioè analizzare e costruire modelli)'. In tale capacità sono incluse (*op. cit.*, traduzione mia):

- “*Analisi* dei fondamenti e delle proprietà dei *modelli esistenti*, compresa la valutazione dei limiti della loro validità.
- *Decodifica* dei modelli esistenti, cioè traduzione e interpretazione dei loro elementi in termini della ‘realtà’ modellizzata.
- *Attività diretta di modellizzazione* in un dato contesto, cioè:
 - strutturazione dell’ambiente;
 - matematizzazione;
 - lavoro con e dentro il modello, inclusa la risoluzione di nuovi problemi;
 - validazione interna ed esterna del modello;
 - analisi critica del modello, di per sé e in confronto con possibili alternative;
 - comunicazioni relative al modello ed ai risultati connessi;
 - monitoraggio e controllo dell’intero processo di modellizzazione”.

Il punto di vista mio e del mio gruppo di ricerca parte da una nozione di modellizzazione molto generale, sul tipo di quella di Niss, ed assume che i processi di modellizzazione siano assolutamente centrali nell’educazione matematica e scientifica. Si vedano al riguardo (Guidoni *et al.*, 2003 e 2005), (Iannece e Tortora, 2007a-b e 2008), (Iannece *et al.*, 2006).

Le ragioni di questa convinzione sono molteplici. Da un lato esse fanno capo ai molti dati di esperienza accumulati da noi e da altri nel corso di questi anni; da un altro all’insegnamento di Vygotskij (ma anche Piaget), e alle conferme che alle sue teorie vengono sempre più copiosamente da risultati di neuroscienze. Questi suggeriscono ad esempio che gli esseri umani, e in particolare i bambini, dispongono di risorse “naturali” costruite nel tempo per ragioni di sopravvivenza della specie: tra queste, la capacità di ‘modellizzare’ il mondo per mezzo di prerappresentazioni (Changeux, 2002). I dati sul funzionamento cerebrale mostrano infatti che l’interazione con il mondo esterno poggia su potenti meccanismi neuronali di interpretazione, spesso inconsci: in un senso molto generale, si potrebbe dire che un “modello” non è altro che qualunque legame tra le cose che accadono e il cervello che cerca di capirle.

La scuola non dovrebbe sprecare tali risorse, ma farle evolvere verso la conoscenza scientifica (Vygotskij, 1987), lavorando sia sulle continuità che sulle discontinuità cognitive. Nel corso di questo sviluppo, contestualmente evolvono anche le capacità linguistiche (Vygotskij, 1990). Ebbene, l’esposizione precoce e sistematica al processo di modellizzazione, realizzata in contesti fisici particolari, e con attenzione costante alla costruzione contestuale del disciplinare fisico, costituisce un ambiente privilegiato per un approccio alla matematica risonante con i processi “naturali” di apprendimento.

Nel nostro modo di intendere, la modellizzazione è pertanto un processo assai complesso, né predeterminato né unidirezionale, nel quale le strutture formali non sono che uno dei diversi modi correlati in cui prende forma la ricostruzione cognitiva del mondo. Non ci si dovrà allora ridurre a guidare gli studenti verso l’astrazione, attraverso una gerarchia standard di rappresentazioni (azioni, disegni, parole, ...) la cui tappa ultima è l’espressione algebrica di una legge fisica. Ciò che appare efficace è piuttosto il passaggio continuo da una dimensione cognitiva ad un’altra, dove tutte mutuamente e progressivamente si rafforzano.

In questo senso, un percorso di modellizzazione si sviluppa in contesti specifici, su tempi lunghi, possibilmente lungo tutto l'arco della formazione scolastica, in parallelo ed in integrazione con lo sviluppo interno della disciplina. E parte integrante di questo percorso è il passaggio graduale da descrizioni ingenuie, semplificate di fenomeni definiti spesso con approssimazione, a rappresentazioni sempre più raffinate di situazioni meglio delineate, fino alla precisione richiesta dall'approccio scientifico. Il processo richiede nelle sue varie tappe l'introduzione e lo sviluppo di strumenti matematici e la progressione nelle competenze linguistiche.

