

---

# *Il calcolatore come strumento cognitivo: esempi e riflessioni sulla didattica possibile*

Paolo Guidoni  
Seminario Didattico  
della Facoltà di  
Scienze  
Università di Napoli

*Uso del calcolatore nella didattica: condizioni necessarie per lo sviluppo cognitivo e culturale, con particolare riferimento all'insegnamento della fisica.*

## **PREMESSA**

Questo contributo è articolato in tre parti: considerazioni generali sulla utilizzazione del calcolatore nella didattica - in particolare scientifica - in particolare preuniversitaria; considerazioni generali su alcune condizioni necessarie perché tale utilizzazione risulti efficace e significativa sul piano dello sviluppo cognitivo e culturale; esempi di situazioni di insegnamento, realizzate e analizzate a livello di ricerca, in cui alcuni dei problemi posti da tale utilizzazione hanno trovato diretto ed esplicito riscontro e hanno condotto a proposte di soluzione - in diversi contesti e a differenti livelli scolastici.

Date le limitazioni di spazio, nelle prime due parti saranno solo brevemente accennati elementi che spero utili ad una possibile (e auspicabile) discussione più approfondita fra addetti e interessati ai lavori. Nella terza parte saranno invece presentate, molto schematicamente, e commentate due esperienze di didattica della fisica: scelte nella famiglia di quelle realizzabili, ad ogni livello scolare, attraverso l'uso di un computer che funziona sia come trasduttore online, sia come rappre-

sentatore-elaboratore di relazioni significative fra le variabili trasdotte. In conclusione verrà fatto riferimento ad una tipologia di esperienze accessibili fin dai primi livelli scolastici, per rendere più evidenti alcuni aspetti della problematica discussa.

Dato il carattere di riflessione sull'esperienza personale di ricerca in classe che questo contributo vuole avere, non ho ritenuto opportuno appesantirlo di una bibliografia: resta evidente che, come ogni ricerca, anche quella a cui mi riferisco cresce e si evolve nel contesto più largo del lavoro di indagine e di progetto di molte altre persone - anche di molte che non condividerebbero l'approccio qui proposto, o ne proporrebbero di alternativi. A tutti loro - ma soprattutto ai ragazzi e agli insegnanti con cui ho condiviso il piacere di capire - va il mio ringraziamento.

## **PARTE PRIMA: IL CALCOLATORE A SCUOLA**

La scuola, oggi, incontra seri problemi nel far fronte al suo compito istituzionale di me-

---

diazione, indirizzo e controllo nei confronti delle linee portanti della trasmissione culturale: nel garantire cioè che questa risulti individualmente e socialmente significativa.

I problemi sono presenti ovunque: in Italia con alcune connotazioni drammatiche caratteristiche di un vero e proprio sottosviluppo culturale di base (cfr p.es. T. De Mauro: *Idee per il governo. La scuola* - Laterza, 1995). Contemporaneamente, i problemi tendono ovunque a divenire più intricati: in Italia con una tendenza a divergere, alimentata da decenni di occhiuta rapina culturale e di correlata frustrazione professionale e sociale.

Bisogna, per essere realisti, tenere d'occhio le condizioni al contorno; detto questo, cerchiamo di guardare alle radici dei problemi. (Almeno, su questo piano, la ricerca si può confrontare con quella di altri).

Per esempio. Ci troviamo di fronte ad "una crescente difficoltà nei processi di costruzione e attribuzione di significati, proprio perché l'apprendimento non avviene più attraverso un'esperienza diretta ma attraverso una complessa, e spesso caotica, mediazione simbolica" (da M. Ammaniti, 1995). Così "l'uomo andrebbe incontro fin dai primi anni di vita a frustranti esperienze di impotenza, sentendo di aver perso ogni capacità di padroneggiare la realtà. E non ha più senso chiedersi se si tratti di un'esperienza psicologica o di un evento biologico, perché spesso lo stress può agire da trigger nei confronti di processi somatici" (da J. Bruner, 1995).

Ovviamente si tratta di processi in atto e in evoluzione da ben lungo tempo, nella nostra storia culturale. Gli stessi che troviamo già, per esempio, dietro le lucide riflessioni di Galileo: perché se "il libro della natura è scritto in una lingua ..." {e bisogna intendere il libro scritto dalla natura attraverso i suoi simboli, per favore; non direttamente dalla natura stessa! ... n.d.r.}, allora "per chi non ne intende la lingua, è come aggirarsi in un oscuro labirinto ...". Bravo, Galileo: sembra di vederci davanti il prodotto finito quadratico medio della nostra istruzione di base.

Ovviamente si tratta di problemi progressivamente sempre più complessi, quindi sempre più seri, al passare del tempo e al crescere della strutturazione sociale: a meno che non si decida a priori che una trasmissione culturale programmaticamente selettiva è proprio quello che si vuole, per produr-

re e stabilizzare stratificazione sociale attraverso la stratificazione culturale. (Dopotutto, è una tecnica vecchia come il mondo).

È dunque bene essere consapevoli che, nell'affrontare realisticamente il nostro tema, incontriamo subito un triplo (molteplice ...) paradosso.

