

Percorsi di apprendimento

Per apprendere concetti e procedimenti della fisica con piacere, motivazione, comprensione

■ **Enrica Giordano**, Facoltà di Scienze della Formazione, Università di Milano Bicocca
enrica.giordano@unimib.it

INTRODUZIONE

Da diversi anni ampie ricerche internazionali stanno dimostrando la scarsa efficacia dell'insegnamento scientifico "tradizionale" nel generare un apprendimento significativo e duraturo di contenuti e metodi della fisica. Ricerche condotte su grandi numeri di studenti di diverso livello scolare in diversi paesi documentano che le conoscenze scientifiche apprese a scuola rimangono in generale confinate all'ambito scolastico, non vengono utilizzate per risolvere problemi relativi a situazioni anche semplici della vita quotidiana, per interpretare le quali i soggetti tendono a ritornare a soluzioni e idee preesistenti all'insegnamento formale, idee sostanzialmente derivate dalla conoscenza comune che l'insegnamento ha lasciato inalterate o modificate in direzione diversa da quella auspicata [Grimellini Tomasini e Segrè, 1991]. Il risultato è che spesso non si ha successo nell'insegnare i concetti fondamentali e inoltre si provoca negli studenti una reazione di rifiuto o addirittura paura verso la conoscenza scientifica che viene ritenuta arida e incomprensibile ai più.

Si sta dunque mettendo in discussione l'insegnamento "trasmissivo" della fisica e si è avviata la ricerca e la sperimentazione di metodologie di insegnamento interattivo e la progettazione di ambienti che facilitino un apprendimento attivo e significativo di concetti e procedure della conoscenza scientifica.

Molti sforzi di ricerca a livello internazionale si sono rivolti prima a documentare le difficoltà esistenti e quindi a cercare soluzioni

possibili per ottenere un apprendimento significativo, una comprensione vera e addirittura una passione per la fisica. Si è messo l'accento sulla necessità di partire da quello che gli studenti già sanno (preconoscenze, misconcezioni, rappresentazioni mentali) e di coinvolgerli attivamente nel processo di costruzione della conoscenza scientifica. Secondo le indicazioni provenienti dalle scienze cognitive la conoscenza infatti non si trasmetterebbe già organizzata, semplicemente enunciandola, ma andrebbe da ciascuno costruita e ricostruita sotto la guida e la mediazione esperta del docente, interagendo con i pari e con oggetti, materiali, testi, esperti, in un ambiente che stimoli e sostenga l'apprendimento di ciascuno secondo il proprio stile [Boscolo, 1986; Cacciamani, 2002; Pontecorvo, 1992; von Glasersfeld, 1989].

Si sono così sviluppate ricerche che sottolineano l'importanza dell'interazione tra pari e della discussione in classe [Pontecorvo et al, 1991; Mazur, 1997; Meltzer e Manivannan, 2002], ricerche che sottolineano l'importanza di una riflessione sui contenuti e sui metodi della scienza e sui modi del proprio apprendimento (metacognizione) [Bonelli Majorino et al, 1995], ricerche sulla motivazione e la dimensione ludica, e infine ricerche che studiano come le tecnologie dell'informazione e della comunicazione possano modificare e migliorare l'apprendimento scientifico.

Tra queste ultime, le linee di ricerca prevalenti si sono rivolte ad esplorare l'utilizzo didattico di:

- *Programmazione* - programmi che coin-

volgono direttamente gli studenti in attività di programmazione (si pensi, ad esempio, alla lunga esperienza di lavoro con Logo);

- *Simulazione* - intesa sia come produzione sia come modellizzazione di fenomeni e processi fisici (si veda, ad esempio, Interactive Physics, che permette di creare diversi oggetti e situazioni, di variare parametri e componenti, di eseguire misure, di presentare i risultati ottenuti attraverso molteplici forme di rappresentazione);
- *Microcomputer Based Laboratory* (MBL) o laboratorio basato su microcomputer - il calcolatore viene interfacciato con sensori che misurano diverse variabili fisiche; software appositi permettono di raccogliere, memorizzare e visualizzare i dati sia in tempo reale sia in tempo differito;
- *Utilizzo di rete telematica* - intesa sia come strumento di connessione/discussione in rete sia come utilizzo di risorse offerte dal Web [Bonelli Majorino et al, 1996; Midoro, 2002; Manca e Sarti, 2002].

Gli sforzi della ricerca per esplorare ed evidenziare i fattori determinanti per il rinnovamento della didattica scientifica non si sono ancora rivelati efficaci per modificare la situazione complessiva dell'insegnamento che evolve, seppur molto lentamente, soprattutto per l'intervento di insegnanti particolarmente motivati e impegnati nell'innovazione.

La ricerca si sta dunque impegnando nella messa a punto di modelli efficaci per una formazione iniziale e in servizio dei docenti che li metta in grado di gestire l'innovazione in classe e, contemporaneamente, nella proposta di percorsi didattici in cui i fattori che la ricerca ha esplorato, spesso separatamente, confluiscono in modo coerente ed efficace ai fini di un apprendimento significativo delle idee scientifiche fondamentali [Guidoni, 2001; Guidoni et al, 2002].