Il fatto di sapere che i cuccioli umani già dispongono di risorse notevoli di modellizzazione, come insegnano le nuove scoperte delle neuroscienze, ma come ben può osservare ogni persona dotata di buon senso, non semplifica affatto il compito degli insegnanti e dei ricercatori. Perché il problema, come insegna Vygotskij, è tutto là: come far evolvere queste conoscenze e abilità verso un sapere strutturato e maturo. Anzi, aver chiaro tutto ciò serve a togliere ogni alibi e ad escludere definitivamente che il sapere scolastico possa essere impartito come pacchetto confezionato e suddiviso in compartimenti, in discontinuità con le conoscenze precedenti. Perché se è vero che la costruzione del pensiero scientifico/matematico va in continuità con la naturale attitudine di ogni essere umano a ricercare strutture via via più efficaci per organizzare, interpretare e dare senso a ciò che osserva e su cui agisce; è anche vero che tra il modo naturale di organizzare le conoscenze e quello disciplinare esiste anche una discontinuità essenziale, in termini di sistematicità e coerenza interna (mi riferisco alla differenza di sistematicità tra concetti naturali e scientifici introdotta da Vygotskij), e ciò comporta la necessità di costruire strumenti culturali ad hoc.

Si tratta in primo luogo di esplicitare i modelli, spesso inconsci, individualmente e collettivamente sviluppati per l'interpretazione/gestione dell'esperienza quotidiana (come ad esempio il vocabolario d'atti di (Rizzolatti e Sinigaglia, 2006) o gli schemi introdotti da (Lakoff e Núñez, 2005); ma cfr. anche i p-prims (phenomenological primitives) di cui parla (diSessa, 1993)); e le strategie, anch'esse spesso inconse, individualmente e collettivamente sviluppate per agire efficacemente, in termini di comprensione, sul contesto di esperienza quotidiana.

Riconoscere che l'obiettivo dell'attività è la gestione volontaria del processo di modellizzazione in sé, cambia il ruolo della mediazione didattica: si tratta di valorizzare ed utilizzare la sinergia culturale delle due discipline ogni volta che se ne presenta l'occasione. Un ricorso sistematico a processi di modellizzazione nell'insegnamento della matematica serve anche a rafforzare la motivazione degli studenti: nella misura in cui tali processi risuonano con le loro strategie naturali di apprendimento, essi si sentono partecipi, ciascuno, s'intende, nei limiti delle possibilità cognitive e linguistiche della sua età, di una costruzione collettiva e sociale di conoscenza. Così "prendere seriamente una prospettiva modellistica (Verschaffel, 2002) a tutti i livelli scolari" conduce a risultati negli studenti che possiamo così sintetizzare: capacità di utilizzare autonomamente la conoscenza informale per sostenere la costruzione della conoscenza formale e, viceversa, di interpretare la conoscenza formale alla luce di quella informale; abitudine a ricercare metafore delle strutture formali nel sapere esperienziale per "appoggiare" il pensiero (demodellizzazione); capacità di selezionare il linguaggio in base agli obiettivi; e infine crescita dell'autostima.

In concreto occorre progettare ambienti di apprendimento di tipo sociocostruttivo centrati sul processo di modellizzazione piuttosto che sui contenuti. Nel fissare obiettivi di breve, medio e lungo termine, è necessario sempre partire nel processo di astrazione dalle esperienze percettivo-motorie, quelle che consentono un migliore sviluppo delle nozioni coinvolte e una loro più diretta trasferibilità ad altre situazioni.

La scelta del contesto deve essere oculata: non tutte le fenomenologie si prestano ugualmente bene ad essere usate come oggetto di attività didattica. Alcuni contesti sono sicuramente privilegiati, come il moto (Balzano, 2007), l'elasticità (Guidoni *et al.*, 2003; 2005), le ombre (Boero *et al.*, 1995). Il contesto da usare deve infatti consentire, fin dall'inizio del percorso cognitivo, la possibilità di manipolazioni dirette, guidate dalla riflessione su ciò che si sta osservando; essere al tempo stesso abbastanza complesso da richiedere un'attenta preventiva individuazione dei sistemi che interagiscono e delle variabili pertinenti, e abbastanza semplice da consentire un'esplorazione che non richieda una guida troppo rigida; dar luogo ad uno sviluppo teorico abbastanza ricco da consentire l'esposizione guidata degli allievi alla formulazione di teorie.