### **Primo livello.**

Se la scuola si trova, nel suo complesso, in uno stato di preoccupante degenerazione funzionale proprio in quanto non riesce a capire, radicalmente, come si trasmette cultura significativa; se gli insegnanti non riescono a impersonare un ruolo attivo e costruttivo di mediazione in tale trasmissione; se i ragazzi non riescono a capire cosa significa e cosa implica capire, e sapere, e saper fare; se a scuola non c'è un contesto didatticamente, culturalmente e umanamente sano, per cui a scuola in definitiva si impara e si insegna a far finta di capire, e a far finta di imparare; ... se tutto questo accade senza il calcolatore, la sua introduzione a scuola può risultare inutile, o definitivamente devastante. (Dopotutto, è così facile condizionare, e così rilassante farsi condizionare ... così pulito occuparsi solo di informatica, e di battere tasti e contemplare icone, piuttosto che porsi di fronte ai problemi sfuggenti dei rapporti fra pensiero linguaggio realtà e cultura...).

### **Secondo livello.**

La cosiddetta cultura accademica che si occupa delle strategie e delle prassi di insegnamento non diffonde, in media, idee particolarmente adatte ad affrontare realisticamente i problemi didattici che sono davanti agli occhi di tutti. Se, solo per fare un esempio, si continua a teorizzare e a progettare e a programmare la scuola come se strutture di pensiero, strutture disciplinari, strutture formali, strutture didattiche ... fossero o potessero essere rese reciprocamente isomorfe, la confusione e l'inefficienza e l'inefficacia non potranno che aumentare. La fisica non è né "naturalmente" matematizzabile, né "naturalmente" dicibile in linguaggio naturale; i percorsi adatti a capire non coincidono affatto con quelli adatti a organizzare quello che si è capito, tantomeno con quelli secondo cui una disciplina è rappresentabile in un manuale; i modi di pensare di una persona (bambino, adulto, scienziato ...) in un dato

momento e su un dato argomento non sono di per sé definiti, né coerenti, né esaustivamente evocabili e rappresentabili ... e così via.

### **Terzo livello.**

Di fronte alla “complessa, e spesso caotica, mediazione simbolica” che caratterizza il nostro modo di vivere la cultura, e di tentare di trasmetterla, il calcolatore si pone al tempo stesso come prodotto, come vincolo di interfaccia, come potenziale strumento di migliore controllo. In altre parole: certamente il calcolatore può diventare, per tutti i gradi scolastici, un formidabile supporto cognitivo e didattico per sciogliere il nodo cruciale dei significati - delle complesse relazioni cioè che legano i modi di essere delle cose ai modi di pensare degli umani: è questo il senso a cui convergono molte ipotesi e molti risultati di ricerca. Ma certamente questo obiettivo, su cui è relativamente facile trovarsi d'accordo, non può essere confuso con l'inseguimento di banali “scorcioie” didattiche, a cui sembra fare spesso riferimento l'offerta dei sussidi informatici per la scuola; né tantomeno con fantomatiche “ricette” per economizzare fatica mentale, di chi impara come di chi insegna. Utilizzando il calcolatore, si può ottenere molto di più da una trasmissione culturale intelligente - e democratica: ma a prezzo di investire di più nella cultura delle persone (a cominciare dagli insegnanti), e a più alto livello, in modo socialmente più diffuso.

Con questo non intendo certamente gettare acqua sul fuoco dei molti entusiasmi, o delle molte speranze, accesi dai numerosi successi dell'uso didattico del calcolatore, e non spenti dai numerosi mal-usi. Solo, vorrei invitare tutti noi a guardare bene, e a imparare da quello che succede: sotto i nostri occhi, sotto le nostre mani.

### **PARTE SECONDA: CALCOLATORE E STRATEGIE COGNITIVE**

Un percorso didattico efficiente ed efficace, all'interno di un'area di trasmissione culturale, deve saper innescare e indirizzare una progressiva ed esplicita risonanza: fra le dinamiche cognitive dei ragazzi (in continuo sviluppo), le strutture disciplinari coinvolte direttamente o indirettamente, le tecnologie materiali e formali attraverso cui aspetti

particolari della realtà vengono posti in forma per essere gestiti, le attività attraverso cui il lavoro scolastico si articola e riesce a raccordarsi alla cultura globale di base (a sua volta in continua evoluzione). In altre parole, una prassi didattica efficiente ed efficace è in qualche modo la proiezione operativa di una modellizzazione cognitiva aperta alla differenza e al cambiamento, di una modellizzazione disciplinare articolata e variata, di una progettualità educativa flessibile e sensibile al feedback - tre componenti che devono essere, soprattutto, reciprocamente aggiustate per risultare globalmente risonanti. (Ovviamente professionalità di chi insegna e motivazione di chi impara sono al tempo stesso condizione e risultato del raggiungimento di tale condizione di risonanza).

Non c'è spazio per esplicitare, neanche a grandi linee, la modellizzazione cognitiva che è alla base delle proposte di uso del computer a scuola presentate più avanti. Tuttavia un vero e proprio “filo rosso” definito dalla modellizzazione attraverso sia l'analisi primaria di quello che, cognitivamente, non va nella trasmissione culturale a scuola; sia le conseguenti proposte concrete di cambiamenti necessari per farlo andare, comunque, meglio; sia i molteplici ruoli che al calcolatore si propone di assumere per interferire costruttivamente nella possibile ottimizzazione del meglio. Il filo rosso è quello della attenzione privilegiata a quegli aspetti della dinamica di pensiero che possono essere raccolti sotto l'indicazione di “strategie cognitive”.

