

Beyond Black Boxes¹: restituire trasparenza e estetica all'indagine scientifica

*Costruire esperimenti e strumenti per l'esplorazione
di fenomeni della vita quotidiana*

- **Mitchel Resnick**, MIT Media Laboratory, USA
mres@media.mit.edu
- **Robbie Berg**, Wellesley College, USA
rberg@wellesley.edu
- **Michael Eisenberg**, University of Colorado, USA
duck@cs.colorado.edu

“La scienza, qualsivoglia siano i suoi ultimi sviluppi, ha le sue origini nelle tecniche, nelle arti e mestieri... La scienza emerge nel contatto con le cose, dipende dall'evidenza dei sensi, e per quanto sembri allontanarsi da essi sempre ad essi deve tornare.” [Farrington, 1949]

INTRODUZIONE

La scienza è generalmente considerata un'attività “cognitiva”, una disciplina della mente. Tuttavia, esiste una tradizione più fisica e tattile nella scienza, una tradizione nella quale gli scienziati non si limitano a misurare e teorizzare, ma costruiscono anche gli strumenti per farlo. Infatti, molte delle grandi e importanti scoperte scientifiche della storia si basano su una combinazione di scienza, ingegneria e progettazione. La costruzione di Galileo del suo cannocchiale (come da lui stesso descritta [1610]), il progetto della pompa ad aria di Boyle e Hooke per esperimenti con la bassa pressione [Shapin, 1996], la costruzione di uno strumento per la misurazione delle maree da parte di Kelvin [MacDonald, 1964], sono esempi della tradizione scientifica. Attraverso la costruzione degli strumenti - e la comprensione delle loro possibilità e dei loro limiti - gli scienziati hanno storicamente raggiunto una conoscenza più profonda della natura dei fenomeni studiati.

I meriti della tradizione legata alla costruzione degli strumenti vanno oltre le necessità immediate della ricerca. Infatti, un elemento di quella tradizione è una filosofia di progettazione che metta in evidenza l'ele-

ganza e la bellezza negli oggetti materiali del lavoro scientifico. Testimonianze di questa tradizione estetica sono reperibili nei musei e negli archivi, in scritti, disegni e strumenti arrivati sino a noi dagli scienziati del passato. Per esempio, gli orologi di John Harrison hanno rappresentato sia un progresso rivoluzionario nella progettazione strumentale che meravigliose opere d'arte funzionale dalla decorazione complessa [Sobel, 1995]. L'osservatorio di Tycho Brahe era un laboratorio e una esposizione di begli strumenti allo stesso tempo [Rider, 1983: pp. 52-3]. E ancora, negli annali dell'informatica, le macchine da calcolo di Pascal e Leibniz, così come il “motore analitico” del diciannovesimo secolo di Charles Babbage (ricostruito al Museo della Scienza di Londra), esibiscono la loro varietà di bellezze meccaniche. Gli strumenti ottici, quelli per la navigazione e la vetreria usati dagli scienziati del diciottesimo e del diciannovesimo secolo oggi ci colpiscono per la loro funzionalità e gradevolezza; anche la tradizione storica dell'illustrazione scientifica (come esemplificata nei disegni di Audubon) unisce la precisione alla bellezza (per esempio, [Turner, 1980; Daumas, 1972; Ford, 1993]).

¹ “Oltre le scatole nere” (N.d.T.).

Le tradizioni estetiche e di costruzione di strumenti delle discipline scientifiche si sono forse attenuate in questi anni, in parte per buone ragioni. La scienza non è più la provincia del singolo aristocratico e la progettazione di uno strumento scientifico (come di altre cose in questo secolo) è sempre più una questione di produzione di massa. Mentre la democratizzazione della scienza è un fatto positivo, il declino dell'“artigianato scientifico” è un fenomeno più problematico. Secondo alcuni scienziati, l'esperienza (e forse anche la qualità) della ricerca soffre quando il ricercatore perde il contatto fisico stretto con gli strumenti e i materiali del suo mestiere. Scrive Pierre-Gilles de Gennes (Nobel per la fisica):

“Nella Francia rurale di un tempo, i bambini erano in contatto quotidiano con la natura e con il mondo degli artigiani, e ciò sviluppava in loro il senso di osservazione e del lavoro manuale... L'accesso all'informatica è una necessità, ma se ci accontentiamo di far sedere le giovani generazioni davanti a un computer (cosa che a loro piace) rischiamo di perdere qualcosa di prezioso. Formare una generazione in grado soltanto di usare una tastiera e produrre dei documenti è, secondo me, una prospettiva allarmante.” [de Gennes, 1996: p. 149]

E vi sono problemi ancor più sottili. Con il tempo il laboratorio scientifico potrebbe essere tristemente diventato un ambiente meno bello dove lavorare è meno magico agli occhi di uno studente o di un giovane ricercatore. Lo studente delle facoltà scientifiche di oggi difficilmente trae un senso di confort e piacere dall'ambiente che lo circonda; e, come osserva Csikszentmihalyi (1996), l'impresa creativa (scientifica o artistica) è spesso molto influenzata da tali fattori ambientali:

“Anche la mente più astratta è influenzata da ciò che circonda il suo corpo. Nessuno è immune dalle impressioni che colpiscono i nostri sensi dall'esterno. Gli individui creativi sembrano trascurare l'ambiente e lavorare felicemente anche nei contesti più tristi... In realtà, invece, il contesto spazio-temporale in cui le persone creative vivono ha conseguenze che spesso passano inosservate.” (p. 127)

Il potere e al tempo stesso il limite degli strumenti scientifici moderni sono rispecchiati nel termine “scatola nera”, che è comunemente usato per descrivere le apparecchiature. Le “scatole nere” di oggi sono altamente efficienti nelle misurazioni e nella

raccolta di dati e consentono anche ai principianti di svolgere esperimenti scientifici avanzati. Allo stesso tempo, queste scatole nere sono “opache” (in quanto il loro funzionamento interno è spesso nascosto e quindi scarsamente compreso da chi li usa) e sono di aspetto insignificante (ciò rende difficile per l'utente provare un senso di relazione personale con l'attività scientifica). Come suggerisce la citazione di de Gennes, l'elettronica digitale e le tecnologie informatiche hanno accelerato questa tendenza, riempiendo i laboratori scientifici e le classi scolastiche di scatole nere sempre più opache. La maggior parte degli strumenti scientifici odierni è costituita da poco più che piastre e circuiti integrati. Anche se aprissero le scatole e le esaminassero, la maggior parte degli studenti (e anche molti scienziati) capirebbero molto poco del funzionamento dello strumento.

Paradossalmente, le stesse tecnologie elettroniche che hanno contribuito a rendere la scienza una scatola nera possono essere usate anche per reintrodurre nella progettazione di strumenti scientifici una dimensione personale vigorosamente creativa ed estetica, in particolare nell'insegnamento scientifico. Questo articolo descrive due anni di lavoro, svolto nell'ambito del progetto “Beyond Black Boxes” (BBB), incentrato sullo sviluppo di nuovi strumenti di calcolo e materiali di progettazione che consentano ai bambini (e a studenti più grandi) di creare, modificare e personalizzare i loro strumenti scientifici. I nostri strumenti e materiali fanno uso di apparecchi elettronici minuscoli e completamente programmabili chiamati Cricket, che gli studenti possono incorporare in (o collegare a) oggetti di uso quotidiano. I Cricket possono controllare motori e luci, ricevere informazioni da sensori e comunicare fra di loro tramite raggi infrarossi. Poiché i Cricket sono computer per scopi generali, gli studenti possono riprogrammarli per usarli in una vasta gamma di strumenti fatti in casa; poiché sono piccoli e portatili, solidi e capaci di comunicare fra di loro, gli studenti possono usarli in modi nuovi e originali. I Cricket quindi, da un lato, espandono il paesaggio tradizionale della progettazione informale di strumenti e, dall'altra, intensificano il rapporto individuale fra l'utente e lo strumento, rendendo possibile intrecciare l'indagine scientifica con gli artefatti progettati personalmente (o dal significato personale) e con le attività quotidiane.

Il resto di questo lavoro descrive i modi in

cui questa nuova tecnologia può migliorare la dimensione creativa, estetica e personale dell'indagine scientifica condotta dagli studenti. Nella sezione che segue collochiamo il nostro lavoro nel contesto delle tradizioni ad esso collegate. La terza sezione fornisce una breve introduzione ai Cricket ed alle tecnologie relative. La quarta - il cuore di questo articolo - descrive diverse esperienze di studenti coinvolti nella creazione, abbellimento o personalizzazione di strumenti scientifici. Nella quinta ed ultima sezione riflettiamo su queste esperienze, rilevando sia gli aspetti positivi che quelli negativi; più in generale, tratteremo di ciò che ha e di ciò che non ha "funzionato" nei nostri sforzi di andare oltre le scatole nere nell'educazione scientifica.

RICERCHE COLLEGATE

La nostra ricerca è stata influenzata e si ispira a diverse tradizioni dell'educazione scientifica. Da un lato, esiste una lunga e rispettabile tradizione di "scienza fatta in casa" con libri e materiali didattici che suggeriscono esperimenti e progetti che gli studenti possono intraprendere con materiali facilmente reperibili [Diehn e Krautwurst, 1994; Doherty e Rathjen, 1991; Hann, 1979]. Collegata alla tradizione della scienza fatta in casa c'è una letteratura fondamentale (soprattutto britannica) di "educazione alla progettazione", in cui progetti di classe a livello di scuola elementare hanno come scopo la creazione di dispositivi, macchine, modelli tangibili, ecc. (per esempio, [Banks, 1994; Kolodner et al, 1998; Ritchie, 1995; Williams e Jinks, 1985]). Un altro filone di lavoro prevede attività di Microcomputer Based Laboratory (MBL), dove software e strumentazione scientifica si fondono per arricchire e automatizzare una serie di progetti scientifici di classe [Tinker, 1996]. Infine, siamo stati fortemente influenzati da una tradizione di lavoro di programmazione per bambini (e in generale dalla programmazione per l'utente finale), esemplificata dal lavoro cresciuto attorno al linguaggio Logo e ai suoi discendenti [Papert, 1980].