3. ESEMPI

In questo paragrafo vengono brevemente presentati due esempi di attività di modellizzazione condotte con bambini, allo scopo di illustrare quanto detto nel paragrafo precedente. Abbiamo in effetti da molti anni sperimentato nelle classi e condotto iniziative con gli insegnanti, nell'ambito del nostro gruppo di ricerca in cui collaborano esperti di matematica e di fisica. Fra le tante iniziative vale la pena citare i progetti nazionali dedicati alla scuola di base CAPIRE SI PUO' e CAPIRE PER MODELLI (http://www5.indire.it:8080/set/capire_per_modelli), entrambi diretti da Guidoni.

I due esempi qui riportati riguardano invece:

a) il primo, un recente lavoro in una scuola dell'infanzia, con bimbi di 5 anni, dove è possibile riconoscere una certa conoscenza informale sulla relazione tra due variabili nonché un bell'intreccio di strategie linguistiche e cognitive per esplicitarla.

b) una serie di istantanee tratte da un percorso longitudinale condotto nella scuola primaria (dalla prima alla quinta), in cui è possibile vedere l'evoluzione delle medesime strategie.

Sono peraltro consapevole che nel riportare esempi di lavoro fatto con i bambini, e specialmente nel riportarlo nei limiti di una presentazione breve come la presente, si corre sempre il rischio della banalizzazione. In effetti il confine è assai sottile tra la pura e semplice magnificazione delle prodezze (linguistiche, di intelligenza, di creatività, ...) dei 'propri' bambini, e l'annotazione sottile e critica e sofisticata del sussistere dei vari aspetti e processi di apprendimento, e della corrispondente azione didattica da parte di accorti insegnanti, o naturalmente della sua mancanza. Una questione che ad esempio si vorrebbe poter misurare con criteri oggettivi è che cosa resta, a distanza di molti anni, delle eventuali esperienze stimolanti condotte nei primi anni di scuola. Dobbiamo invece accontentarci, come tutti del resto, in buona misura delle nostre impressioni e di quello che ci suggerisce l'esperienza, sia pure pluriennale e ad ampio raggio.

Ciò precisato, mi sembra di poter dire però che gli esempi riportati mostrano come in ogni situazione si possono vedere in opera le risorse naturali dei bambini, di come spesso vanno perse se non ci si bada, di come invece potrebbero essere recuperate se si agisce con apertura mentale, con disponibilità all'ascolto e al cambiamento, e ovviamente

con competenza disciplinare elevata. Se tutto questo accadesse più spesso, molti insuccessi non si registrerebbero: noi ne siamo convinti, e non speriamo altro che di condividere con molte altre persone questa convinzione.

Esempio 1: Scuola dell'infanzia. L'insegnante Marina annota nel suo diario l'attività, consistente nel far riflettere i bambini sulla storia dei tre porcellini e del lupo Ezechiele e fargliela rappresentare. Si parla di forze, ci sono variabili e relazioni tra variabili. La Fig. 1 è stata realizzata dalla classe al termine dell'attività e lasciata in aula come sintesi di quanto acquisito.

Ma lasciamo parlare l'insegnante attraverso alcuni stralci del suo diario.

21/02/07

Racconto, o meglio, faccio raccontare ai bambini la storia dei 3 porcellini. Cerco di pilotare la discussione sulla consistenza dei materiali utilizzati dai protagonisti e, quindi, sulla relativa resistenza.

Ciro: *La casa di paglia è molto leggera.*

Classe: *Il lupo abatterà la casa di paglia con un solo soffio.*

Mattia: *Il legno non si rompe.*

Classe: *La casa di legno cadrà con due soffi.*

Ciro: *La casa di mattoni è dura e così non si rompe.*

Martina: *Il lupo dice di far cadere la casa di mattoni con tre soffi.*

Ciro: *Il lupo non riuscirà mai ad abbattere la casa di mattoni.*

Organizzo un percorso nel quale ogni bambino possa sperimentare la forza del proprio soffio per spostare un pezzo di carta/paglia lungo una linea segnata a terra con il nastro adesivo colorato. Partecipano tutti i bambini con entusiasmo da stadio.

Ciro: *La paglia è leggerissima ci vuole poca forza per spostarla.*

Invito ora i bambini a provare a spingere un oggetto di legno che, per quanto di piccole dimensioni, non si sposta per niente. I bambini si aiutano tra di loro, ma neanche in quattro ci riescono.