LA NOSTRA RICERCA

Da anni il nostro gruppo di ricerca in "Didattica della fisica di base" progetta e sperimenta percorsi per guidare ad un apprendimento significativo della fisica. L'obiettivo che ci proponiamo non è sostituire la conoscenza scientifica a quella comune, ma avvicinare progressivamente gli studenti ai modi di vedere e di interpretare la realtà che le discipline scientifiche propongono, in particolare potenziare le capacità di osservazione di chi apprende, arricchirne le forme di rappresentazione e le possibilità di interpreta-

zione, introdurre alla ricerca di coerenza, astrazione, generalizzazione.

I percorsi sono costruiti in collaborazione da esperti di didattica della fisica e da insegnanti che abbinano alla loro formazione la sperimentazione in classe relativamente ai temi sui quali si vanno formando. Questo permette ai ricercatori di monitorare sia il processo di formazione degli insegnanti sia il processo di apprendimento degli alunni e quindi di verificare l'efficacia della proposta didattica che viene messa a punto e modificata in base alla reale risposta di chi apprende.

I percorsi sono progettati per affrontare contenuti selezionati su tempi lunghi, dalla scuola dell'infanzia all'università, a diversi livelli di interpretazione, crescenti in difficoltà e grado di formalizzazione.

La sperimentazione è necessariamente parziale e viene realizzata da gruppi di insegnanti che lavorano nelle loro classi con la metodologia della ricerca azione, collegati tra loro e con i ricercatori anche via rete telematica¹.

Le proposte didattiche che vengono avanzate sono dedicate ad affrontare in modo approfondito contenuti e procedure fondamentali della conoscenza scientifica, fisica in particolare, in connessione con altre aree del sapere così da costituire una proposta che affianca, al più tradizionale approccio "informativo", la dimensione formativa e culturale indispensabile nell'educazione scientifica di base.

L'esperienza quotidiana, il linguaggio, le conoscenze e le abilità possedute da chi apprende costituiscono il punto di partenza e il riferimento costante del percorso che l'insegnante costruisce via via in base alla reale risposta degli studenti.

L'ambiente di apprendimento che viene suggerito nelle nostre proposte e adottato nelle sperimentazioni è molto ampio e ricco di materiale e di attività, così da tenere conto dei diversi stili cognitivi di chi apprende e degli obiettivi formativi e informativi che si intendono perseguire.

In particolare, si suggeriscono attività sperimentali di diverso tipo fatte sia utilizzando materiali di uso quotidiano e di basso costo sia materiali da laboratorio e apparecchiature di costo più elevato. Si ritiene fondamentale proporre esperienze che si prestino sia ad esplorazioni libere sia ad una esplorazione consapevole dei fattori in gioco attraverso la loro variazione sistematica; deve quindi trattarsi di materiale che non sia dedicato a un unico scopo o esperimento, ma che si possa utilizzare in modo aperto e versatile.

¹ Si veda, ad esempio, il sito del progetto "Laboratori in Rete", <http://pctidifi.mi.infn.it/luce/>

UN PERCORSO SUL MOVIMENTO

Qui di seguito diamo la traccia di un percorso di lavoro sul movimento che parte dalla scuola dell'infanzia e si sviluppa lungo l'arco della scuola dell'obbligo. Diamo spazio in particolare a tre momenti del percorso che riteniamo particolarmente importanti e cruciali²:

1. La *fase di avvio* del percorso e di familiarizzazione con i fatti, che suggeriamo di proporre nella scuola dell'infanzia dove sono possibili lavori con tempi distesi, prima che le conoscenze disciplinari e i vincoli di programma obblighino a ridurre fortemente lo spazio dell'esplorazione libera e guidata.
2. La *fase di formalizzazione* delle relazioni tra le grandezze fondamentali del moto.
3. La *fase di studio* in analogia con il comportamento del corpo umano e di artefatti tecnologici, in particolare il confronto tra sensi e sensori.

LA FASE DI AVVIO

I bambini tra tre e cinque anni arrivano nella scuola dell'infanzia, lasciano la casa, i genitori (con conseguente paura dell'abbandono, ansia in un ambiente nuovo e diverso, incontro con il mondo degli adulti) e trovano altri bambini come loro, molto simili e nello stesso tempo molto diversi, trovano adulti preparati ad accoglierli e a guidarli nel loro percorso complessivo.

Ha senso parlare di scienza? Cosa intendiamo per "fare scienza" in questa fascia di età? Il processo di "comprensione" del mondo che li circonda per questi bimbi è già iniziato da tempo, stanno cercando di capire come vanno i fatti del mondo innanzitutto per poter sopravvivere, per imparare a prevedere cosa accadrà a seguito dei loro comportamenti, per fare andare le cose nel modo giusto per loro e per gli altri.

Finora l'hanno fatto in modo individuale confrontandosi prevalentemente con gli adulti e con fratelli/sorelle più grandi, oltre che con la natura e con gli artefatti presenti nella società.

A scuola, in ambienti diversi, predisposti all'interno e all'esterno, vengono loro proposte varie attività, alcune libere e altre organizzate, che li aiutino a crescere su tutti i piani, da quello cognitivo a quello affettivo, a quello sociale.