Il nostro lavoro è stato influenzato dalle idee provenienti da tutte queste fonti, ma allo stesso tempo esibisce una combinazione di caratteristiche che contrastano con ciascuna di queste tradizioni singolarmente intese.

- *L'approccio costruzionista.* Nella gran parte delle attività MBL gli studenti usano strumenti precostruiti; allo stesso modo, molti

libri di "scienza fatta in casa" utilizzano prevalentemente dimostrazioni ed esperimenti già progettati. Le attività relative al progetto BBB si basano su un approccio diverso, nel quale gli studenti sono incoraggiati a costruire e programmare gli strumenti che usano e a progettare i loro esperimenti. Secondo noi questo approccio costruzionista [Papert, 1993] approfondisce la comprensione che gli studenti hanno dei concetti scientifici alla base delle loro attività. Ciò riecheggia nell'affermazione di Larkin e Chabay (1989) riferita all'educazione scientifica, secondo la quale "è bene lasciare che gran parte di questa istruzione avvenga attraverso il lavoro attivo su compiti" (p. 161); allo stesso modo Berger (1994), nel suo avvincente volume sulla Westinghouse Science Talent Search, osserva che "troppe scuole si accontentano di passare il loro tempo impartendo lezioni di biologia e di chimica sulla base di programmi standard. Al contrario, la parte divertente della scienza è proprio la ricerca, quella parte che permette la conoscenza e la meraviglia" (p. 235).

- *La scienza del mondo reale.* Tradizionalmente molta parte del lavoro che riguarda l'attività di programmazione per bambini nell'educazione scientifica si è indirizzata alla simulazione dei processi naturali. Questo uso del computer ha un fascino ovvio: attraverso la programmazione di simulazioni, gli studenti (e i ricercatori) possono esplorare fenomeni altrimenti difficili o impossibili da vedere nel mondo reale, fenomeni che coinvolgono condizioni idealizzate (per esempio, l'assenza di attrito), che hanno luogo su scala molto vasta o molto ridotta o durante periodi di tempo molto lunghi. La simulazione tuttavia, per quanto utile, è solo una parte dell'educazione scientifica. In ultima analisi, la scienza è un'attività rivolta alla comprensione del mondo materiale; pertanto, le ricerche che riguardano i fenomeni del mondo reale sono cruciali per lo sviluppo della comprensione scientifica e degli interessi scientifici degli studenti. Le attività relative al progetto BBB sono, quindi, intese a espandere lo scenario di programmazione per bambini da un'attenzione esclusiva sulla simulazione a un coinvolgimento più profondo con il mondo tangibile fuori dallo schermo del computer.
- *La combinazione del rilevamento dati e il controllo.* Nella maggior parte delle attività MBL, gli studenti raccolgono e ana-

lizzano dati provenienti da sensori. Con ciò si fa un passo avanti: gli studenti usano i dati provenienti dai sensori per controllare le azioni dei motori, delle luci e di altri apparecchi elettronici. Allo stesso modo, la combinazione di sensori e attuatori all'interno di strumenti scientifici rappresenta un passo avanti rispetto alla maggior parte del lavoro sull'educazione alla progettazione e rispetto alle tradizioni legate alla scienza fatta in casa: la prima spesso si concentra nella costruzione di artefatti statici o meccanici, mentre la seconda spesso si affida a materiale a "bassa tecnologia" per l'esplorazione scientifica informale.

- *La programmabilità.* Diversamente dalla maggior parte delle attrezzature MBL, i Cricket sono completamente programmabili e consentono allo studente di modificare facilmente, adattare ed estendere la funzionalità degli strumenti che costruisce.
- *La mobilità.* Le piccole dimensioni dei Cricket rendono possibile agli studenti la creazione di strumenti scientifici che possono portare con sé, distribuire in località remote o anche incorporare in altri oggetti.
- *Basso costo.* Il costo contenuto dei Cricket cambia profondamente il tipo di indagini possibili. Gli studenti possono mettere a "rischio" gli strumenti costruiti con i Cricket, posizionandoli in ambienti pericolosi senza preoccuparsi se alcuni di essi si perdono o vengono danneggiati. La mobilità e la relativa accessibilità dei Cricket possono, secondo noi, provocare un'inversione di rotta nelle assunzioni alla base delle tradizioni della "scienza fatta in casa" e dell'educazione alla progettazione, spostandole verso una combinazione più potente di mezzi artigianali e informatici. In sintesi, ci sembra che i Cricket (e i loro discendenti informatici) possano ottenere lo status di oggetti del nostro quotidiano - parte dell'insieme eterogeneo di materiali che ora include la plastica, i cavi, il cartone, i tessuti elastici e altri materiali moderni seppure banali.
- *"Apprendimento nell'arco della giornata".* Molte delle attività tradizionali MBL riguardano esperimenti che gli studenti vedono come immotivati e decontestualizzati. La nostra intenzione è, invece, quella di aiutarli a sviluppare indagini che si inseriscano nelle loro attività quotidiane e che, in molti casi, prevedano raccolte di dati su periodi di tempo molto lunghi.

L'obiettivo è quello di allontanarsi dall'apprendimento in classe passando ad un apprendimento "lungo l'arco della giornata"; le piccole dimensioni dei Cricket (unite alla loro capacità di immagazzinare dati raccolti nel tempo) facilitano questo passaggio.

- *Varietà di materiali.* Tipicamente, le attività del progetto BBB implicano l'uso di una vasta gamma di materiali: elettronica, legno, carta, mattoncini LEGO, gommapiuma e molti altri. Da questo punto di vista, le attività del progetto BBB hanno in comune con la "scienza fatta in casa" una pratica di uso creativo di tutti i tipi di oggetti e di risorse. Quindi, noi non ci limitiamo all'uso dei Cricket nel contesto di kit di costruzione più grandi già esistenti, del tipo LEGO, Meccano o Fischer-Technik, ecc.; per quanto magnifici e versatili, vediamo questi kit come una parte (importante) di un mondo più vasto e più vario di materiali da costruzione. L'uso di un'ampia varietà di materiali aiuta anche a mettere a fuoco l'estetica della progettazione.
- *Estetica della progettazione.* La maggior parte delle attività MBL e di "scienza fatta in casa" prestano poca o nessuna attenzione all'estetica della strumentazione o ai modi in cui gli strumenti sono integrati nel contesto; e nei pochi casi in cui le attività di "scienza fatta in casa" si occupano dell'estetica tendono a farlo sottolineando la pratica della decorazione a posteriori (per esempio, dipingendo l'esterno di un telescopio domestico dopo che lo strumento è stato costruito). Mentre lo sviluppo di una tassonomia dei modi in cui gli strumenti scientifici e l'arte possono integrarsi va oltre gli obiettivi di questa ricerca, la versatilità dei Cricket (specialmente in associazione con i vari materiali da costruzione sopra citati) si presta a una rivisitazione ragionata dell'estetica della progettazione scientifica. Uno strumento scientifico potrebbe essere un telescopio decorato in modo attraente; o potrebbe essere progettato per inserirsi in modo armonico in un giardino o in altri contesti naturali; o potrebbe essere inserito in un indumento; o potrebbe anche essere progettato primariamente come una creazione artistica - cioè un oggetto il cui uso scientifico è complementare o incidentale rispetto allo scopo artistico. In ogni caso, dovremmo aspettarci che allorché le indagini scientifiche si prolungano nel tempo e si inseriscono nelle attività quotidiane l'e-

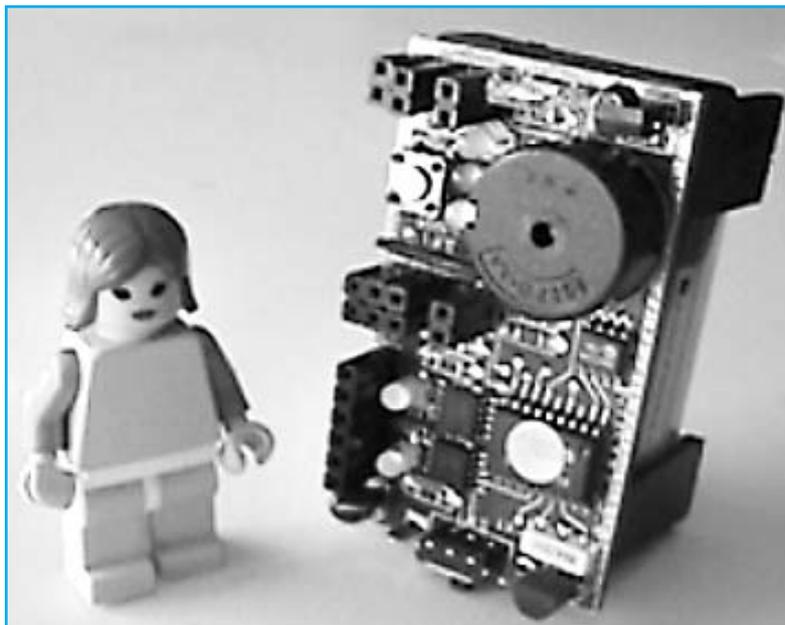
estetica diventi sempre più importante, se non altro perché gli strumenti scientifici diventano parte di ambienti più “vissuti”. Di conseguenza, i progetti BBB sono spesso progettati con un occhio alla decorazione, all’esplorazione artistica, alla bizzezza, in linea con le osservazioni di Csikszentmihalyi sopra citate.