Commento della classe: *Siamo riusciti a spostare la paglia ma non il legno e i mattoni.*

Enzo: *Basta il soffio di un solo bambino per spostare la paglia.*

Invito la classe a disegnare la storia rappresentando in qualche modo il soffio del lupo. A lavoro concluso ci sediamo intorno al nostro grande tavolo tondo (*circe-time*) e ognuno commenta il suo elaborato. Nella maggior parte dei casi è stata rappresentata solo la casa di mattoni, considerando le altre già distrutte dal lupo.

22/02/07

Circle-time: riguardiamo e commentiamo il lavoro del giorno precedente focalizzando la nostra attenzione sulla rappresentazione grafica del 'soffio'. Quindi pongo ai bambini la seguente domanda: "Come potremmo rappresentare con un simbolo i soffi del lupo?"

Ciro: *Per la casa di paglia ci vuole un soffio, per quella di legno due e per quella di mattoni mille soffi e non ci riesce.*

Carlotta: *Ho disegnato tre soffi per la casa di Jimmy.*

A questo punto prendo un cartoncino sul quale ho incollato le case dei tre porcellini realizzate durante un'attività di gruppo svolta precedentemente, invito un bambino a disegnare sullo stesso cartoncino un grande lupo e mi rivolgo alla classe: "Come possiamo fare per disegnare i soffi necessari ad abbattere le case?"

Ciro: *Facciamo delle strisce blu o azzurre.*

M. Giovanna (mentre Natalia disegna il suo soffio): *È inutile disegnare tanti soffi per la casa di mattoni tanto non cade!!*

Dalla discussione che segue nasce un piccolo diagramma alla lavagna che rappresenta con dei bastoncini i soffi rilevandone la frequenza.

Nell'ambito dell'attività motoria abbiamo provato a sperimentare la forza con il corpo: tirare/spingere un tavolo; spingere il compagno da seduti facendo forza con i piedi; seduti a terra spingersi schiena contro schiena. Commentiamo i giochi svolti mettendo in evidenza i punti del nostro corpo dove secondo noi si è

esercitata maggiore forza: i bambini nella maggior parte dei casi hanno rilevato come punto di forza quello finale, ad esempio la mano o i piedi.

23/02/07

Circle-time: commentiamo i disegni del giorno precedente. Essi hanno rappresentato più o meno tutte le esperienze che i bambini hanno fatto e hanno visto fare con le forze. Dalla discussione seguente viene fuori un'altra caratteristica della forza: l'intensità.

Problema: anche il soffio può avere un'intensità diversa? Sperimentiamo l'intensità del soffio con delle candele.

Ciro: *Se soffio piano la fiamma si muove, se soffio forte si spegne.*

Torniamo a commentare il diagramma dei soffi del lupo e decidiamo di affiancare alla simbolizzazione della frequenza quella dell'intensità. I bambini decidono di riprodurre l'intensità della forza con un bastoncino di colore diverso e di spessore proporzionale all'intensità della forza stessa.

Il lavoro prosegue con i bambini, arricchendosi di numerose altre esperienze del fare forza, o dell'osservare forze in azione, come quella del vento. L'attività si conclude nel giro di un paio di settimane con il disegno rappresentato in Fig. 1 e con una mappa cognitiva generale sulla nozione/parola forza.

Esempio 2: Elasticità nella scuola primaria

Il secondo contesto che viene presentato consiste in alcuni esempi estratti da un ambizioso progetto quinquennale nella scuola primaria, un progetto inizialmente finalizzato alla costruzione e sperimentazione di un percorso per l'apprendimento di alcune fenomenologie di fisica elementare, ma poi modificatosi nel corso del tempo fino a darsi come esplicita centratura di attenzione lo sviluppo del processo di modellizzazione in quanto tale.

Una classe di scuola primaria, affidata alle cure di una maestra esperta, è stata seguita per tutti e cinque gli anni (tra il 2002 e il 2008) da un ricercatore universitario e occasionalmente da un'altra maestra esperta, una volta a settimana per svolgere attività nel 'laboratorio povero' di fisica. Tra un incontro e l'altro l'insegnante si è fatta carico di riprendere e sviluppare gli spunti emersi in laboratorio. Nel corso del lunghissimo esperimento inoltre diversi elementi di programmazione, alcuni episodi salienti e varie riflessioni sono stati oggetto di una più ampia condivisione nel gruppo di ricerca.