Si tratta, ad esempio, di attività di movimento in cui i bimbi si muovono in spazi di varie dimensioni, correndo, andando piano, camminando con passo di leone e di formica, strisciando come un serpente, saltando

come una rana, rotolando su stessi, ecc. Mentre si muovono, si guardano intorno; alle sensazioni del loro corpo in movimento nello spazio e in contatto con gli appoggi associano quello che gli occhi vedono di se stessi, delle cose (i muri, il pavimento, gli altri oggetti) e delle persone che ci sono intorno, che si stanno muovendo con loro.

Ed è importante sperimentare anche lo stare fermi, in piedi (coi piedi larghi, coi piedi stretti, su un piede solo, come devo mettere le braccia per non cadere, ecc.), seduti, accovacciati e poi sdraiati, sia all'interno che all'esterno, sentendo il pavimento o l'erba sotto di sé, ascoltando voci, suoni, rumori, sentendo caldo o freddo (la schiena appoggiata al pavimento freddo e la pancia rivolta verso il sole).

Si possono osservare le posture e i movimenti dei compagni, come pure i movimenti di animali familiari e non, rivedendoli in un filmato, e quindi si cerca di riprodurli col proprio corpo.

In questa prima fase è fondamentale affiancare al lavoro sul movimento del proprio corpo, e più in generale dei viventi, l'osservazione attenta di moti di oggetti, meccanismi, giocattoli.

Fin da molto piccoli i bimbi sono attenti sperimentatori e osservatori di moti di oggetti a seguito di loro azioni (oggetti che cadono se lasciati o lanciati; oggetti che si possono trascinare, spingere, che rotolano, che strisciano, che si fermano subito o che vanno lontano); a scuola si propongono attività in parte simili a quelle dell'esperienza quotidiana in parte nuove proponendo un campionario vasto di materiale con cui sperimentare (palle, cerchi, giocattoli meccanici, kit di costruzione tipo LEGO o Meccano).

È importante invitare a manipolare, ad osservare sempre più attentamente, a sentire con tutti i sensi, a confrontare situazioni e sensazioni diverse sottolineando le variazioni e i cambiamenti (cosa succede se cambio ..., se aggiungo ...), a cercare di trovare le parole per dire a se stessi e agli altri cosa si sta sentendo e vedendo, sia quello che c'è nei fatti che quello che c'è dentro di noi (le nostre emozioni, la meraviglia, la paura, la corrispondenza con le aspettative). E così si trovano parole per descrivere le cose come sono, si costruiscono frasi per descrivere come le cambiano, si legano le frasi in storie che raccontano quello che si vede accadere, si leggono storie raccontate da altri.

Si possono trovare altri modi, diversi dalle storie narrate, per rappresentare il movi-

2

Per una trattazione più estesa del percorso sul moto si veda [Gagliardi et al, 1999].

mento? Si raccolgono e si discutono le proposte dei bambini, se ne introducono di nuove. Nasce così l'idea di utilizzare situazioni che si somigliano, le analogie: per rappresentare un oggetto che va sempre più in alto si possono mettere mattoni uno sopra l'altro. Oppure si può usare un registratore con una musica di cui possiamo alzare via via il volume. Oppure si può utilizzare una sorgente di luce con un variatore che permette di aumentarne via via la luminosità. Oppure si può prendere un rotolo di spago e srotolarlo via via. Ma si può anche semplicemente usare una mano e farla scorrere verso l'alto, di poco, di tanto, lenta, veloce proprio come il movimento dell'oggetto. Bisogna però trovare il modo per "fissare" queste rappresentazioni, così da poterle rianalizzare e confrontare con altre. Si potrebbe cercare di disegnare; ma come si fa a disegnare su un foglio fermo le cose che si muovono? Come si fa a disegnare piatte delle cose che non sono piatte e che si trovano in diverse direzioni e su piani diversi? Lavoriamo sulle proposte dei bambini e intanto con loro andiamo a cercare come viene rappresentato il movimento nei fumetti, nei quadri.

Ma il disegno non sempre è un disegno dal vero, può essere un disegno schematico, una rappresentazione astratta, un grafico. E che dire del movimento di oggetti molto grandi e molto lontani come la luna, il sole, le stelle? Sono oggetti di cui non si può modificare il moto, bisogna imparare a osservarlo direttamente, nello spazio grande, fuori, di giorno e di sera. L'osservazione sistematica fatta con attenzione, con pazienza, con emozione permette di dare un significato "vero" a espressioni come: il sole sorge, culmina e tramonta tutti i giorni. L'osservazione ripetuta e il confronto tra le rappresentazioni di quello che si è osservato³, permette di concludere che tutti i giorni avviene qualcosa che si ripete uguale (sempre il sole sorge, culmina e tramonta) e nello stesso tempo diverso (il punto e l'ora del sorgere e del tramontare).

Gradualmente si introducono i bimbi ai concetti (sistema di riferimento, moto traslatorio e rotatorio, ecc.) e alle grandezze fondamentali della fisica del moto e alle relazioni tra esse (posizione, velocità, lunghezza del percorso, tempo impiegato). Alla scuola dell'infanzia si rimane sempre fortemente ancorati al piano percettivo e al livello qualitativo, alla scuola elementare si passa gradualmente al livello quantitativo, a forme di rappresentazione più astratte, a un

livello di interpretazione più alto (in termini di variabili e relazioni tra esse). In tutti i casi c'è un riferimento costante al piano dei fatti, si fanno previsioni, si progettano esperimenti per metterle alla prova, si registrano le osservazioni in varie forme, si raccolgono dati, si analizzano e si interpretano, si rimettono in discussione le ipotesi iniziali, si fissano alcune conclusioni, nascono nuove idee da provare.