INFRASTRUTTURA TECNOLOGICA

Per aiutare gli studenti nell’attività di progettazione e costruzione dei loro strumenti scientifici era necessaria una nuova tecnologia. Nell’ambito del progetto “Beyond Black Boxes”, abbiamo sviluppato una nuova famiglia di piccoli apparecchi elettronici chiamati Cricket [figura 1]. I Cricket sono simili ai mattoncini programmabili LEGO a suo tempo sviluppati al MIT Media Lab [Martin, 1994; Sargent et al, 1996], ma sono molto più piccoli e leggeri (il prototipo attuale ha le dimensioni di una batteria da 9 volt) e hanno capacità comunicative migliorate. I Cricket possono controllare motori, ricevere informazioni da sensori e comunicare fra di loro (e con altri apparecchi elettronici) attraverso raggi infrarossi [Resnick et al, 1998].

La cosa più importante è che i Cricket sono completamente programmabili: gli studenti possono scrivere e scaricare programmi dentro i Cricket da un computer. Abbiamo esteso il nostro lavoro su ambienti di programmazione Logo per rendere ancora più semplice la scrittura (e la comprensione) di programmi orientati al controllo e al rilevamento dati. Allo stesso tempo, abbiamo reso questi strumenti di programmazione compatibili con le “componenti” software per la visualizzazione grafica e l’analisi dei dati in modo che gli studenti possano facilmente evidenziare tendenze e schemi ricorrenti nei dati che raccolgono con i Cricket. Le piccole dimensioni dei Cricket rendono possibili nuovi tipi di applicazioni. Gli studenti possono incorporare i Cricket in oggetti di uso quotidiano, per esempio un Cricket con un accelerometro può essere incorporato in una palla, oppure un Cricket ed un sensore di temperatura possono essere intessuti nella stoffa di una camicetta. Il basso costo (meno di \$30 la versione corrente) e le capacità di comunicazione dei Cricket permettono di ipotizzare nuove applicazioni in cui decine di Cricket interagiscono fra di loro.

Pensiamo che le tecnologie informatiche (del tipo Cricket) siano particolarmente



idonee per riconciliare considerazioni estetiche e strumenti scientifici, in quanto consentono la separazione della forma di uno strumento dalla sua funzione. In passato, la funzione di uno strumento era direttamente legata alla sua forma fisica. Per esempio, la funzione di un martello è strettamente legata alla sua forma e ai materiali. Con la tecnologia elettronica si allenta il legame fra forma e funzione. Il software in un Cricket può avere un ruolo maggiore nel determinare la funzione dello strumento piuttosto che quella della sua forma fisica o dei suoi materiali. Non più ostaggi dei vincoli funzionali, le forme degli oggetti possono ora essere usate specificamente per la comunicazione e l’espressione.

Naturalmente i Cricket sono solo una delle componenti dei kit da costruzione disponibili nei progetti BBB. Molti di questi progetti usano materiali LEGO (che includono non solo i tradizionali mattoncini, ma anche ingranaggi, ruote e motori) per costruire strutture e meccanismi. Forniamo una serie di sensori diversi che permettono agli utenti di monitorare qualsiasi cosa, dalla temperatura e la luce, al battito cardiaco e alla risposta galvanica della pelle. Abbiamo sviluppato anche una raccolta di nuovi strumenti di output (oltre ai motori e alle luci), come i display numerici e i “mattoncini musicali” per generare effetti sonori. I materiali artistici sono altrettanto importanti di questi strumenti ad alta tecnologia. Quando organizziamo attività BBB ci accertiamo che sia fornita una vasta gamma di materiali artistici e artigianali, inclusi oggetti di uso quotidiano

figura 1

Un Cricket mostrato accanto ad un LEGO per mettere in evidenza le dimensioni.

come scovolini, bastoncini per ghiaccioli, batuffoli di cotone. Questo miscuglio di strumenti ad alta tecnologia e di materiali artistici rende possibili esplorazioni e indagini precise e contemporaneamente favorisce lo spirito creativo, l'esuberanza, lo humour, l'eleganza e l'espressione personale.

STUDIO DI CASI

Abbiamo sperimentato le nostre tecnologie e attività BBB in diversi contesti educativi, non solo nelle classi tradizionali ma anche nei centri educativi extra-scolastici per i giovani dei centri urbani. Abbiamo lavorato con allievi di diverse età, dai bambini delle scuole elementari agli studenti universitari. In questa sezione presentiamo quattro progetti. La scelta di questi casi non intende essere rappresentativa di tutta la gamma dei progetti sviluppati. Piuttosto, intendono fornire un campione rappresentativo di come e che cosa imparano gli studenti quando sono impegnati nella progettazione dei loro strumenti scientifici e delle loro ricerche.

Mangiatoia per uccelli

Jenny ha undici anni e le piacciono gli animali. Nel suo cortile ha una mangiatoia per uccelli sempre fornita per nutrire gli uccelli che passano da lì. Ha però un problema: gli uccelli arrivano quando lei è a scuola e quindi spesso non riesce a vederli. Sennonché fa conoscenza con i Cricket durante il laboratorio "Costruiscilo da te" (organizzato in un centro educativo da John Galinato) e decide di provare a costruire un nuovo tipo di mangiatoia per uccelli che raccolga dati sugli uccelli che scendono a nutrirsi.

Jenny inizia costruendo una leva di legno

che serva anche da posatoio per gli uccelli [figura 2]. Il braccio lungo della leva si trova vicino a un contenitore con il cibo per gli uccelli. All'altro estremo della leva Jenny attacca un semplice sensore di contatto fatto in casa che consiste di due graffette da carta. Ecco l'idea di Jenny: quando un uccello scende vicino al cibo abbassa una estremità della leva causando una lieve apertura delle graffette poste all'altra estremità. Jenny collega le graffette ad una delle porte per i sensori poste sul Cricket, in modo che quest'ultimo possa verificare se le graffette sono in contatto fra di loro.

Ma che cosa dovrebbe fare la mangiatoia per uccelli quando un uccello si posa su di essa? Come minimo Jenny vuole tener traccia del numero di uccelli. Pensa anche alla possibilità di pesarli. Poi decide che sarebbe più interessante fotografarli. Incomincia così ad esaminare i modi in cui potrebbe collegare una macchina fotografica alla mangiatoia per uccelli. Costruisce un meccanismo LEGO motorizzato che muove un bastoncino su e giù. Monta il meccanismo in modo che il bastoncino si trovi direttamente sopra il pulsante dell'otturatore della macchina fotografica.

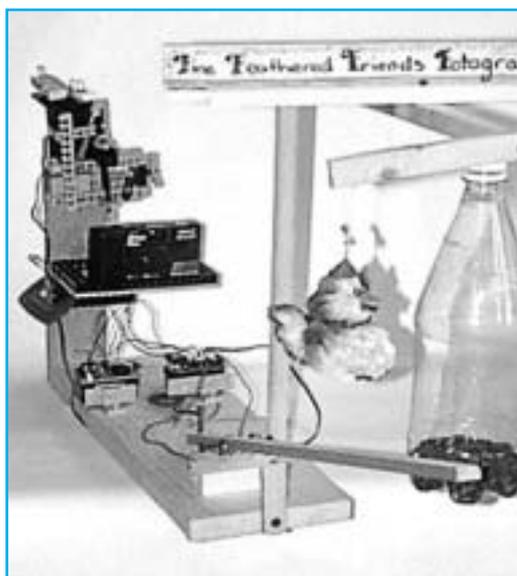
Infine, Jenny collega il meccanismo ad un Cricket e scrive un programma per il Cricket. Il programma aspetta che le due graffette non si tocchino più (indicando che un uccello è arrivato) e accende il meccanismo LEGO motorizzato che fa sollevare il bastoncino in su e in giù, premendo così il pulsante dell'otturatore. Alla fine della giornata tutti gli uccelli che sono scesi presso la mangiatoia dovrebbero risultare fotografati. Jenny ha lavorato al suo progetto per molte ore ogni settimana durante il corso di tre mesi. Alla fine sia il sensore che il meccanismo funzionavano alla perfezione. Ma quando, infine, montò la mangiatoia per uccelli sulla finestra della sua casa ottenne foto di scoiattoli (e della sorella minore), ma non degli uccelli.

Jenny non riuscì mai ad attuare il suo piano e cioè a monitorare che tipo di uccelli sarebbero stati attratti dal tipo di cibo fornito. L'attività di costruzione della mangiatoia, tuttavia, fornì una vasta raccolta di esperienze di apprendimento. Nei progetti BBB la scienza e la tecnologia possono interagire in due modi. La connessione più ovvia è il modo in cui gli studenti usano gli strumenti tecnologici per fare misurazioni scientifiche, come nel caso del progetto di Jenny (mai concluso) in cui la mangiatoia doveva servire a monitorare l'attività degli

10

figura 2

La mangiatoia per uccelli di Jenny.



uccelli. Forse meno ovvio, ma ugualmente importante, è il modo in cui gli studenti usano le conoscenze scientifiche per costruire i loro strumenti tecnologici. Nel caso della mangiatoia per uccelli, Jenny doveva sperimentare diversi progetti di leva per ottenere l'ampiezza di movimento necessaria ad azionare il sensore di contatto fatto con le graffette da carta. Jenny si è anche cimentata con il posizionamento della sua macchina fotografica, provandola a diverse distanze dal posatoio nel tentativo di ottimizzare la messa a fuoco delle foto. Attraverso l'attività di costruzione della mangiatoia Jenny ha, quindi, avuto la possibilità di mettere in pratica concetti scientifici in un contesto significativo e motivante.