L'attività inizia in prima con esperienze sul galleggiamento, argomento tipico nella scuola primaria, che rapidamente conducono all'introduzione delle parole 'forza' ed 'equilibrio tra forze' per descrivere le diverse esperienze. Si arriva agli elastici, vera metafora fondante dell'astrattissimo concetto di forza: come dicono i bambini, *l'elastico ci fa vedere che sta facendo forza*. L'elasticità è infatti generalmente riconosciuta come un ottimo contesto prototipo per una attività di modellizzazione da sviluppare in tempi lunghi per far evolvere concezioni ingenui in concetti scientifici (cfr. ad esempio (diSessa, 1993), p. 133).

All'inizio è necessaria una ricca ed esplicita analisi qualitativa del comportamento degli elastici: sia per sostenere modellizzazioni di complessità crescente, sia per mantenere attivo il collegamento tra gli sviluppi formali e l'ampissima varietà dei fenomeni elastici. Ma ancora prima costituisce un passaggio obbligato l'esperienza quotidiana del *fare forza col proprio corpo*, cruciale ai fini cognitivi. Quello che succede ad un oggetto elastico, e le regole con cui ciò avviene, si intendono infatti in primo luogo facendo appello all'esperienza corporea. Per maggiori dettagli sui giochi di contrasto, sul tiro alla fune con corde e con molle, vedi (Mazzoli *et al.*, 1987).

Ma naturalmente il nostro interesse non è limitato alla fisica e alla comprensione dei relativi fenomeni: siamo contemporaneamente interessati alla matematica e alla lingua. Bene, per quanto riguarda i contenuti matematici del lavoro con gli elastici, non c'è che l'imbarazzo della scelta. Possiamo provare ad elencare, alla rinfusa e in modo del tutto indicativo, argomenti come: Raccolta dati e loro rappresentazione. Tipi diversi di numeri e loro proprietà. Operazioni. Funzioni lineari. Rappresentazione grafica e connessi argomenti di geometria. Approssimazioni. Discreto/continuo (biglie ed acqua per misurare i pesi). E naturalmente i nuclei di processo: Congetturare, argomentare, dimostrare. Connessione (generalizzare i tipi di relazione ad altre situazioni). Comunicazione. Rappresentazione. Eccetera, eccetera.

Per finire, è importante l'aspetto linguistico del lavoro, sul quale qui non ci soffermiamo se non marginalmente. Ma per esempio, e per sottolineare l'importanza della condivisione nel nostro approccio, sono fondamentali i momenti in cui occorre mettersi d'accordo su che cosa chiamare forza e che cosa chiamare elastico, così come i momenti di scrittura collettiva e riepilogativa al termine delle fasi significative del lavoro.

Classe prima. Inizia con l'esplorazione il processo di modellizzazione. Riportiamo in Fig. 2 uno dei tanti disegni realizzati dai bambini, con le relative didascalie, in cui raccontano ciò che hanno fatto e scoperto (Nell'esposizione orale saranno presentati altri disegni e altri scritti). *“Noemi e Vittorio avevano preso l'elastico lungo di Silvia e l'avevano tirato e Noemi ha detto mi sto spezzando la mano e io lo vedevo da fuori”*.

Uno dei tipici strumenti nelle mani dell'insegnante è il ricorso agli esperimenti, sia concreti che 'mentali', in cui l'incoraggiamento a fare previsioni richiama il gioco delle prerappresentazioni. In Fig. 3 vediamo un bell'esempio di esperimenti preso dal diario di Gabriele, ancora di classe prima.¹ Si noti il tentativo (spontaneo) di inventare notazioni (ovviamente non standard) per marcare l'aumento crescente della forza.

Più tardi verrà introdotto l'*allungometro*, nient'altro che un rudimentale dinamometro accompagnato da una scala graduata (Fig. 4), tipico strumento 'povero', che costituisce un efficace mediatore semiotico verso la selezione e individuazione delle variabili significative del fenomeno elasticità.

Nella Fig. 5 si riproduce una pagina del diario di Pierpaolo, in classe terza. E' riprodotta nella rappresentazione grafica la relazione tra forza peso (misurata in numero di biglie) e allungamento dell'elastico. Il lavoro si articola in una previsione su cosa succederà e poi nella misurazione effettiva. E tipicamente accade che le due cose non collimano, proprio la condizione più favorevole al crescere della conoscenza.