Si tratta di specifici modi di funzionare della dinamica cognitiva che continuamente intervengono a definire, strutturare, marcare l'aggiustamento risonante fra lo spazio virtuale dei modi di pensare accessibili a chi pensa e lo spazio virtuale dei modi di essere accessibile al mondo osservato. Modi di funzionare del pensiero che diventano in qualche modo sempre più discretizzati e differenziati nell'evoluzione cognitiva, e al tempo stesso sempre più intrecciati e sovrapposti nella gestione della complessità: a partire dal livello dei modi di guardare e di intervenire inizialmente gestiti, con modalità prevalentemente implicite, dalla struttura percettiva di base; attraverso il livello dei modi di parlare, di rappresentare, di agire ... parzialmente esplicitati nel pensiero-linguaggio-comportamento naturale (cultura comune); fino al livello, sempre più esplicito e con-

trollato mano a mano che ci si avvicina ai noccioli duri delle prassi e delle discipline socialmente validate, in cui i modi di essere della realtà e i modi di pensare caratteristici della cultura si mettono reciprocamente in forma (letteralmente, si “formalizzano” a vicenda, come si vede p. es. nella storia intrecciata di tecnologia fisica e matematica) attraverso la sistematica pratica di variazione-differenziazione-stabilizzazione della reciproca risonanza.

*[Tutte le strategie cognitive fondamentali appaiono basate su una “utilizzazione” cognitiva, almeno parzialmente controllata in modo esplicito attraverso la gestione offline della duplicazione schematica e simbolica, di strutture di elaborazione e analisi online originariamente inserite nella “black box” dinamica della percezione (in senso lato). Ogni strategia cognitiva, in altre parole, appare fondata su un “guardare per”, selettivo e risonante, che seleziona stabilizza e fa evolvere i criteri di correlazione cognitiva con la realtà a partire da quelli connessi alle “gestalt” primarie (sul tipo di oggetto-sfondo) fino alle sofisticate elaborazioni formali necessarie a ogni “teoria” per definire la sua relazione con i fatti. Così, strategie cognitive dinamicamente fondanti come “guardare per” sistemi e/o variabili; guardare per valore assoluto e/o proporzione; guardare in modo differenziale sincronico - per esempio, per equilibrio - e in modo integrale diacronico - per esempio, per conservazione; guardare per differenza (rispetto a un prototipo), e/o per cambiamento (rispetto a un invariante); ... guardare per cambiamenti delle differenze o per differenze dei cambiamenti (sembra uno scioglilingua, ma la percezione funziona così!); ... tutti questi sono “modi di guardare” che troviamo, appunto, già alla base di ogni dinamica percettiva, “modi di pensare-parlare fare” già ben evidenti nelle grammatiche e sintassi delle lingue naturali e nel comportamento-interazione quotidiano intrecciati in ogni cultura, “modi di strutturare” già presenti alle radici delle discipline scientifiche formali e tecnologiche e sistematicamente sviluppati fino alle loro frontiere]*

Se questa è la dinamica cognitiva fondamentale (o almeno un suo aspetto determinante), cosa può fare l'educazione scientifica per aiutarne e indirizzarne lo sviluppo? A cosa può servire il computer? Sostanzialmente, si tratta di portare alla esplicitazione,

e quindi al controllo finalizzato, la dinamica di risonanza fra strategie cognitive invarianti, esplicitate e rese accessibili attraverso le loro formalizzazioni a vari livelli, e strutture di realtà invarianti, rese accessibili e controllabili attraverso l'indagine fenomenologica e la strumentazione tecnologica. E se si vuole costruire, organizzare, stabilizzare una progressiva capacità di aggiustamento risonante (e non imporre una predeterminata corrispondenza chiusa) fra sistemi di realtà e sistemi simbolici (in senso lato), l'unica via è quella di passare per un progressivo controllo della variabilità - sul piano della realtà, su quello del pensiero, su quello della reciproca risonanza socialmente validata.

È qui che il ruolo del calcolatore può diventare cruciale. Solo il calcolatore infatti permette modi e tempi di interazione variata con la realtà, modi e tempi di variazione della rappresentazione strutturante, modi e tempi di elaborazione e correlazione attraverso formalizzazioni alternative ... tali da rendere accessibile alla formazione culturale di base, praticamente per la prima volta nella storia della cultura, quella dinamica di costruzione di significati - e quindi di conoscenze organizzate - che da sempre è stata faticoso privilegio di singole persone, socialmente anormale. Il problema, come vedremo meglio negli esempi, non è infatti quello di “scoprire” alcunché, a scuola: ma è quello di rendersi conto - cioè di capire - cosa c'è “dietro” le formule e le prescrizioni operative della scienza; di appropriarsi in modo profondo e non mistificante non solo dell'addestramento a “giocare”, con maggiore o minore efficacia contestuale, singoli “giochi” scientifici, ma della comprensione necessaria a giocare parti significative e intercontestuali di “gioco dei giochi”. In tutti i contesti di confronto fra pensiero e realtà, nel lavoro individuale come nell'interazione sociale. (Con un ringraziamento a L. Wittgenstein per aver reso possibili e plausibili certi modi di capire il capire).