La natura trasparente² della mangiatoia per uccelli ha messo Jenny in stretto contatto con la tecnologia - e con i concetti scientifici ad essa collegati. Consideriamo il sensore di contatto di Jenny. In generale, i sensori di contatto si basano su un concetto molto semplice: misurano l'apertura e la chiusura di un circuito. La gente interagisce continuamente con sensori di contatto (sotto forma di interruttori). Dato però che la maggior parte dei sensori ha l'aspetto di scatole nere, la maggior parte delle persone non capisce il loro funzionamento, e neppure si pone il problema. Nel sensore di Jenny, creato con due semplici graffette da carta, il concetto di chiusura del circuito è visibile. Allo stesso modo, il meccanismo LEGO di Jenny per premere il pulsante dell'otturatore ha contribuito a demistificare il processo di controllo della mangiatoia per uccelli; inviare un segnale a infrarossi dal Cricket che metta in funzione la macchina fotografica sarebbe più semplice in un certo senso, ma anche meno illuminante.

Naturalmente, non tutto nella mangiatoia per uccelli di Jenny è trasparente. Il Cricket stesso può essere visto come una scatola nera. Jenny (e come lei altri studenti del progetto BBB) sicuramente non capiscono i meccanismi di funzionamento interno del Cricket, ma non era questo lo scopo. Mentre progettavamo i kit di costruzione che gli studenti avrebbero usato per creare i loro progetti BBB, avevamo anche deciso esplicitamente di nascondere alcuni processi e meccanismi entro scatole nere e rendere invece visibili e manipolabili altri processi e meccanismi. La scelta di quali caratteristiche nascondere - e di quali evidenziare - era guidata dal nostro desiderio di rendere particolarmente accessibili e salienti agli studenti alcuni concetti. La nostra speranza era che gli

studenti "inciampassero" in modo naturale in alcuni concetti (evitando di essere distratti da altri) mentre lavoravano ai progetti. Le scatole nere non sono intrinsecamente un male; la sfida è quella di trovare il livello giusto per il loro uso, nascondendo dettagli non necessari e valorizzando concetti chiave. Per esempio, mentre il circuito elettronico del Cricket resta nascosto, Jenny può controllare direttamente le regole che presiedono al funzionamento della mangiatoia per uccelli. Durante lo svolgimento del progetto, ha apportato continue modifiche ai programmi Logo del Cricket tese ad estendere le funzionalità della mangiatoia. Dopo aver ultimato la prima versione della mangiatoia, Jenny aveva individuato un problema: se l'uccello saltellasse sul posatoio, la mangiatoia scatterebbe una serie di foto dello stesso animale. Jenny aggiunse un'istruzione di "attesa" al suo programma in modo che questo facesse una pausa per un attimo dopo aver scattato la foto, evitando così il problema del "doppio salto".

L'abilità di modificare ed estendere il suo progetto ha fatto sì che Jenny sviluppasse un profondo senso di coinvolgimento personale e di possesso. Ciò l'ha condotta ad una attività di confronto fra il suo progetto di mangiatoia per uccelli e altri progetti legati alle scienze a cui aveva lavorato a scuola. «Questo è risultato forse più interessante in quanto avevi la sensazione di fare un test per qualcosa di molto più complicato che non l'attività di mescolare una polvere ad un liquido», ci spiega Jenny. «Era più una cosa del tipo: quanti uccelli hai registrato con la macchina che *tu* hai costruito con questa cosa complessa che dovevi programmare e "riempire"» (l'enfasi è sua).

La passeggiata al cioccolato

Abbiamo sviluppato una serie di attività preparatorie per introdurre gli studenti alle idee che stanno alla base del progetto BBB. Una delle più riuscite e popolari è conosciuta come la "passeggiata al cioccolato". Questa attività è stata sviluppata per un workshop tenuto in febbraio con un gruppo di allieve della quinta elementare presso il Computer Clubhouse del centro scout per ragazze "Patriot Trail" di Boston. Ad ogni ragazza veniva consegnato un Cricket con un sensore di temperatura e veniva mostrato un programma per registrare i dati della temperatura a intervalli regolari. Mentre andavamo a piedi verso un negozio di ciambelle le ragazze avevano con sé i Cricket e i sensori. Alcune li avevano attac-

2

Definiamo "trasparente" un oggetto i cui meccanismi interni possono essere facilmente visti e capiti. Ironicamente, alcuni hanno cominciato di recente ad usare la parola "trasparente" con un significato quasi opposto e cioè riferita ad oggetti così semplici da usare che non richiedono neppure di pensare ai loro meccanismi interni.

cati agli abiti. Altre avevano i sensori in mano e li posarono su diversi oggetti lungo il percorso. Al negozio di ciambelle tutte le ragazze bevvero una cioccolata calda. All'unisono tutte le ragazze posarono i loro sensori di temperatura sulla superficie esterna delle tazze (alcune immersero il sensore dentro la cioccolata calda).

Al ritorno al centro scout, le ragazze trasferirono i dati dai Cricket ai computer e costruirono dei grafici dell'andamento temporale della temperatura usando il software apposito. I grafici mostravano la storia della passeggiata al negozio di ciambelle. Le ragazze potevano vedere sui grafici quando avevano lasciato il calore del centro scout ed erano passate alla fredda via cittadina. I grafici delle ragazze che avevano indossato il sensore erano relativamente piatti e privi di tratti distintivi fino al loro arrivo al negozio di ciambelle. I grafici delle ragazze che avevano messo i sensori a contatto di oggetti lungo il percorso presentavano punte e altre variazioni. Tutti i grafici mostravano un aumento della temperatura al momento dell'ingresso nel negozio, poi un'altra punta quando le ragazze avevano accostato i loro sensori alle tazze di cioccolata calda. Dopo aver esaminato i singoli grafici, le ragazze hanno caricato i dati dei Cricket su un computer per poterli sovrapporre. Così facendo, sono riuscite a esaminare in che modo i loro grafici si assomigliassero (per esempio, i picchi relativi alla cioccolata calda avvenivano tutti nello stesso momento) e in che modo si differenziassero.

Attraverso questa attività, le ragazze hanno acquisito alcuni dei concetti cardine della raccolta e dell'analisi dei dati. Ci siamo resi conto che la raccolta dei dati relativi alla temperatura costituisce un approccio particolarmente efficace per introdurre gli studenti a queste idee. I bambini hanno molta esperienza e intuizione in relazione alla temperatura. Crescono ascoltando le temperature alla TV e alla radio e nelle conversazioni quotidiane. Hanno familiarità con i termometri e facilità nella lettura delle diverse temperature, sapendo che se la temperatura è fra -1°C e -7°C bisogna coprirsi e se è fra $+27^{\circ}\text{C}$ e $+32^{\circ}\text{C}$ si può andare al mare³. Queste intuizioni ben sviluppate mettono gli studenti in buona posizione per poter valutare la ragionevolezza dei dati che raccolgono e di cui fanno il grafico, diversamente da molti altri esperimenti in classe in cui gli studenti partono da intuizioni relativamente deboli sui dati che stanno raccogliendo.

Naturalmente non siamo i primi a notare le conoscenze e le intuizioni dei bambini sulla temperatura. Recentemente molti ricercatori ed educatori hanno sviluppato progetti sull'argomento del tempo atmosferico, sperando di far leva sugli interessi e le conoscenze degli studenti sul tempo (ad esempio, [Pea, 1993]). In alcuni casi, gli studenti hanno allestito all'interno della scuola "stazioni meteorologiche" basate su computer per misurare le variazioni temporali di temperatura, umidità e altre condizioni atmosferiche.

Ad uno sguardo superficiale, questi progetti possono sembrare identici alla passeggiata al cioccolato; in tutti i casi gli studenti raccolgono e analizzano una serie di dati relativi alla temperatura in un arco di tempo. Noi vediamo però alcune importanti differenze. I Cricket consentono un monitoraggio e una analisi più individualizzati. Nella passeggiata al cioccolato i grafici raccontano una storia diversa (e personalizzata) per ogni partecipante. Ogni ragazza era stata in grado di identificare sul suo grafico quando *lei* usciva, quando *lei* poneva il suo sensore all'interno della giacca della sua amica, quando *lei* immergeva il sensore nella cioccolata calda.

La passeggiata al cioccolato, diversamente dalle attività tradizionali di monitoraggio del tempo atmosferico, introduce un senso di controllo su ciò che si sta misurando. Come dice il vecchio adagio: "Chi vuol passar per sciocco giudichi il tempo". Nel monitoraggio della temperatura gli studenti sono semplici osservatori passivi. Nella passeggiata al cioccolato gli studenti decidono quali temperature misurare e quando. Un'altra differenza è la scala temporale delle attività. Nelle attività tradizionali di monitoraggio del tempo atmosferico eventuali schemi ricorrenti interessanti emergono solo a distanza di giorni o settimane. La passeggiata al cioccolato ha una buona funzione introduttiva, in quanto gli studenti possono vedere caratteristiche interessanti nei dati sulla temperatura riferiti ad un lasso di tempo molto più breve.