LA FASE DI FORMALIZZAZIONE

Il passaggio dalla fase percettiva, concreta, al livello più astratto e formale, che alla scuola media e superiore porta all'introduzione delle formule del moto, risulta particolarmente delicato.

Proponiamo che si faccia precedere o si affianchi alla più tradizionale parte numerica e algebrica (con misure di spazi percorsi e di tempi di percorrenza, calcoli di velocità medie, formule per la velocità media, l'accelerazione, ecc.) la rappresentazione grafica delle grandezze in gioco e delle relazioni tra esse. La forma di rappresentazione grafica in cui il tempo è la variabile riportata sull'asse delle ascisse viene costruita a partire sia da rappresentazioni spontanee [di Sessa, 2001] sia dall'analisi di prodotti della nostra cultura in cui il tempo viene rappresentato attraverso lo spazio (nei fumetti, vignette successive nello spazio rappresentano situazioni in istanti successivi di tempo; nei disegni di oggetti o di persone in moto si tratta dei passi o delle posizioni successivamente occupate; nella musica, le note scritte in successione sul pentagramma vengono suonate successivamente nel tempo con intervalli temporali che sono proporzionali agli intervalli spaziali che separano le note, ecc.). La forma di rappresentazione attraverso il grafico sul piano cartesiano può essere introdotta in modo molto naturale a partire dalle precedenti esperienze di moto del proprio corpo e di parti di esso: la mano che si alza per rappresentare un oggetto che si allontana da un osservatore può lasciare una traccia verticale su un foglio di carta sottostante; se il foglio di carta scorre a rappresentare il tempo che passa, la traccia sarà inclinata con una pendenza rispetto all'orizzontale che dipende dalla velocità con cui la mano si sposta.

Fondamentale da questo punto di vista è l'introduzione, accanto alle più tradizionali apparecchiature di laboratorio, del cosiddetto MBL o laboratorio basato su micro-computer. Si tratta di sensori di vario tipo (quelli di moto, di temperatura, di luce so-

no tra i più comuni) collegati tramite interfaccia a un personal computer (o a calcolatrici tascabili o più di recente a computer palmari)⁴. Il software, studiato per gestire in modo cognitivamente e didatticamente efficace i problemi della misura delle variabili fisiche considerate (distanza, velocità, accelerazione, intensità luminosa, temperatura, ecc.), permette di raccogliere i dati e mostrarli in diverse forme (tabella, grafico) in tempo reale. I dati vengono inoltre memorizzati così da poter essere analizzati successivamente attraverso funzioni⁵ contenute nel software o esportandoli in un foglio elettronico.

L'introduzione di esperienze MBL a bassi livelli di scolarità, ad esempio a livello di scuola media, risulta particolarmente efficace in quanto permette di visualizzare in forma grafica la relazione tra coppie di variabili fisiche coinvolte nell'esperimento in contemporanea allo svolgersi dell'evento.

Ad esempio, collegando al computer il sensore di moto⁶ e scegliendo di visualizzare sullo schermo il grafico "distanza in funzione del tempo", lo studente può stare fermo o muoversi rispetto al sensore, avvicinarsi e allontanarsi in vario modo e vedere sullo schermo costruirsi il grafico del suo movimento. Vede, quindi, una rappresentazione astratta del moto che realizza col suo corpo e che "sente" direttamente: a un movimento regolare (la fisica parla di velocità costante) corrispondono rette, con un movimento di allontanamento in cui si va sempre più veloce si ottengono curve con certe forme, con un movimento di allontanamento in cui si parte veloce e si va sempre più lentamente la forma della curva è simile, ma cambia concavità [figura 1].

A differenza dei più tradizionali grafici ottenuti a partire da formule che legano le due variabili riportate sugli assi o da dati raccol-

ti durante il lavoro sperimentale (che tendono a sottolineare l'importanza dei valori dei singoli punti del grafico), qui l'attenzione è sulla forma complessiva dei grafici, sul loro andamento e sulla connessione tra andamento del grafico e andamento del fenomeno. Questa corrispondenza viene rafforzata dalla possibilità di effettuare variazioni di una delle variabili che il soggetto ritiene importanti per lo svolgimento del fenomeno e vedere se e come si modifica contemporaneamente la sua rappresentazione. Se al moto di allontanamento a velocità costante corrisponde una retta che forma un angolo acuto con l'asse delle ascisse, cosa succede se cambio velocità? E se sto fermo?