Proprio il riferimento a Wittgenstein rende urgente un'ultima osservazione sull'uso didattico del computer. Perché si produca comprensione e non condizionamento, è essenziale che le diverse modalità secondo cui il computer stesso rende esplicite e manipolabili le strategie in gioco (e il loro aggiustamento risonante ai “dati” che per il loro stesso tramite si estraggono dalla realtà) siano il più possibile separatamente accessibili,

e controllabili, e reciprocamente strutturabili, in modo variato. Come già detto, il calcolatore dovrebbe cioè rendere possibile - attraverso una automatizzazione trasparente dei singoli elementi di strategia di gioco - una concentrazione "intelligente" della dinamica cognitiva sugli elementi via via essenziali di gioco dei giochi.

Così, almeno fino a un certo punto, trasduzione online di una variabile, rappresentazione dei dati trasdotti, modellizzazione della correlazione fra più variabili, rappresentazione comparata dei dati e del modello formale ... integrazione e differenziazione alle differenze finite ... e così via devono costituire momenti separati del lavoro di analisi appoggiato dal computer, la cui specificazione ottimale e la cui ottimizzazione complessiva devono restare a carico di quel lavoro e di quella fatica di comprensione variazionale senza cui il capire resterebbe, ancora una volta, vanificato. E attraverso la pratica autoriflessa della ricerca didattica appare importante, quasi indispensabile, che ognuna delle singole funzioni appena citate venga preventivamente provata, e quindi capita, dai ragazzi almeno in modo "esemplare" attraverso un lavoro diretto: che, proprio in quanto non ancora mediato dal computer, sappia evocare ed organizzare reciprocamente in modo esplicito le strategie cognitive coinvolte, prima di delegarne alla macchina la gestione automatica ed automaticamente strutturata. Per potersi dedicare (e questa è l'unica "verifica" significativa) ad un livello più elaborato del "gioco dei giochi".

## PARTE TERZA: PER ESEMPIO Forza e Energia - I. - La pista ondulata

### I.1. La situazione sperimentale

Su una pista ondulata (2 - 3 metri) può rotolare con poco attrito una palla dura e pesante. La posizione istantanea della palla è letta da sensori di posizione. La forma della pista può essere variata in modo arbitrario prima di ogni famiglia di misure, includendo gobbe, tratti più o meno ripidi etc; un caso limite è il classico piano inclinato (o il piano orizzontale). (cfr fig. 1)

*[Ovviamente si lavora bene usando come trasduttore un apparato tipo "V-Scope" (telerilevamento tridimensionale della posizione di un "punto"); sono però sufficienti letture molto meno sofisticate, per esempio attraverso led o contatti, eventualmente non uniformemente distribuiti lungo il percorso. In questo caso per ogni configurazione della pista occorre porre come input di elaborazione le posizioni dei sensori rispetto a un profilo in scala della pista stessa, gestite via software. Nelle versioni più semplici la pista può essere un profilato di plastica curvato elasticamente e sostenuto da una struttura di dexion. Si possono facilmente affiancare profili diversi. Sia la meccanica che l'hardware di lettura possono essere costruiti e messi a punto nei laboratori del triennio di un I.T.I., per essere poi utilizzati, nel modo descritto in seguito, nel laboratorio di fisica-matematica-informatica del biennio - o in un liceo scientifico]*

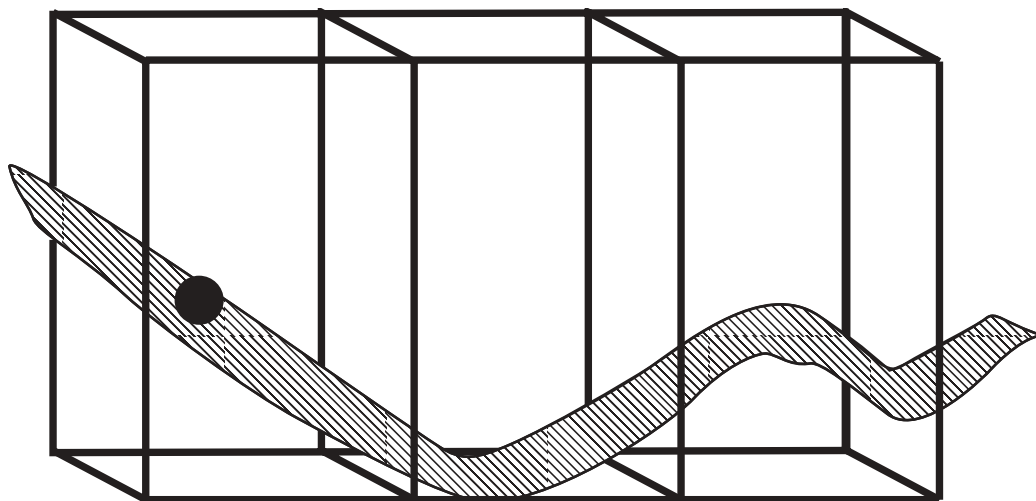


Figura 1.  
Uno schizzo approssimativo del montaggio di una pista. (Esperienze diverse sono possibili in funzione della quota di partenza in relazione alla configurazione globale della pista).

## I.2. I livelli di esperienza

Schematicamente, l'esperienza si sviluppa attraverso tre livelli di analisi, distribuiti in un percorso didattico che può iniziare alla fine delle elementari e comunque trova conclusione adeguata dopo due - tre anni di scuola superiore. Una impostazione più compatta, e direttamente formalizzata in termini di calcolo numerico (analitico, o alle differenze finite), la può rendere assai efficace anche al primo anno universitario.