Una delle attrazioni connesse all'attività della passeggiata al cioccolato riguarda il modo in cui questa si allinea con le intuizioni pre-esistenti degli studenti, il che permette a questi ultimi di leggere facilmente le loro storie nei grafici. Allo stesso tempo, questo tipo di attività spesso riserva sorprese inaspettate nei dati, sorprese che gli studenti sanno individuare immediatamente, in quanto la maggior parte dei dati è loro fa-

3

Nel testo originale le temperature sono espresse in gradi Fahrenheit: rispettivamente, 20-30° F e 80-90° F (N.d.T.).

miliare. Queste sorprese possono verificarsi anche nelle indagini più semplici.

Per esempio, in una giornata fredda, alcuni di noi indossavano sensori di temperatura mentre ci spostavamo dal MIT Media Laboratory al Computer Clubhouse del Computer Museum di Boston. Il viaggio comprendeva un tratto a piedi dal Media Lab alla fermata della metropolitana, quattro fermate di metro e un tratto a piedi per alcuni isolati fino al museo. Avevamo fatto questo percorso molte volte in passato e quindi pensavamo di sapere esattamente quale tipo di grafico avremmo ottenuto. Infatti, dopo aver trasferito i dati dai nostri Cricket abbiamo verificato che molte caratteristiche del grafico erano semplicemente quelle che ci aspettavamo [figura 3]. La temperatura scendeva non appena lasciavamo il Media Lab, risaliva mentre attraversavamo un altro edificio del MIT, scendeva non appena uscivamo, risaliva entrando nella metropolitana e scendeva nuovamente all'uscita della metropolitana; infine, saliva ancora al nostro arrivo al Clubhouse. Ma anche se l'andamento generale del grafico confermava le nostre aspettative qualcosa in esso ci sembrava strano. Ci sorprende il fatto che il tratto del grafico relativo alla metropolitana fosse così breve (meno della metà dell'intero viaggio). Nella nostra testa la maggior parte del percorso verso il Clubhouse era in metropolitana, in termini di *distanza* il percorso in metro era infatti il più lungo. Il grafico, contrariamente alle nostre intuizioni, mostrava invece che la maggior parte del *tempo* era stato impiegato camminando.

Abbiamo scoperto che in questa attività di "raccolta dati quotidiana" queste sorprese

costituiscono la regola più che l'eccezione. Spesso abbiamo incoraggiato gli studenti a portarsi a casa i Cricket per raccogliere dati durante la notte. Una ragazzina di undici anni aveva lasciato il suo Cricket in cucina durante la notte e con sorpresa scoprì nel grafico un picco alle due del mattino. Dopo alcune indagini stabili che il suo Cricket, che aveva lasciato sopra un forno a microonde, aveva sorpreso suo padre che preparava i popcorn in piena notte. Gli studenti di un'altra classe di quinta avevano messo i loro Cricket muniti di sensori di temperatura e di luce nel bagno di casa. Esaminando il grafico dell'accensione e spegnimento delle luci del bagno, gli studenti poterono rilevare l'andamento relativo all'uso del bagno da parte della famiglia. Riuscirono anche, e questo era meno prevedibile, a determinare attraverso la lettura dei dati sulla temperatura quando i componenti della famiglia facevano la doccia.

Questi esperimenti notturni possono rivelare profili non solo dell'attività umana ma anche di quella tecnologica. In molte classi gli studenti lasciarono i Cricket muniti di sensori di luce e di temperatura nei frigoriferi di casa. Come previsto, i dati rivelarono i momenti in cui i familiari aprivano la porta del frigorifero. Ma i dati contenevano anche alcune vere sorprese. Gli studenti si aspettavano che la temperatura del frigorifero restasse costante durante la notte, quando nessuno lo usava. Ma, in realtà, il grafico della temperatura aveva un andamento ciclico, saliva e scendeva a intervalli regolari: i frigoriferi, infatti, usano un termostato che permette alla temperatura di salire di diversi gradi prima di far ripartire il compressore,

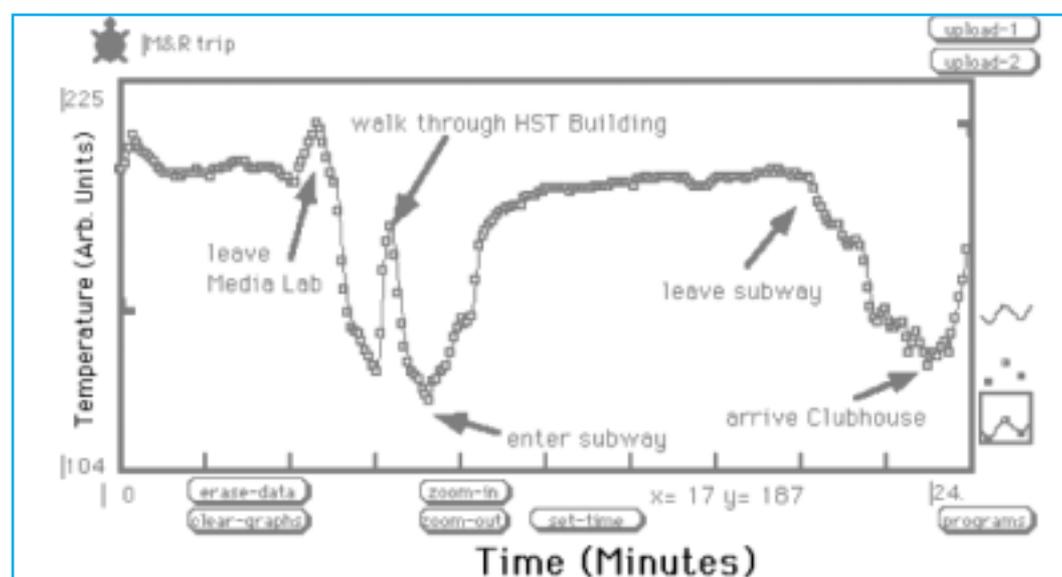


figura 3

Viaggio al Clubhouse.

il quale resta in funzione finché la temperatura scende ad un livello prefissato. Quindi, mentre gli studenti avevano progettato il loro esperimento in modo da monitorare un'attività a loro familiare (l'uso del frigorifero), finirono con l'impossessarsi di un concetto scientifico (il feedback), solitamente non previsto nei curricula della scuola dell'obbligo.

Macchine per biglie

Nell'ambito del lavoro svolto presso il Science Museum del Minnesota, Karen Wilkinson e Mike Petrich organizzarono diversi laboratori di progettazione per bambini. In uno di questi, soprannominato "mini-mini golf", i bambini progettano e costruiscono versioni di campi da golf miniaturizzati su piccola scala, usando polistirolo e cartoncino per creare le strutture, motori per animare gli ostacoli, e biglie al posto di palle da golf. Durante un altro laboratorio, crearono "macchine per biglie", bizzarri congegni in cui le biglie avanzano lungo una serie di rampe e piste, rimbalzando su campanelle e respingenti.

Quando Karen e Mike vennero a conoscenza dell'iniziativa BBB, decisero di estendere

il loro lavoro sulle macchine per biglie aggiungendo Cricket, motori e sensori alla scatola dei pezzi da costruzione. Lo scopo era quello di aiutare i bambini a creare nuovi tipi di sculture cinetiche, mettendo in comunicazione il mondo dell'arte con quello della tecnologia. Organizzarono il loro nuovo progetto delle macchine per biglie al Computer Clubhouse di Boston lavorando con un gruppo di bambini di 10-12 anni.

Alexandra, una bambina di quinta elementare, si appassionò immediatamente al progetto delle macchine per biglie. Iniziò a tagliare tavolette di legno per costruire rampe; era la prima volta che usava una sega o una pinza. Inserì le rampe in un pannello forato e cominciò a far correre le biglie da una rampa all'altra. Successivamente, creò un nastro trasportatore controllato da un Cricket con sopra un cestino. Il suo piano era il seguente: la biglia doveva scorrere lungo la rampa fino al cesto, percorrere il nastro trasportatore all'interno del cesto, saltare poi sulla rampa successiva quando il cesto si sganciava alla fine del nastro trasportatore. Come faceva il nastro trasportatore a sapere quando era il momento di muoversi? Alexandra programmò il Cricket del nastro trasportatore in modo che sentisse un segnale proveniente da un secondo Cricket posto in alto sopra il pannello, che lo informava della biglia in arrivo. Il Cricket del nastro trasportatore aspettava due secondi per accertarsi che la biglia fosse arrivata nel cestino prima di iniziare a muovere il nastro trasportatore e il cestino [figura 4]. Alexandra era entusiasta del suo progetto e decise di presentarlo alla fiera della scienza della sua scuola. Ma quando ne parlò con il suo insegnante, questi le disse che il progetto delle macchine per biglie non era adatto per la fiera della scienza. L'insegnante spiegò che un progetto per la fiera della scienza deve usare il "metodo scientifico": lo studente deve partire con una ipotesi, poi raccogliere i dati con l'obiettivo di dimostrare o di confutare l'ipotesi. La macchina per biglie, disse l'insegnante, non seguiva questo approccio. Inoltre, i progetti della fiera della scienza dovevano includere una bibliografia e Alexandra non era in grado di trovare alcuna voce bibliografica sulle "macchine per biglie" nella biblioteca della scuola. Come alternativa, l'insegnante suggerì una ricerca mirante a scoprire se si potevano coltivare piante nella Coca-Cola. Alexandra decise di insistere con la macchina per biglie. Con l'aiuto di Karen e di Mike mise insieme una serie di foto che rappre-

figura 4

La macchina per biglie di Alexandra.



sentava le diverse fasi della costruzione della macchina per biglie. Anche se Alexandra non mise mai sulla carta un'ipotesi per il suo progetto, il suo insegnante alla fine cedette e le consentì di presentare la macchina per biglie alla fiera scolastica della scienza. Con grande gioia di Alexandra, il suo progetto ricevette uno dei due premi principali dell'intera scuola.