Dal confronto tra due moti eseguiti a velocità costante, diversa tra loro, si comincia ad associare la grandezza velocità all'idea di pendenza della retta nel piano (distanza, tempo); questa idea di velocità come pendenza si riprende nel caso di curve nel piano (distanza, tempo) che corrispondono appunto a moti a velocità non costante. L'idea di velocità istantanea come pendenza della tangente alla curva nel punto considerato viene introdotta in modo semplice, grafico, senza richiedere strumenti di calcolo e può essere approfondita attraverso l'analisi del grafico "velocità in funzione del tempo" riferito allo stesso moto. L'analisi dei grafici di avvicinamento {distanza, tempo} e {velocità, tempo} mette in evidenza che il sistema di rappresentazione utilizzato dal MBL distingue due moti a velocità costante di verso opposto, cambiando il segno della velocità, positiva in allontanamento e negativa in avvicinamento. Questo è coerente sia con la regola di segno delle pendenze delle rette nel piano cartesiano, sia con i risultati dei calcoli che si possono eseguire ad esempio sui grafici rettilinei corrispondenti ai moti a velocità costante⁷. Per i

4

Si veda, ad esempio, <http://www.concord.org>

5

Derivazione, integrazione, fit, ecc.

6

Si tratta, ad esempio, di un emettitore/ricevitore di ultrasuoni o di infrarossi del tipo di quelli presenti nelle macchine fotografiche Polaroid o nei telecomandi delle nostre TV. Dopo aver emesso il segnale, il sensore è in grado di raccogliere il segnale riflesso dall'oggetto che gli sta davanti e calcolare (nota la velocità del segnale, misurando il tempo tra emissione e ricezione del segnale) la distanza dell'oggetto; il tutto in un tempo molto breve per cui si possono raccogliere fino a 200 dati al secondo.

7

La velocità media coincide con la velocità istantanea ed è calcolabile come rapporto tra lo spazio percorso e l'intervallo di tempo impiegato a percorrerlo; lo spazio percorso definito come distanza finale/distanza iniziale risulta negativo in caso di avvicinamento.

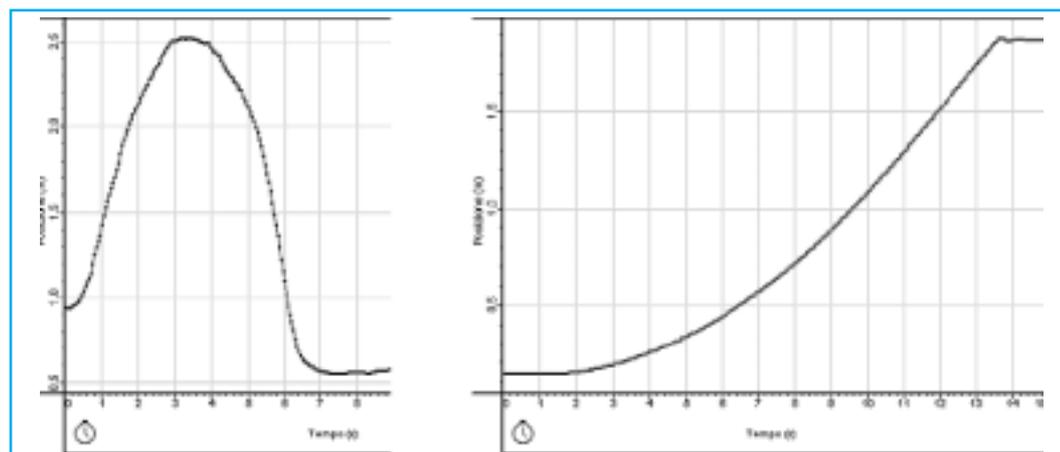


figura 1

a) Grafico corrispondente a un movimento di allontanamento fermata e successivo avvicinamento al sensore, con tratti percorsi a velocità costante. b) Grafico corrispondente a un moto di allontanamento con velocità crescente.

8

Anche ad occhi bendati è possibile produrre una rappresentazione del moto che si è eseguito e percepito, attraverso un oggetto che rappresenta un personaggio stilizzato, che viene mosso (sempre a occhi bendati) da chi ha eseguito il movimento e lascia la traccia del suo moto su una tavoletta rigida ricoperta di plastilina [Terzi, 1995].

9

Il sensore di contatto è un normale mattoncino 3x2 che presenta sul lato corto un piccolo pulsante, un interruttore. I valori che il sensore può inviare al mattoncino programmabile sono solo due, corrispondenti a pulsante "premuta" o "non premuta".

10

Per la realizzazione di questa esperienza e di altre analoghe si veda il progetto SeT "Costruiamo un robot", pubblicato sul sito dell'INDIRE (<http://www5.indire.it:8080/set/microrobotica/>) in particolare l'attività "Costruiamo un esperimento".

11

Nel caso della luce si può delineare un percorso di apprendimento del tutto analogo a quello sul moto. Per questo rimandiamo al sito <http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione>. Qui ci limitiamo a ricordare alcune proprietà generali della luce e della sua interazione con la materia: la luce è radiazione elettromagnetica caratterizzata in generale, oltre che dall'energia trasportata (intensità), dalla direzione di propagazione e da caratteristiche cromatiche (frequenza).

ragazzi più grandi a questo punto, lavorando anche sul piano matematico, risulta abbastanza naturale associare alla forma rettilinea del grafico una dipendenza lineare tra le due variabili che si traduce in una equazione di primo grado che lega le due variabili rappresentate sugli assi, arrivando così a formulare la relazione che lega le variabili spaziali e temporali nel caso di velocità costante.

Per i più piccoli ci si può fermare all'idea che se le due variabili riportate sugli assi sono legate in un fenomeno attraverso un grafico rettilineo (che passa per l'origine) si tratta di grandezze che variano "in proporzione", al raddoppiare (triplicare, dimezzarsi, ecc.) dell'una raddoppia (triplica, si dimezza, ecc.) anche l'altra, così che il loro rapporto si mantiene costante.