L'ultima immagine (Fig. 6) riproduce una pagina del diario di Ilaria, classe quinta. Siamo arrivati alla relazione di proporzionalità diretta tra Peso Applicato alla Molla

¹ La didascalia nella pagina adiacente del diario recita:

Assegno: fare altri esperimenti con i tre elastici uniti e misurare cosa succede ai tre elastici.

Esperimento 1: Metto il primo dei 3 elastici intorno al collo e l'ultimo elastico sotto il piede. Dal mio collo al piede sinistro misura 110.

Esperimento 2: il 1° elastico sotto il piede sinistro e l'ultimo al gomito sinistro. Misura 85.

Esperimento 3: Se metto invece il primo elastico sotto il piede sinistro e l'elastico di mezzo al gomito sinistro, misura sempre 85 ma tira di più e ha più forza.

Esperimento 4: Se metto solo il primo elastico fra piede e gomito sinistro, misura ancora 85 ma tira fortissimo.

(PAM) e suo Allungamento (ALL). A parte le acquisizioni in proposito, ci sembra significativa soprattutto la testimonianza di Ilaria sul suo coinvolgimento emotivo: in una pagina seguente del suo diario, svolgendo il compito “Scegli un argomento che ti è piaciuto di più”, scrive: “*Io ho scelto il giorno in cui dovevamo passare dalla colonna PAM alla colonna ALL. Ho scelto questo perché è stato quando sono intervenuta di più e mi sentivo elettrizzata perché dovevo spiegare come ci ero riuscita. Abbiamo scoperto che per passare dalla colonna PAM alla colonna ALL dobbiamo fare :30 e $\times 30$* ”.

4. CONCLUSIONE

Riportiamo poche brevi considerazioni, a conclusione degli esempi presentati (in particolare il secondo), per valutarne il senso e le potenzialità.

Sul piano cognitivo generale, la possibilità di usare un periodo di tempo lungo 5 anni per esplorare un campo di esperienze ricco consente di dare a tutti i bambini il tempo necessario per farsi una “mappa” dello stesso. La costante attenzione (che emerge dalle parole dei bambini) al processo di “scoperta” ed all’uso degli esperimenti mentali prima della verifica sperimentale, promuove e valorizza la capacità di stima e previsione, in continuità con l’attitudine spontanea del cervello di produrre prerappresentazioni. Sul piano cognitivo disciplinare, si può osservare che numeri, piano cartesiano, relazioni tra variabili, equazioni lineari nascono come strumenti per dire e per pensare prima di diventare essi stessi oggetti di riflessione. Sul piano didattico, abbiamo evidenza del fatto che i saperi, i processi, i ragionamenti, ma anche il linguaggio sviluppati in questo contesto sono trasferiti dai bambini in altri contesti grazie all’impiego di un'altra risorsa naturale, il pensiero per analogia, anche se non abbiamo modo qui di portare esempi a sostegno. Inoltre il contesto prototipo, grazie alla ricchezza di esperienze vissute ed elaborate, fornisce una “stampella cognitiva” in contesti più astratti.

Molto ancora potrebbe dirsi per quanto riguarda lo sviluppo linguistico. Tuttavia i pochi esempi riportati, malgrado l'impossibilità di condurre un'analisi più approfondita, consentono di riconoscere che la crescita della padronanza linguistica procede di pari passo con quella scientifico-matematica, soprattutto quando si attribuisce adeguata importanza agli aspetti della comunicazione.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV.: 1996. *National Science Education Standards*. National Research Council, USA.
- AA.VV.: 2000. *Principles and Standards for School Mathematics*. NCTM (The National Council of Teachers of Mathematics), USA.
- AA.VV.: 2001. *Matematica 2001. La Matematica per il cittadino*. Liceo Vallisneri, Lucca.
- AA.VV.: 2003. *Matematica 2003. La Matematica per il cittadino*. Liceo Vallisneri, Lucca.
- AA.VV.: 2007. *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. National Academy of Sciences, USA.
- Balzano, E.: 2007. ‘Concetti e competenze matematiche nella modellizzazione di fenomeni fisici. La multi-rappresentazione nello studio del moto’. Seminario Nazionale di Ricerca in Didattica della Matematica. <http://www.dm.unito.it/semdidattica/mat07.php>
- Blum, W., Galbraith, P. L., Henn, H.-W. e Niss, M. (a cura di): 2007. *Modelling and applications in mathematics education. The 14th ICMI Study*. Springer, New York.
- Boero, P.; Garuti, R.; Lemut, E.; Gazzolo, T. e Lladò, C.: 1995. ‘Some Aspects of the Construction of the Geometrical Conception of the Phenomenon of Sunshadows’. *Proc. of PME XIX*, Recife, Brasile, 3, 3-10.