### Livello qualitativo

Attraverso l'osservazione diretta delle caratteristiche percettive del moto su piste in configurazioni diverse, e semplici misure di lunghezza, si mettono in evidenza alcune caratteristiche invarianti del moto stesso: il punto di arresto è comunque a una quota appena più bassa di quella di partenza, quasi indipendentemente dalla lunghezza del percorso e comunque dalle sue accidentalità intermedie; non c'è dipendenza dalla massa e dalla misura della palla, purché questa sia abbastanza grande e abbastanza dura; c'è una specie di "compensazione" qualitativa fra rapidità locale del moto e quota (più la palla è bassa, più va veloce - e viceversa, indipendentemente dalla storia del percorso precedente); in particolare, non c'è correlazione fra ripidità locale e velocità locale; ... e così via. (Notare che alcune di queste constatazioni sono nettamente discrepanti rispetto alle aspettative intuitive dei ragazzi - e di molti adulti - prima dell'esperienza finalizzata: l'osservazione ripetuta e "variazionale" dei moti, e la loro descrizione linguistica in termini di relazioni d'ordine, costituiscono un passo cognitivo essenziale ad ogni successivo sviluppo dell'interpretazione formalizzata).

### Livello quantitativo grafico

A meno che i ragazzi abbiano una pratica già stabilizzata degli apparati di rilevamento on-line, ma soprattutto della formalizzazione cinematica elementare (velocità e accelerazione locali in termini di differenze finite), può essere molto utile un passaggio attraverso la costruzione diretta dei grafici di spazio, velocità e accelerazione (in funzione sia del tempo che del posto) a partire da misure eseguite su riproduzioni (fotocopie) di foto stroboscopiche del moto. (Le foto si ottengono facilmente in classe con una normale macchina fotografica e un multiframe, utiliz-

zando le stesse piste già esplorate qualitativamente e su cui avverrà poi il rilevamento online). L'investimento di tempo e sforzo necessari alla elaborazione grafica e numerica delle misure eseguite sulle foto è infatti molto ben utilizzato al momento di passare alla acquisizione automatica dei dati, con eventuale controllo della più adatta disposizione dei sensori per una misura significativa della velocità nelle diverse pendenze, e così via.

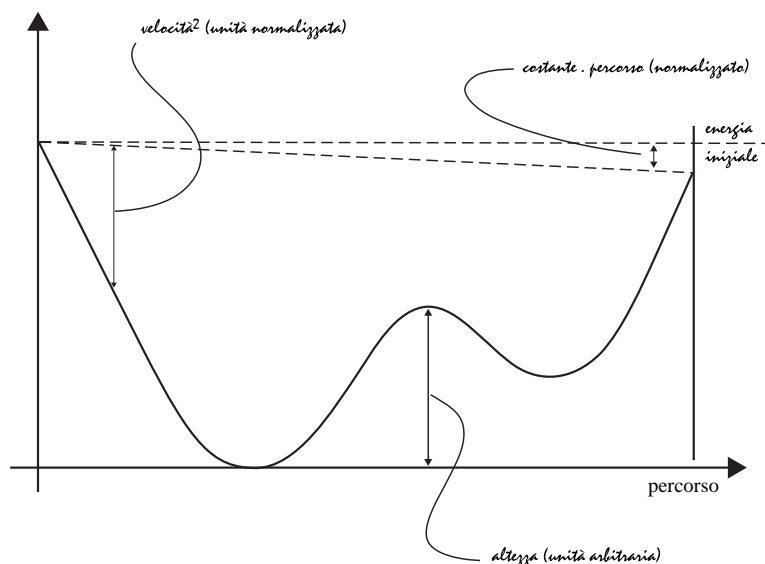
A questo stesso livello è utile passare anche alla misura sistematica (attraverso un piccolo dinamometro) della "forza locale" con cui la palla è spinta in direzione tangente alla traiettoria, fino alla constatazione della sua diretta proporzionalità alla pendenza locale della pista (e al peso della palla).

### Livello quantitativo automatico

A questo punto dovrebbe essere chiaro come le possibilità offerte dall'acquisizione online dei dati, e dalla loro elaborazione e (multi)rappresentazione automatica, possono essere finalizzate ad uno studio variazionale del moto in diverse configurazioni, per mettere in evidenza caratteristiche invarianti (una consapevolezza "strategica" di questo tipo è necessaria per rendere cognitivamente efficace il lavoro sperimentale).

L'osservazione più immediata è che i grafici della velocità e della quota in funzione del posto (cfr più sopra) sono in effetti qualitativamente complementari in tutte le situazioni. Confrontando situazioni diverse si ve-

Figura 2. Rappresentazione grafica "finale" che rende plausibile la conservazione dell'"energia". (Sull'asse verticale sono sommati i tre contributi, potenziale cinetico e dissipativo, una volta determinate le costanti di normalizzazione che rendono la conservazione evidente).



de poi che una dipendenza dalla velocità più “forte” di quella lineare renderebbe la compensazione qualitativa più credibile. A questo punto si può constatare facilmente che il grafico della velocità al quadrato, moltiplicato per una costante che a posteriori risulta universale rispetto alla infinita varietà delle configurazioni possibili della pista, risulta “quasi” complementare al grafico della quota (cfr fig. 2). Il “quasi” si riferisce ad una differenza (cfr fig. 2) che, per pendenze moderate, cresce in proporzione approssimativamente lineare al percorso, e che è sperimentalmente (numericamente) correlabile nella sua entità alla maggiore o minore “ruvidezza” della pista.