Oltre alla capacità di rendere disponibile in linea e di "oggettivare" una rappresentazione astratta, questo sistema permette di introdurre importanti novità nel lavoro sperimentale: permette di esplorare liberamente i fenomeni a partire da situazioni reali complesse a cui può non corrispondere nessuna formula; permette di ripetere molte volte l'esperienza apportando variazioni e vedendo cosa cambia nella relazione tra le grandezze in gioco; permette di esplorare la relazione tra più di due grandezze (si può chiedere di vedere oltre al grafico "distanza in funzione del tempo" anche il grafico della "velocità e/o dell'accelerazione in funzione del tempo", vedere il grafico "velocità in funzione della posizione", ecc.). Si crea così una ricca base di attività sperimentali e di loro rappresentazioni a partire dalla quale si possono costruire modelli interpretativi e introdurre relazioni formali a livelli crescenti di astrazione e difficoltà.

LA FASE DI STUDIO. SENSI E SENSORI

Solitamente si passa dallo studio di fenomeni di cui si è protagonisti (il proprio moto) e dalle sue rappresentazioni allo studio di fenomeni che avvengono per cause esterne (ad esempio, la caduta libera o lungo un piano inclinato).

Il processo di costruzione di conoscenza dei concetti e delle procedure fondamentali della scienza del moto può venire ulteriormente arricchito dall'incontro col mondo dei robot programmabili.

Si tratta di kit di costruzione e di gioco, ad esempio LEGO, che consentono di progettare e costruire veicoli mobili, dotati di motori e sensori, il cui moto è determinato in

parte dal disegno costruttivo, in parte dalle regole di comportamento del robot che vengono inserite nel programma.

Si tratta di oggetti "esterni", autonomi, ma ancora molto legati a chi li ha progettati, realizzati, programmati per ottenere un comportamento desiderato; costituiscono "oggetti-per-pensare", oggetti in cui coesistono una presenza culturale, un sapere incorporato e la possibilità di una identificazione personale" [Papert, 1984: p. 17]. Sono oggetti che incoraggiano una interazione intelligente tra chi apprende e le idee astratte che sono incorporate nella tecnologia utilizzata.

La presenza di interfaccia e sensori nei giochi LEGO e nei kit di costruzione di robot introduce una dimensione nuova nella ricerca sulle potenzialità offerte dall'approccio MBL. Il confine tra apprendimento e gioco diventa ancora più sfumato, la progettazione di esperimenti oltre ad essere finalizzata alla comprensione del fenomeno oggetto di studio viene ad essere finalizzata al raggiungimento di uno scopo concreto, ad ottenere un certo comportamento da parte del robot, ad avere un ritorno concreto sulla validità ed applicabilità delle proprie ipotesi.

Alle potenzialità offerte da questi sistemi all'apprendimento di concetti fondamentali della meccanica già sviluppate nell'articolo di Resnick (2002) e in quello di Didoni (2002) in questo numero, vogliamo aggiungere un'altra che ci porta ad arricchire la comprensione del moto, e non solo, da prospettive diverse da quella strettamente fisica.

Il robot tocca

Costruire un veicolo dotato di motori, interfaccia e sensori e programmarlo per ottenere determinati movimenti o per vedere come reagisce all'interazione con l'ambiente circostante porta a chiedersi: Cos'è un sensore? Che cosa "sente"? Somiglia ai nostri sensi? Come funzionano i nostri sensi? Che influenza hanno il nostro canale percettivo visivo e tattile su quello motorio nella gestione dello spazio nel quale ci muoviamo?

Anche con bambini piccoli si possono avviare giochi di movimento ad occhi bendati, per esplorare il senso del tatto e la percezione dello spazio in assenza delle informazioni che provengono dal canale visivo⁸. A queste esperienze è possibile affiancare un lavoro di progettazione e costruzione di un veicolo dotato di un sensore di contatto⁹

che gli permettere di “sentire” quando incontra ostacoli e che si può programmare in modo da farlo reagire (arretrare, curvare) quando il sensore rileva la presenza di un ostacolo¹⁰.

Il robot “vede”?

Si può quindi passare ad esplorare il comportamento di un robot dotato di sensore ottico. La LEGO, ad esempio, propone un sensore ottico, un mattoncino 4x2 dotato, su uno dei lati corti, di due “occhi”, all'apparenza uno rosso e l'altro scuro [vedi figura 2].

I due occhi sono diversi dai nostri in quanto l'occhio rosso è in realtà un emettitore di luce, un LED, solo l'altro occhio è un ricevitore di luce, che è in grado di riconoscere variazioni di luminosità e di fornire all'interfaccia del mattoncino programmabile un valore numerico proporzionale all'intensità della luce ricevuta. Quando il sensore riceve luce sul display del mattoncino programmabile compare infatti un valore tra 0 e 100 che dà una misura in percentuale rispetto al valore massimo misurabile (valore di saturazione). Poiché siamo familiari con situazioni con luce di intensità anche molto diversa (luce solare piena, illuminazione artificiale, ecc.) ma poco familiari con i numeri che rappresentano la misura di queste intensità, questa non corrispondenza del valore letto col valore numerico dell'intensità luminosa non costituisce in generale un problema. L'uso più immediato e preciso che si può fare di questo sensore è l'individuazione di sorgenti di luce e la progettazione di un robot mobile che viene attratto o respinto dalla luce. Si può ad esempio costruire un veicolo con due ruote, due motori, un sensore di luce e programmarlo in modo che quando il sensore legge un valore superiore a 75 arresti entrambi i motori e fermi il robot o ne inverta la marcia.