- Boncinelli, E. e Bottazzini, U.: 2000. *La serva padrona. Fascino e potere della matematica*. Raffaello Cortina, Milano.
- Changeux, J.-P.: 2003. *L'uomo di verità*. Feltrinelli, Milano.
- diSessa, A.: 1993. 'Toward an Epistemology of Physics', *Cognition and Instruction*, 10, 2/3, 105-225.
- Galilei, G.: 1964. *Opere*. UTET, Torino.
- Guidoni, P.: 2006. 'Fisica e matematica: un'interferenza costruttiva', in O. Robutti e M. Mosca (a cura di) *La Matematica e la Fisica nella scuola e nella formazione degli insegnanti, Atti del II Convegno Nazionale*, Torino, 2005, 15-24.
- Guidoni, P.; Iannece, D. e Tortora, R.: 2003. *La formazione matematica dei futuri maestri. Appunti ed esempi di attività*. Progetto CNR, dal sito internet <http://didmat.dima.unige.it/progetti/CNR/napoli/present.html>
- Guidoni, P.; Iannece, D. e Tortora, R.: 2005. 'Forming Teachers as Resonance Mediators'. *Proc. of the 29th Conf. of the Intern. Group for the PME*, Melbourne, 3, 73-80.
- Iannece, D.; Mellone, M. e Tortora, R.: 2006. 'New insights into learning processes from some neuroscience issues'. *Proc. of the 30th Conf. of the Intern. Group for the PME*, Praga, 3, 321-328.
- Iannece, D. e Tortora, R.: 2007a. 'Neuroscienze'. Seminario Nazionale di Ricerca in Didattica della Matematica. <http://www.dm.unito.it/seמידidattica/iannecetortora1.pdf>.
- Iannece, D. e Tortora, R.: 2007b. 'La Risonanza nei processi di apprendimento'. Seminario Nazionale di Ricerca in Didattica della Matematica. <http://www.dm.unito.it/seמידidattica/iannecetortorad.pdf>.
- Iannece, D. e Tortora, R.: 2008. 'Resonance: a key word in mathematics teaching research'. In B. Czarnocha (a cura di) *Handbook of Mathematics Teaching Research: Teaching Experiment – A Tool for Teacher-Researchers*, University of Rzeszow, 59-70.
- Lakoff, G. e Núñez, R.: 2005. *Da dove viene la matematica. Come la mente embodied dà origine alla matematica*. Bollati Boringhieri, Torino.
- Mason, J.: 2001. 'Modelling modelling: where is the centre of gravity of-for-when teaching modelling?' In J.F. Matos, W. Blum, S.K. Houston e S.P. Carreira (a cura di) *Modelling and Mathematics Education. ICTMA 9: Applications in Science and Technology*, Horwood Publishing, Chichester, UK, 39-61.
- Mazzoli, P.; Arcà, M. e Guidoni, P.: 1987. *Forze e Pesì*. Emme Edizioni, Torino.
- Niss, M.: 'Mathematical Competencies and the Learning of Mathematics: The Danish KOM Project'. Dal sito internet <http://www7.nationalacademies.org/MSEB/MathematicalCompetenciesandtheLearningofMathematics.pdf>.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD): 2000. *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. Dal sito internet <http://www.pisa.oecd.org/>.
- Rizzolatti, G. e Sinigaglia, C.: 2006. *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*. Raffaello Cortina, Milano.
- Verschaffel, L.: 2002. 'Taking the modelling perspective seriously at the elementary school level: Promises and pitfalls'. *Proc. of the 26th Conf. of the Intern. Group for the PME*, Norwich, 1, 64-80.
- Vygotskij, L.S.: 1987. *Il processo cognitivo*. Bollati Boringhieri, Torino.
- Vygotskij, L.S.: 1990. *Pensiero e Linguaggio. Ricerche psicologiche* (a cura di L. Mecacci). Laterza, Bari.