La storia della macchina per biglie di Alexandra solleva questioni importanti sulla natura della ricerca scientifica. Mentre siamo certamente d'accordo sul fatto che l'educazione scientifica dovrebbe avere l'obiettivo di aiutare gli studenti a capire il metodo scientifico, crediamo che molti educatori (incluso l'insegnante di Alexandra) adottino una visione troppo ristretta del metodo scientifico. In effetti, noi pensiamo che il progetto di Alexandra sia uno splendido esempio di metodo scientifico. Seppure non fosse partita da una singola ipotesi a tutto campo, continuava a produrre nuove idee di progetto, a provarle e riprovarle sulla base dei risultati ottenuti. Ognuna di queste idee di progetto può essere vista come una "mini ipotesi" per la quale Alexandra raccoglieva dati. Durante il progetto analizzò decine di queste mini ipotesi, anche se lei non le riteneva tali.

Mentre posizionava le rampe, per esempio, Alexandra provava anche diversi angoli alla ricerca della massima gittata per le biglie. Alexandra aveva anche effettuato diversi esperimenti per trovare la corretta temporizzazione per il nastro trasportatore; ne aveva modificato il programma per permettere al cesto di fare un giro completo, tornando al punto di partenza nella posizione giusta per la biglia successiva.

Questo tipo di sperimentazione contrasta con i modi in cui piani inclinati e sfere sono usati nei tradizionali esperimenti scientifici in classe. Invece di raccogliere semplicemente i dati sulla velocità e la tempistica della discesa con angoli diversi, Alexandra ha condotto i suoi mini esperimenti all'in-

terno di un contesto progettuale più ampio (e più significativo). Come in molti progetti BBB, Alexandra non era partita con l'intenzione di studiare concetti scientifici specifici. Tuttavia, per noi questo non è un problema: le indagini di Alexandra emergevano naturalmente durante il processo di progettazione. Un ruolo critico (e stimolante) per l'insegnante è quello di aiutare gli studenti a riflettere su queste ricerche estemporanee e a fare collegamenti con concetti specifici rilevanti.

Esposizioni artistiche

L'ultimo caso non riguarda uno studente di scuola elementare, bensì il lavoro di una studentessa di architettura dell'Università del Colorado, Adrienne Warmack. Il suo progetto riguardava l'aspetto estetico della progettazione di strumenti attraverso la creazione di dispositivi di misurazione "artistici". Una delle sue creazioni consisteva in un misuratore di luce a forma di fiore. Questo apparecchio, che utilizzava un Cricket con un sensore di luce e un motore, si basava su un principio semplice. Quando il sensore registrava un livello di luce oltre la soglia predefinita dall'utente, attivava un motore che a sua volta spingeva un asse che apriva una serie di grandi "petali" di polistirolo. Quando la luce raggiungeva livelli bassi, il motore iniziava a girare nel senso opposto "chiudendo" il fiore (la figura 5 mostra l'apparecchio nelle varie fasi di funzionamento).

Un'altra creazione della Warmack è uno strumento per visualizzare il passaggio di corrente in circuiti chiusi. Questo apparecchio utilizza un foglio di materiale sensibile alla temperatura che cambia colore ad uno cambio di temperatura di almeno cinque gradi centigradi (partendo dalla temperatura ambiente). Il materiale sensibile alla temperatura era stato posto in un telaio circolare in modo da sembrare la superficie di un tamburo; subito sotto il materiale c'era un reticolo di fili dai quali discendevano

figura 5

Il misuratore di luce a forma di "fiore".



dei cavi elettrici. Al di sotto di questo apparecchio era posto un Cricket che faceva ruotare un insieme di cavi creando differenti connessioni ai poli di una batteria; quando il Cricket passava da una posizione a un'altra si creavano distinti circuiti chiusi nella serie di fili che si trovano sotto il materiale sensibile alla temperatura. Al passaggio della corrente in questi circuiti, i fili si scaldavano e il materiale cambiava colore producendo degli schemi che rivelavano il passaggio della corrente sottostante. La figura 6 mostra diverse istantanee dell'apparecchio in funzione.

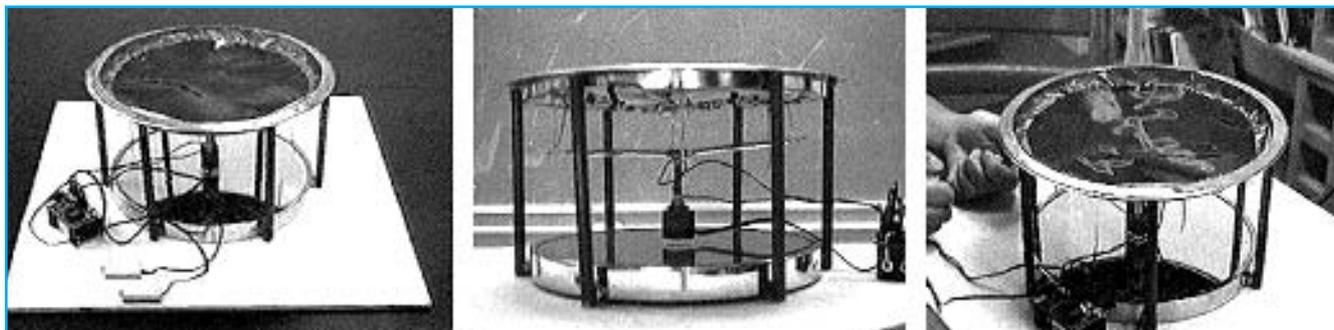
In entrambe queste creazioni, il contenuto scientifico è relativamente semplice: il primo apparecchio è un prototipo di misuratore di luce, il secondo un dispositivo di visualizzazione che mostra la corrente che passa attraverso un filo. Tuttavia, concludere così l'analisi significa mancare l'obiettivo: questi apparecchi non sono intesi semplicemente come strumenti di misura, ma come occasioni per mettere in pratica l'ingegno e la fantasia artistica. Senza dubbio, questi strumenti illustrano la ricchezza delle possibilità offerte dall'incontro fra arte e progettazione degli strumenti. Osservando gli studenti che costruivano i loro strumenti scientifici, ci ha colpito il modo in cui essi sembrano rafforzare molto il loro legame con lo strumento (e con l'insieme dell'attività) nei casi in cui prestano attenzione non solo alle funzionalità ma anche all'estetica. Questi due apparecchi riflettono la vasta gamma di materiali resi disponibili per gli scopi della creatività scientifica fatta in casa - materiali che vanno dai computer portatili (gli stessi Cricket), sensori e materiali innovativi fino a componenti in plastica di giocattoli e cubi di legno a bassa tecnologia. Il misuratore di luce fa uso di un telaio di legno, di tubi di metallo e petali di polistirolo (oltre al Cricket e a mattoncini LEGO); il dispositivo di visualizzazione di corrente impiega un materiale innovativo (la pellicola sensibile alla temperatura) acquistabile

dai cataloghi di educazione scientifica ad un costo moderato. Mentre per la generazione precedente la "scienza fatta in casa" spesso implicava una gamma relativamente ridotta di materiali semplici, la combinazione dei Cricket con un mondo in sviluppo di nuovi materiali ha aperto nuove possibilità per la creazione scientifica informale [Eisenberg e Eisenberg, 1998].

Abbiamo scoperto che i progetti BBB forniscono una modalità naturale attraverso la quale gli studenti esplorano questioni relative al concetto di "rappresentazione". Mentre uno studente costruisce un display (per esempio, il misuratore di luce a forma di fiore o il dispositivo di visualizzazione della corrente), ha bisogno di pensare al modo più efficace per rappresentare l'informazione che intende trasmettere. Per esempio, al seminario "Costruiscilo da te" Luke aveva deciso di costruire un display per la mangiatoia per uccelli di Jenny. Voleva semplificare il compito di coloro interessati a conoscere quanti uccelli erano transitati per la mangiatoia durante la giornata. Dapprima, creò un tipo di "rappresentazione audio". Programmò il Cricket in modo che registrasse il numero di uccelli che si posavano sulla mangiatoia e pose un nuovo pulsante sulla mangiatoia stessa. Premendo il pulsante, il Cricket indicava il numero delle visite effettuate dagli uccelli tramite un numero corrispondente di beep. Questa rappresentazione funzionava bene quando il numero di visite degli uccelli era pari a 2, 4 o 5. Quando, invece, il numero era più elevato la rappresentazione era disagiata: l'utente doveva contare con attenzione (e a lungo). Così Luke decise di usare due diverse tonalità di beep: una tonalità più alta per le "decine" e una più bassa per le "unità". Per indicare 42 visite di uccelli il Cricket emetteva 4 beep alti seguiti da 2 beep bassi. Nonostante questa nuova rappresentazione avesse alcuni chiari vantaggi, Luke decise che la lettura spaziale sarebbe stata migliore di quella temporale (i beep).

figura 6

Il dispositivo di visualizzazione della corrente.