*[La normalizzazione reciproca dei diversi contributi per rendere percettivamente evidente la conservazione è non banale ma molto istruttiva, attraverso un uso intelligente del foglio elettronico. In sintesi, l'altezza può essere misurata ponendo lo zero al livello più basso della pista, e il contributo di energia cinetica - originariamente in unità arbitrarie - normalizzato in modo da far corrispondere alla velocità massima il massimo valore dell'energia potenziale. Le cose si complicano appena se si vuole tener conto dell'attrito (cfr fig. 2).]*

Dopo questo lavoro diventa possibile enunciare una conclusione di significato dinamico (e non più solo cinematico) che, proprio per le modalità dell'esperimento rese possibili dalla tecnica di acquisizione elaborazione e rappresentazione dei dati, ha caratteristiche di generalità altrimenti impensabili: per “qualunque” forma di pista, per “qualunque” condizione iniziale di moto, per “qualunque” andamento temporale del moto, per “qualunque” palla ... è possibile definire tre grandezze (rispettivamente proporzionali alla quota, alla velocità al quadrato, al percorso fatto attraverso un parametro di ruvidezza) tali che la loro somma in funzione del posto resta costante, fino al totale esaurimento del moto. In altre parole, è possibile leggere il moto in termini di una ipotizzata struttura di fatti e strategia di interpretazione che corrisponde ad una conservazione, spazialmente esplicitata, indipendente dal tempo: struttura e strategia che definiscono operativamente le loro variabili significative nel momento stesso in cui confermano quantitativamente la loro plausibilità. (Notare che in questo modo risulta immediatamente evidente il carattere non conservativo dell'attri-

to, in contrasto con la convertibilità reciproca dei termini di velocità e quota).

In parallelo, una seconda conclusione è resa possibile - precisamente alle stesse condizioni di generalità - a partire da una diversa constatazione qualitativa (questa volta percettivamente più difficile), tradotta in termini quantitativi attraverso l'analisi dei grafici di accelerazione in funzione del posto. La pendenza locale della pista - quindi la forza tangente locale - è sempre “quasi” proporzionale all'accelerazione locale; il “quasi” corrisponde questa volta alla sottrazione, dal termine di forza, di un piccolo contributo approssimativamente costante e numericamente collegabile alla ruvidezza della pista.

A questo punto si dispone di una doppia lettura del moto: una che siamo abituati a caratterizzare come “integrale”, in termini di energia, e una “differenziale”, in termini di forza. È chiaro che da un lato le due letture, ambedue esplicitate in forma spazialmente locale, sono state fenomenologicamente costruite come totalmente indipendenti; d'altra parte, in quanto descrizioni dello stesso moto, devono essere reciprocamente vincolate. Il problema generale dell'analisi del moto viene così affrontato nel suo snodo cruciale: la necessaria relazione fra fenomenologia integrale (in termini di conservazione diacronica) e fenomenologia differenziale (in termini di equilibrio sincronico) chiama esplicitamente in causa il sistema di formalizzazione. In particolare, dal punto di vista semantico si tratta di “convertire” la dipendenza spaziale dell'accelerazione (esplicitata attraverso il termine di forza) in una dipendenza spaziale della velocità (esplicitata attraverso il termine di energia); mentre dal punto di vista sintattico si tratta di strutturare tale conversione, rappresentando esplicitamente il vincolo che la sottende attraverso il formalismo (universale) delle differenze finite o quello (accessibile solo in casi particolarmente semplici) del calcolo integro-differenziale esatto. (È chiaro che questo ulteriore livello di analisi diventa pienamente accessibile solo al termine della scuola secondaria, o al primo anno di università).

### **I.3. Alcuni commenti**

Un percorso cognitivo di questo tipo “funziona”: nel senso che, in situazioni scolastiche sperimentali ma “normali” (cfr più sopra), rende possibile alla sostanziale totalità degli studenti l'acquisizione parallela (in

evidente interferenza costruttiva), stabile e trasferibile degli strumenti concettuali coinvolti nel percorso stesso, sul piano del formalismo matematico, della teoria fisica e della riflessione metacognitiva. In particolare, l'uso del calcolatore come "protesi cognitiva versatile" rende accessibile, probabilmente per la prima volta nella storia dell'insegnamento della fisica di base, il livello della costruzione correlazione e stabilizzazione dei significati, al di là della memorizzazione automatica delle regole. In altre parole, rende possibile il capire al di là dell'imparare, l'addestramento intelligente al di là del condizionamento passivizzante. Non si tratta più di "sapere" qualche formula e qualche dimostrazione, fideisticamente validate da improbabili "esperimenti" condotti in condizioni di particolarità estrema, o da riprodurre in "esercitazioni" strettamente predeterminate. Si tratta di "imparare" strategie di lettura dei fatti che risultano risonanti, al di là della loro infinita variabilità, con aspetti invarianti della loro struttura interna: strategie cognitive, tecnologiche, formali, rappresentative ... strettamente intrecciate fra loro a sostegno di una interpretazione "teorica", che trova nell'efficacia ed efficienza della sua generalità schematizzata la sua motivazione euristica e la sua giustificazione epistemologica. Vale la pena di imparare i criteri di lettura fisica della realtà: e questo proprio in termini del potere di predizione e controllo che se ne acquista.