Vale la pena però di esplorare più a fondo le caratteristiche di questo sensore e le eventuali analogie tra il senso visivo del robot e la nostra percezione visiva¹¹. Ci possiamo ad esempio chiedere: il robot vede i colori? Se poniamo il sensore di fronte a una superficie illuminata che contenga zone di colore bianco e zone di colore nero il sensore riceverà una intensità di luce maggiore dal bianco che dal nero¹², e quindi sarà in un certo senso capace di distinguerli. Si può ad esempio far muovere su questa superficie un veicolo con due ruote azionate ciascuna da un motorino programmato in modo tale che tutte le volte che il sensore di luce registra



figura 2

Il sensore di luce.

un aumento di intensità luminosa venga invertita la rotazione di uno dei due motori fino a quando non venga registrata una diminuzione. Si ottiene così un comportamento di fuga del veicolo dalla luce e si riesce ad esempio a fare in modo che il robot segua una traccia nera su fondo bianco, qualunque sia la forma della traccia.

Si può esplorare più a fondo la sensibilità del robot al colore, ponendo il sensore collegato al mattoncino programmabile a piccola distanza da alcune superfici, ad esempio cartoncini della stessa rugosità superficiale, che ci appaiono diversamente colorati se illuminati da luce bianca.

Si nota allora che affacciando il sensore a superfici bianche e rosse sul display compare lo stesso valore; lo stesso avviene per superfici verde, blu e nera. Il robot sembrerebbe dunque non distinguere il bianco dal rosso, né il verde dal blu e dal nero.

Ma cosa “vede” in questo caso il robot? Bisogna considerare che a piccola distanza dal cartoncino la luce emessa dall'occhio rosso (il LED) colpisce la superficie e ne viene diffusa ritornando all'occhio-ricevitore. Il bianco e il rosso diffondono tutta la luce (rossa) che li colpisce, danno quindi entrambi la stessa risposta. Il verde, il blu e il nero praticamente assorbono tutta la luce rossa dando tutti la stessa risposta (un valore molto basso, ma non nullo per come si comporta il circuito di misura).

Sarebbe interessante confrontare la risposta del nostro occhio a situazioni analoghe in cui in un ambiente oscurato si illuminino gli stessi cartoncini con luce rossa. Si ottengono risultati sorprendenti trattandosi di condizioni di illuminazione per noi non usuali. Si può partire da questi spunti per avviare uno studio della percezione del colore e confrontare i recettori che sono nei nostri occhi con i sensori LEGO, la sensazione visiva che noi abbiamo e le reazioni che possiamo provocare nel robot dotato di sensore ottico, ci si renderà così conto che la visione è un fenomeno affascinante, molto complesso, non riducibile alla pura registrazione dello stimolo luminoso.

Quando la radiazione colpisce un oggetto o un materiale, in parte viene riflessa/diffusa (a seconda della rugosità della superficie e dell'angolo di incidenza), in parte viene assorbita, in parte riesce ad attraversare i materiali (a seconda del tipo di materiale e del suo spessore). Perché ci sia visione è necessario che i recettori (i nostri occhi, il sensore LEGO, ecc.) siano colpiti dalla luce emessa dalla sorgente o riflessa/diffusa dalla superficie di un oggetto. Ma la visione non si riduce alla misura delle caratteristiche fisiche della radiazione che colpisce i recettori; coinvolge anche un complesso processo di interpretazione dei dati raccolti da cui traiamo conclusioni su altre caratteristiche e quantità fisiche (distanze degli oggetti, forma, stato di moto o di quiete, colore, ecc.).

12

Ogni oggetto ci appare di un certo colore se illuminato da luce “bianca” poiché diffonde solo parte della radiazione che lo colpisce; la radiazione che colpisce l'occhio è dunque in generale modificata in direzione, intensità e caratteristiche cromatiche rispetto alla radiazione incidente. La nostra sensazione di colore però non ha una corrispondenza biunivoca con le caratteristiche cromatiche dello stimolo luminoso, così il nostro occhio vede bianco un cartoncino “bianco” illuminato dalla luce solare, ma anche un cartoncino “bianco” illuminato da tre fasci di luce sovrapposti di colore rosso, verde e blu.

CONCLUSIONI

Non tutte le componenti del percorso sono ugualmente efficaci ed importanti per aiutare la costruzione di conoscenza da parte dei diversi allievi. Per alcuni è determinante la parte sperimentale (osservativa, di progettazione, di realizzazione), per altri è fondamentale la discussione critica e l'interpretazione teorica; per alcuni è sufficiente lo studio di pochi casi, per altri è necessario un lavoro ripetuto; per alcuni (solitamente la fascia di allievi classificati tradizionalmente come medio bassi) il lavoro con MBL risulta particolarmente stimolante e motivante, ma a volte si riduce a pura esecuzione se non viene sostenuto da stimoli ad analisi critica e a confronto tra i diversi casi, per altri (solitamente la fascia di allievi classificati tradizionalmente come medio alti) il lavoro con MBL resta più scontato se non viene affiancato da una elaborazione che arrivi a livelli anche impegnativi di generalizzazione e formalizzazione; la fase di progettazione e realizzazione di oggetti sia a bassa che ad alta tecnologia risulta in generale stimolante e gratificante.