Quindi, costruì due quadranti (uno per le decine ed uno per le unità), ognuno controllato da un motore. Il pulsante non serviva più: i quadranti fornivano continuamente il numero di visite degli uccelli. In molti altri progetti BBB gli studenti si sono cimentati con analoghi processi di esplorazione di rappresentazioni alternative. Molte ricerche (per esempio, [di Sessa et al, 1991]) hanno documentato il valore di questo tipo di attività meta-rappresentative in cui gli studenti costruiscono e riflettono su nuove forme di rappresentazione.

RIFLESSIONI

Coloro che si occupano di educazione scientifica riconoscono sempre più il valore della progettazione delle indagini scientifiche da parte degli studenti, piuttosto che la replica di esperimenti noti. Con la presentazione dei nostri casi abbiamo cercato di dimostrare che la *progettazione dei propri strumenti* può essere una componente particolarmente importante nella *progettazione dei propri esperimenti*. Troppo spesso questa idea viene trascurata. Il National Research Council (1996) inserisce nei suoi autorevoli National Science Education Standards “l’uso di strumenti per raccogliere, analizzare e interpretare dati” fra gli elementi fondamentali dell’indagine scientifica (p. 23). Questa scelta ci trova certamente d’accordo. Noi, però, facciamo un ulteriore passo avanti dichiarando il valore cruciale rappresentato dall’opportunità per gli studenti di progettare i loro strumenti, e non solo quello di usarne di pre-esistenti. I casi presentati indicano parecchi motivi a sostegno del valore dell’approccio “progetta il tuo”.

- *Estendere lo spazio delle possibilità*. Quando gli studenti provano a progettare le loro indagini scientifiche spesso si scontrano con i limiti imposti dagli strumenti disponibili. In molti casi, gli strumenti scientifici standard semplicemente non sono adeguati alle indagini che gli studenti vogliono condurre. La soluzione proposta dai progetti BBB è quella di consentire agli studenti di creare i loro strumenti, adattando questi ultimi all’indagine scelta. Jenny non avrebbe certo potuto acquistare in un negozio la sua mangiatoia per uccelli con macchina fotografica incorporata. Per molte delle indagini realizzate le piccole dimensioni dei Cricket e la loro trasportabilità sono particolarmente importanti. Liberando gli studenti dagli esperimenti legati al laboratorio, i Cricket inaugurano nuove categorie di indagine,

di cui la “passeggiata al cioccolato” è un esempio.

- *Motivazione*. Ci siamo resi conto che gli studenti spesso hanno la consapevolezza di fare un grosso investimento personale nell’indagine scientifica quando progettano i loro strumenti, e particolarmente nei casi in cui danno anche un contributo estetico [Csikszentmihalyi et al, 1993]. Quando Alexandra sentì parlare per la prima volta delle macchine per biglie, sentì che voleva costruire la sua personale macchina per biglie come progetto per la fiera della scienza: «Pensavo che sarebbe stato interessante e diverso dai progetti degli altri bambini, come quelli sul sistema solare o sul corpo umano. Era una cosa strana ma divertente». Jenny teneva molto alla sua mangiatoia per uccelli (e alle foto che questa produsse), soprattutto perché l’aveva progettata e costruita. «“La parte divertente” del progetto», spiegò, «è proprio il sapere che l’hai costruito tu; la mia macchina può fotografare gli uccelli» (l’enfasi è la sua).
- *Integrare l’arte con la tecnologia*. L’opportunità di progettare i propri strumenti scientifici apre una nuova strada all’esplorazione scientifica per gli studenti che hanno un interesse primario (meglio ancora se convergente) in ambiti come l’arte, l’architettura, il design. Le creazioni della Warmack, benché si trattasse di un lavoro universitario, fanno intravedere il fascino che il considerare la progettazione scientifica come progetto artistico può avere sugli studenti a vari stadi dello sviluppo intellettuale. Ovviamente su questo punto bisogna essere cauti: non stiamo sostenendo un approccio annacquato alla scienza nel quale i valori artistici soggettivi prevalgono. Piuttosto, vediamo la creazione degli strumenti come mezzo per esplorare l’interdisciplinarietà tra arte e scienza. Per esempio, si potrebbe immaginare un programma di progettazione sponsorizzato dalla scuola nel quale gli studenti creano automi ispirati a quelli che si possono vedere al bellissimo Cabaret Mechanical Theatre Museum di Londra [Onn e Alexander, 1998], utilizzando però i Cricket per aggiungere controlli e sensori; oppure, si potrebbero creare dei puzzle matematici portatili capaci di combinare l’estetica del famoso cubo di Rubik con un comportamento controllato dal programma di un Cricket; oppure ancora (seguendo l’esempio della Warmack), un progetto potrebbe riguardare i modi crea-

tivi in cui è possibile visualizzare la corrente elettrica. La nostra opinione, basata sull'esperienza accumulata fino ad oggi, è che la progettazione degli strumenti scientifici ha in sé il potenziale di innescare l'interesse per le questioni scientifiche fra studenti che altrimenti ignorerebbero totalmente l'argomento.

- *Sviluppare le capacità critiche.* Troppo spesso gli studenti accettano le misure ottenute tramite le strumentazioni scientifiche in modo acritico. Quando progettano i loro strumenti e le loro indagini, ci siamo resi conto che sviluppano un sano scetticismo sui risultati delle misure, insieme ad una migliore comprensione di quali valori sono ragionevoli e perché. Quando gli studenti ottengono valori "strani" o inaspettati durante le attività quotidiane di raccolta dati (come nel caso della "passeggiata al cioccolato"), sviluppano l'abilità di selezionare fra le varie spiegazioni possibili. In alcuni casi, concludono che una qualche parte della loro attrezzatura non funziona bene. In altri casi (come nell'esempio del padre che si era preparato i popcorn in piena notte), scoprono un evento inizialmente non previsto che produce un dato inaspettato. In altri casi ancora (come nei modelli ciclici osservati nella temperatura dei frigoriferi), gli studenti imparano i processi che ne stanno alla base e dei quali non avevano alcuna consapevolezza.

Che cosa non ha funzionato

I casi qui raccontati mettono in evidenza alcuni punti forti e i successi dell'iniziativa BBB. Tuttavia, è utile anche guardare alle difficoltà e ai problemi incontrati. Alcuni problemi sono stati di natura tecnica e abbastanza facili da risolvere. Per esempio, i Cricket non hanno display incorporati quindi, inizialmente era stato difficile per gli studenti ottenere un feedback in tempo reale (sui valori dei sensori, sullo stato del programma, ecc.) quando i Cricket venivano usati lontano dal computer. Abbiamo iniziato ad affrontare questo problema sviluppando un piccolo display numerico come periferica di un Cricket, in modo che gli studenti ottenessero le letture dal Cricket in qualsiasi momento ed in qualsiasi luogo. Allo stesso modo, abbiamo continuamente migliorato l'ambiente di programmazione per i Cricket per facilitare gli studenti nella programmazione di nuovi comportamenti per le loro costruzioni BBB.

I problemi più difficili, tuttavia, non hanno

soluzioni tecniche semplici. Le attività BBB tendono ad essere particolarmente stimolanti in quanto gli studenti sono coinvolti in molteplici tipologie di progettazione: progettare le indagini contestualmente alla progettazione degli strumenti necessari a condurre quelle indagini. Anche il processo stesso di progettazione dello strumento implica diverse tipologie di progettazione: progettazione di strutture, meccanismi e programmi. All'interno del nostro impegno sul progetto BBB, abbiamo incoraggiato gli studenti a considerare non solo le funzionalità, ma anche l'estetica degli strumenti che progettano. Abbiamo scoperto che, come risultato di queste sfide multiple sulla progettazione, gli studenti spesso riescono a portare a termine una parte del progetto, ma si trovano poi in difficoltà nell'assemblare tutte le parti.

Per aiutarli ad affrontare le molteplici dimensioni della progettazione, abbiamo sviluppato alcune attività introduttive che includono solo alcune dimensioni. In alcune delle attività quotidiane di raccolta dati, per esempio, gli studenti progettano le loro ricerche senza concentrarsi sulla progettazione dello strumento. Un altro approccio è quello di partire concentrandosi sulla progettazione degli strumenti piuttosto che sull'indagine scientifica; per esempio, abbiamo impegnato gli studenti nella costruzione di sculture cinetiche, opere d'arte che incorporano Cricket, motori, luci e sensori. Questo approccio può aiutare gli studenti ad iniziare a sviluppare i loro strumenti scientifici. Un gruppo di studenti della scuola superiore costruì una scultura con un motore e un sensore di luce, e programmò la scultura in modo che si muovesse in diverse direzioni ed a diverse velocità basate sui livelli di luce rilevati dal sensore. Mentre percorrevano la hall con la loro scultura e notavano le variazioni dei suoi movimenti al passaggio davanti alle porte, si resero conto che la loro scultura poteva funzionare come un efficiente misuratore di luce, quest'ultimo munito di un display molto più interessante di quelli dei tradizionali misuratori di luce. Tuttavia, passare dalla progettazione dello strumento a quella della propria ricerca non è cosa da poco. Aiutare gli studenti a individuare argomenti di indagine che li interessino tanto quanto le loro sculture cinetiche è un compito molto impegnativo per i docenti. Molti studenti, nelle loro attività BBB, non procedevano nell'analisi dei dati se non quando erano veramente interessati a questi dati. Un'altra sfida ovvia è

quella di aiutare gli studenti a passare dalla semplice progettazione della ricerca alla riflessione sul suo significato.