A questo punto bisogna, forse, dissipare ancora qualche possibile equivoco.

- Un modello di percorso didattico di questo tipo potrebbe prestarsi ad essere contrabbandato come itinerario di "induzione", o di "scoperta" graduale delle "leggi" della fisica. (Ovviamente, occorreranno esperienze di altro tipo per collezionare l'evidenza necessaria a scrivere nella loro completezza algebrica i termini di energia e di forza finora introdotti solo a meno di costanti di proporzionalità, etc). Ma una interpretazione - o impostazione didattica - di questo tipo sarebbe totalmente fuorviante. La dinamica della trasmissione culturale non può infatti puntare né all'oppressione di un condizionamento comportamentistico, né alla deresponsabilizzazione di uno spontaneismo costruttivistico. Ambedue le posizioni sono, infatti, cognitivamente e culturalmente devastanti a lungo termine, in quanto negano - sia pure in

modo diverso - quello che sembra un presupposto fondamentale di ogni cultura significativa: la risonanza fra strutture di realtà e strutture simboliche non è né ovvia né univoca né universale; l'addestramento a metterla in atto all'interno di una cultura data deve passare, innanzitutto, attraverso la condivisione intersoggettiva della sua plausibilità, significatività, efficacia ... del resto sempre problematiche.

- Le possibilità offerte dalla tecnologia - in particolare dall'uso del computer come strumento cognitivo - possono dare un enorme aiuto a quel ruolo di mediatore culturale attivo che dovrebbe caratterizzare la professionalità educativa dell'insegnante, e a quel percorso di inserimento e appropriazione culturale attiva che dovrebbe caratterizzare l'esperienza educativa dei ragazzi. Senza dimenticare, gli uni e gli altri, che la risonanza necessaria a costruire e stabilizzare significati passa attraverso la possibilità di una loro validazione e condivisione sociale, di cui un percorso didattico come quello accennato si presta a costituire un modello e un trigger - sia pure parziale.

*[Può valer la pena di ricordarsi di Wittgenstein: "La comprensione di una regola nell'ambito di un codice convenzionale può avvenire solo a livello di mediazione sociale: affermo una regola in quanto interiorizzo le funzioni rappresentative di un sistema di notazioni socialmente condiviso"]*

- È però importante ricordare che la stessa identica tecnologia può essere (ed è spesso) impiegata per rendere l'interazione di insegnamento-apprendimento sempre più "libera" dai problemi (correlati) di responsabilizzazione personale e di significato culturale; sempre più "alleggerita" delle fatiche (correlate) dello spiegare e del capire. Lavorare stanca; pensare stanca; condizionare ed essere condizionati in modo indolore ad eseguire routine eterodirette può facilmente intrappolare chi insegna e chi impara entro una omertà difficilmente scalfibile. (E se il calcolatore non deve servire a risparmiare lavoro e pensiero, che strumento è?)

- Ci sono, ovviamente, forti correlazioni fra comprensione della fisica, della matematica, della tecnologia - della stessa dinamica cognitiva, propria e altrui - in un percorso di questo tipo. Senza contare il fatto che solo una sempre più raffinata competenza



---

linguistica può sostenere gli indispensabili momenti di discussione (riflessione, confronto, progettazione, generalizzazione ... etc). Questo comporta due conseguenze didattiche, abbastanza ovvie ma di vasta portata.

Da un lato esperienze come questa, e altre analoghe, non possono che essere emblematiche all'interno di un curriculum. Non si può "fare tutta la fisica" in questo modo; né "tutta la matematica". Si può però cogliere, come in trasparenza attraverso questa modalità di lavoro, alcuni dei significati più profondi e più determinanti per la formazione cognitiva: sia per la fisica, sia per la matematica, sia per la loro ("irragionevole", diceva Wigner!) possibilità di mutua risonanza. Perché però il lavoro risulti, appunto, emblematico è necessario che sia presentato, gestito, svolto e capito come tale: è necessaria cioè una sua collocazione strategica ed esplicitamente marcata all'interno del curriculum.

*[Così, si potrà gradualmente capire che le "regole fisiche" che la cultura impara a riconoscere nel mondo non sono "leggi" prescrittive di comportamenti espliciti, ma "vincoli" parziali e sovrapposti rispetto alle infinite possibilità del succedere; che le "formule" della matematica rappresentano appunto, in modo trasparente e contestualmente invariante, la "forma" di tali vincoli; che la costruzione della teoria fisica e quella della teoria matematica sono dinamicamente intrecciate e reciprocamente creative, nella storia personale come in quella della cultura ... e così via. E da questo punto di vista vale di più il modo di lavorare esplicitamente variazionale e trasparentemente matematizzante che il computer rende finalmente accessibile a tutti e non solo a pochi specialisti, di improbabili "lezioni" di epistemologia, o filosofia della scienza. Purché, appunto, si lavori così].*

D'altro lato, è necessario che questa modalità di lavoro sia accuratamente raccordata a quanto nel curriculum si deve comunque affrontare secondo un percorso più direttamente trasmissivo, e più esplicitamente strutturato all'interno di logiche disciplinari. Bisogna anche imparare a imparare la fisica o la matematica - o la lingua - "dai libri": usandoli efficientemente ed efficacemente sulla base di quella padronanza dei significati che solo le esperienze emblematiche rendono possibile. Non ci

sono, neanche su questo piano, scorciatoie né sconti. (Il calcolatore può offrire grande aiuto anche da questo punto di vista, a prezzo però di un approfondito lavoro di ricerca e progettazione e sperimentazione cognitiva: molte delle navigazioni multimediali proposte alla didattica in sostituzione della tradizionale strutturazione disciplinare sono ancora - a mio parere - abbastanza superficiali da rischiare la mistificazione).