Per tutti risulta importante proporre accanto a un lavoro di osservazione e manipolazione sul piano sperimentale, un lavoro sul piano della descrizione e della rappresentazione, a molti livelli e con diversi linguaggi, sottolineando di ciascuno peculiarità e limi-

ti, evidenziando la necessità di confrontarli, differenziarli e integrarli tra loro e con i fatti che rappresentano, legandoli alle interpretazioni che si danno sia di fatti singoli che di classi di fenomeni.

Il percorso che abbiamo delineato deve essere inteso come emblematico di un modo di lavorare con i bambini e i ragazzi, per più anni, in modo coerente con l'evoluzione guidata della conoscenza degli allievi da forme iniziali di pensiero spontaneo e automatico a forme più consapevoli e vicine a quelle disciplinari.

Un sapere che gli alunni sappiano ricostruire, comunicare ad altri, applicare in contesti appropriati, trasferire a contesti analoghi; un sapere che lasci in loro una traccia, una impronta anche quando avranno dimenticato le nozioni o i dettagli tecnici; un sapere che li renda consapevoli che tanto i contenuti e i procedimenti scientifici come gli oggetti tecnologici onnipresenti nella loro vita possono essere inventati, progettati, compresi, utilizzati con consapevolezza e piacere.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio in particolare Augusto Chiocciariello per i fondamentali suggerimenti che mi ha fornito sia durante la realizzazione dell'unità di lavoro "Costruisci un esperimento" del progetto SeT sia per la stesura del presente lavoro.

riferimenti bibliografici

- Bonelli Majorino P., Gagliardi M., Giordano E. (1995), *Metacognizione ed educazione scientifica*, in Albanese O., Doudin P. A., Daniel M. (eds), *Metacognizione ed educazione*, Franco Angeli, Milano, pp. 217-236.
- Bonelli Majorino P., Gambini A., Longo C., Giordano E., Portigliotti C., Vegni G. (1996), *Didattica delle scienze e comunicazione telematica tra scuole*, *TD - Tecnologie Didattiche*, n. 8/9, pp. 78-87.
- Boscolo P. (1986), *Psicologia dell'apprendimento scolastico*, UTET, Torino.
- Cacciamani S. (2002), *Psicologia per l'insegnamento*, Carocci, Roma.
- Didoni R. (2002), *Il laboratorio di robotica*, *TD - Tecnologie Didattiche*, n. 27, pp. 29-35.
- di Sessa A. (2001), *Changing Minds: Computers, Learning, and Literacy*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Gagliardi M., Grimellini Tomasini N., Pecori B. (1999), *L'educazione alla conoscenza scientifica: un percorso che parte da lontano*, *LFNS - La fisica nella scuola*, XXXII, 3, pp. 121-134.
- Grimellini Tomasini N., Segrè G. (eds) (1991), *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti*, La Nuova Italia, Firenze.
- Guidoni P. (2001), *Problemi di definizione e diffusione dell'innovazione in area scientifico-matematica*, in *Atti del Convegno TED 2001*, Genova, 12-14 febbraio 2001, pp. 318-319.
- Guidoni P. et al (2002), *Il progetto SeCiF: Spiegare e Capire in Fisica*, http://pctidifi.mi.infn.it/secif/progetto_secif.htm
- Manca S., Sarti L. (2002), *Comunità virtuali per l'apprendimento e nuove tecnologie*, *TD - Tecnologie Didattiche*, n. 25, pp. 11-19.
- Mazur E. (1997), *Peer Instruction: A User's Manual*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Meltzer D. E., Manivannan K. (2002), *Transforming the lecture hall environment: the fully interactive physics lecture*, *American Journal of Physics*, 70 (6), June 2002, pp. 639-654.
- Midoro V. (2002), *Dalle comunità di pratica alle comunità di apprendimento virtuali*, *TD - Tecnologie Didattiche*, n. 25, pp. 3-10.
- Papert S. (1984), *Mindstorms. Bambini, computers e creatività*, Emme, Milano.
- Pontecorvo C. (1992), *Apprendimento*, in *Enciclopedia delle scienze sociali*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma, vol. 1, pp. 265-276.
- Pontecorvo C., Ajello A. M., Zuchermaglio C. (1991), *Discutendo si impara. Interazione sociale e conoscenza a scuola*, La Nuova Italia, Firenze.
- Resnick M., Berg R., Eisenberg M. (2002), *Beyond Black Boxes: restituire trasparenza e estetica all'indagine scientifica*, *TD - Tecnologie Didattiche*, n. 27, pp. 5-20.
- Terzi I. (1995), *Il metodo spazio-temporale*, Ghedini, Milano.
- von Glaserfeld E. (1989), *Cognition, construction of knowledge and teaching*, *Synthese*, 80, pp. 121-140.