Produrre nuove idee per i progetti BBB non è necessariamente facile. Abbiamo provato a facilitare questo processo fornendo agli studenti una ricca collezione di progetti campione e incoraggiandoli a lavorare sulle variazioni di tali progetti. Per esempio, abbiamo mostrato la mangiatoia per uccelli di Jenny alle ragazze scout durante un seminario estivo. Diverse ragazze, ispirate dal tema del monitoraggio degli animali, modificarono la gabbia dei gerbilli per poter tener traccia delle attività dei loro animali. Altre due ragazze costruirono un "sistema di scurezza per i loro diari" che fotografava chiunque avesse tentato di mettervi le mani.

Come per altre attività educative basate sulla progettazione e su progetti, le attività BBB sollevano anche problemi di natura logistica di notevole entità, ponendo vincoli di tempo e spazio. In uno dei luoghi di ricerca BBB gli studenti erano in grado di lavorare sui loro progetti per un solo pomeriggio alla settimana e dovevano anche passare molto tempo a predisporre il loro materiale e a riporlo. Lo stesso luogo ospitava un seminario estivo durante il quale gli studenti passavano intere giornate lavorando ai loro progetti, ogni giorno per tre settimane. Gli studenti del seminario estivo fecero molti più progressi nel loro progetto e chiaramente l'esperienza li interessò e divertì molto di più.

Il compito di integrare le attività BBB nel curriculum scolastico, allineandole agli standard correnti e ai test, costituisce una sfida ancora più interessante. I progetti BBB spesso sono trasversali alle discipline tradizionali (come scienze, matematica e arte) e, inoltre, si agganciano a concetti ingegneristici (come il feedback ed il controllo) che sono raramente trattati a scuola. Per tutte queste ragioni è difficile, se non impossibile, introdurre le attività BBB mantenendo il resto inalterato; sono necessari sostanziali cambiamenti a livello di sistema nell'organizzazione logistica e concettuale della scuola.

Al di là delle scatole nere

Mentre la precedente generazione di studiosi fu conquistata alla ricerca scientifica smontando le radio, i bambini di oggi trovano poco di comprensibile quando aprono una radio o altri apparecchi elettronici moderni. James Gleick (1992) allude a questo fenomeno nella sua biografia di Richard Feynman:

“L'arte di armeggiare con una radio con il tempo tramontò. I bambini dimenticarono il piacere di aprire ed eviscerare le vecchie radio Kadettes e Clubs⁴ dei genitori. Solidi blocchi elettronici sostituirono i grovigli interni degli apparecchi radio, quindi dove un tempo si poteva imparare strappando fili saldati e contemplando la fluorescenza delle valvole non restarono altro che insignificanti chip prefabbricati, i vecchi circuiti compressi mille volte o più. Il transistor, una micro punta di silicio, ha soppiantato il tubo infrangibile e così il mondo ha perduto una collaudata via di accesso alla scienza.”

Indubbiamente i computer hanno reso i meccanismi del mondo meno "trasparenti" per la maggior parte della gente. Ma non è detto che debba essere così. Nel progetto BBB abbiamo visto come gli studenti, aiutati da nuovi strumenti informatici, possono costruire apparecchi personalizzati e iniziare a vedere l'indagine scientifica come un processo al quale possono prendere parte, giorno dopo giorno, in modo creativo e piacevole. Il nostro è solo un primo passo. Nelle nostre prossime ricerche pensiamo di concentrarci su livelli più dettagliati di studio circa il come e il che cosa gli studenti apprendono quando progettano i loro strumenti e le loro ricerche, e su studi inerenti il come svolgere questo tipo di attività con successo in una serie più ampia di contesti. Come misureremo la riuscita del nostro progetto nel lungo periodo? Il nostro obiettivo finale è quello di contribuire allo sviluppo di una nuova generazione di studenti più disposti a guardare dentro gli artefatti tecnologici nel mondo che li circonda e a sentirsi in grado di sviluppare i loro strumenti (anche molto semplici) per esplorare i fenomeni che si presentano loro nella vita quotidiana.

RINGRAZIAMENTI

Fred Martin, Bakhtiar Mikhak, Brian Silverman e Sherry Turkle hanno fornito un importante contributo allo sviluppo della tecnologia dei Cricket ed alle idee che stanno alla base del progetto "Beyond Black Boxes". Mike Petrich, Claudia Urrea e Karen Wilkinson hanno avuto un ruolo determinante nello sviluppo delle attività BBB. Rami Alwan, Rick Borovoy, Gail Breslow, Geneelyn Colobong, Stina Cooke, Ann Eisenberg, Ava Erickson, Phil Firszenbaum, John Galinato, Rachel Garber, Martha Greenawalt, Mark Gross, Adrienne Warmack, Tom Wrensch e Julianna Yu hanno

⁴

Si tratta di nomi di vecchie radio americane (N.d.T.).

aiutato a sviluppare e organizzare la tecnologia, le classi e i seminari del progetto. Vorremmo ringraziare Andee Rubin e Mark Guzdial per l'attenta revisione di una prima bozza. Questa ricerca è stata finanziata da generosi contratti della National Science Foundation (contratti 9358519-RED e CDA-9616444), dal Gruppo LEGO e dai consorzi "Things That Think", "Digital Li-

fe" e "Toys of Tomorrow" del MIT Media Laboratory.

Questo articolo è stato originariamente pubblicato su: *Journal of the Learning Sciences*, vol. 9, n. 1, 2000, pp. 7-30, Lawrence Erlbaum Publishers, Mahwah, NJ.

(traduzione di Giovanna Caviglione).

riferimenti bibliografici

- Banks F. (ed) (1994), *Teaching Technology*, Routledge, London.
- Berger J. (1994), *The Young Scientists*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Csikszentmihalyi M. (1996), *Creativity*, Harper Collins, New York.
- Csikszentmihalyi M., Rathunde K., Whalen S. (1993), *Talented Teenagers*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Daumas M. (1972), *Scientific Instruments of the Seventeenth and Eighteenth Centuries*, Praeger, New York (ed. or. *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Presses Universitaires de France, Paris, 1953).
- de Gennes P.-G., Badoz J. (1996), *Fragile Objects*, Springer-Verlag, New York.
- Diehn G., Krautwurst T. (1994), *Science Crafts for Kids*, Sterling, New York.
- di Sessa A. A., Hammer D., Sherin B., Kolpakowski T. (1991), Inventing graphing: Meta-representational expertise in children, *Journal of Mathematical Behavior*, 10 (2), pp. 117-160.
- Doherty P., Rathjen D. (eds) (1991), *The Exploratorium Science Snackbook*, Exploratorium Teacher Institute, San Francisco, CA.
- Eisenberg M., Eisenberg A. (1998), Middle Tech: Blurring the Division Between High and Low Tech in Education, in Druin A. (ed) *The Design of Children's Technology*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.
- Farrington B. (1949), *Greek Science*, Penguin Books, Harmondsworth.
- Ford B. (1993), *Images of Science*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Galilei G. (1610), *Sidereus Nuncius*, Venezia.
- Gleick J. (1992), *Genius: The Life and Science of Richard Feynman*, Pantheon, New York.
- Hann J. (1979), *The Family Scientist*, Bloomsbury Books, London, UK.
- Kolodner J., Crismond C., Gray J., Holbrook J., Puntambekar S. (1998), Learning by Design from Theory to Practice, in *Proceedings of the International Conference of the Learning Sciences*, Atlanta, December 1998, AA-CE, Charlottesville, VA.
- Larkin J., Chabay R. (1989), Research on Teaching Scientific Thinking: Implications for Computer-Based Instruction, in Resnick L., Klopfer L. (eds) *Toward the Thinking Curriculum: Current Cognitive Research, Association for Supervision and Curriculum Development*, Alexandria, VA.
- MacDonald G. J. F. (1964), Earth and moon: Past and future, *Science*, 145, pp. 881-890.
- Martin F. (1994), *Circuits to Control: Learning Engineering by Designing LEGO Robots*, PhD dissertation, MIT Media Laboratory.
- National Research Council (1996), *National Science Education Standards*, Washington DC.
- Onn A. L., Alexander G. (1998), *Cabaret Mechanical Movement*, Cabaret Mechanical Theatre, London, UK.
- Papert S. (1980), *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books, New York.
- Papert S. (1993), *The Children's Machine*, Basic Books, New York.
- Pea R. (1993), Distributed multimedia learning environments: The collaborative visualization project, *Communications of the ACM*, 36 (5), pp. 60-63.
- Resnick M., Martin F., Berg R., Borovoy R., Colella V., Kramer K., Silverman B. (1998), Digital Manipulatives: New Toys to Think With, in *Proceedings of CHI '96*, Los Angeles, April 1998, ACM Press.
- Rider R. (1983), *The Show of Science*, Friends of the Bancroft Library, Berkeley, CA.
- Ritchie R. (1995), *Primary Design and Technology: A Process of Learning*, David Fulton Publishers, London.
- Sargent R., Resnick M., Martin F., Silverman B. (1996), Building and Learning with Programmable Bricks, in Kafai Y., Resnick M. (eds), *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, Lawrence Erlbaum Publishers, Mahwah, NJ, pp. 161-173.
- Shapin S. (1996), *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago.
- Sobel D. (1995), *Longitude*, Penguin Books, New York.
- Tinker R. (ed) (1996), *Microcomputer Based Labs: Educational Research and Standards*, Series F, Computer and Systems Sciences, vol. 156, Springer-Verlag, Berlin.
- Turner G. (1980), *Antique Scientific Instruments*, Blandford Press, Dorset.
- Williams P., Jinks D. (1985), *Design and Technology 5-12*, Falmer Press, Philadelphia.