- A parte i problemi di consapevolezza e cultura individuale dell'insegnante-mediatore sollevati da questo approccio, e imposti dalle sue condizioni di validità, sorgono non trascurabili problemi di realizzabilità didattica nel contesto scolastico concreto. (A chi "appartiene" un'attività di questo tipo: all'informatica, alla fisica, alla matematica, alla tecnologia? Chi dovrà ricordare o integrare o sconvolgere quali programmi, in correlazione a quelli di chi? O magari, chi dovrà valutare i risultati cognitivi ottenuti dai ragazzi, e in che termini? O chi pagherà gli straordinari corrispondenti ai tempi di sovrapposizione dei docenti, necessari per progettare per lavorare in questo modo con la classe?). Il capolavoro aberrante di cinquant'anni di "politica" scolastica è stato infatti quello di coagulare e stabilizzare un sistema che è sopravvincolato nelle forme delle prestazioni, e di conseguenza quasi necessariamente vuoto, o inaccessibile, rispetto ai loro significati e ai loro risultati.

A fianco di questa necessaria presa d'atto e valutazione della situazione in generale, resta però un fatto: la ricerca mostra che in situazioni in tutto assolutamente normali, ma con sufficiente motivazione di tutte le componenti coinvolte, lavorare in questo modo è veramente possibile, e veramente produttivo. Il problema si sposta quindi sui diversi piani culturali a cui il fare scuola è intrecciato (da quello delle varie accademie a quello della cultura di base della popolazione adulta, da quello della professionalità docente a quello della professionalità gestionale); e, ovviamente, sul piano politico. Che prezzo siamo disposti a pagare per una scuola sensata, motivante, efficace? (A proposito: a lavorare così, a scoprire che capire si può, i ragazzi e gli insegnanti, oltre a insegnare e imparare, si "divertono": vi pare poco?).

## **Forza e Energia**

### **II - Il carrello e la molla**

Questa esperienza, concettualmente complementare alla precedente, può essere eseguita prima o dopo in funzione dell'itinerario didattico scelto. Per ragioni di economia la sua discussione ricalca a grandi linee quella precedente, dandone per scontati gli aspetti comuni.

#### **II.1. La situazione sperimentale**

Un carrello di massa variabile può scorrere con poco attrito su un piano orizzontale. Il carrello ha un tratto di corsa libera, dopo di che è trattenuto da una molla (o da un elastico qualsiasi ...): a seconda della velocità iniziale impressa al carrello l'elastico si tende di più o di meno prima che il moto si arresti. Cambiando la massa del carrello e la durezza e lunghezza della molla si ottengono situazioni di moto estremamente variabili. La molla (l'elastico ...) può essere quasi lineare (e quasi conservativo) ad un primo approccio, ma non devono essere trascurate situazioni di non linearità (e/o autodissipazione). Il rilevamento online del moto rettilineo può avvenire sia attraverso uno dei diversi sistemi in commercio, sia attraverso semplici apparati ad hoc costruibili dai ragazzi nei laboratori di un I.T.I. (cfr anche più sopra).

#### **II.2. I livelli di esperienza**

##### ***Livello qualitativo***

Anche in questo caso è essenziale una esplorazione qualitativa delle caratteristiche del moto al variare delle sue condizioni: rilevate percettivamente e descritte linguisticamente in termini di relazioni d'ordine. E anche in questo caso i ragazzi - e gli adulti - si trovano spesso ad affrontare situazioni intuitivamente disturbanti, una volta che si entri nella logica dei confronti sistematici al variare dei parametri e delle condizioni di moto. (In termini fisici: spesso è poco accettato, perché percettivamente poco evidente, che a parità di forza "fatta" una molla più dura "abbia" meno energia di una morbida. Ma questo è proprio il punto nodale della doppia lettura del fenomeno elastico in termini di forza ed energia, ciascuna determinata in diverso modo dal una stessa variabile - la deformazione - e da uno stesso parametro - la durezza. E così via).

##### ***Livello quantitativo grafico***

Anche in questo caso vale di solito la pena

(cfr più sopra) di iniziare l'analisi quantitativa partendo dal rilevamento dei dati del moto su fotocopie ingrandite di foto stroboscopiche, e di trasferire difficoltà e accorgimenti suggeriti da questo lavoro nella predisposizione delle condizioni di rilevamento online.

E anche in questo caso è importante una preliminare misura sistematica delle caratteristiche di deformazione statica delle diverse molle-elastici da usare. (Che la deformazione possa non essere lineare è in generale anti-intuitivo - e non banale da esplicitare, in una situazione didattica in cui si tende ad usare dinamometri supposti lineari per definire operativamente le forze. Si tratta allora di usare piccole deformazioni di più molle-campione poste in parallelo, oppure di postulare la proporzionalità fra volume e peso di un dato materiale, oppure ... ma non è questa la sede per approfondire il problema).

Che poi la forza misurata staticamente sia la stessa di quella che definisce il moto è un bel passo concettuale - come in tutte le esperienze di questi tipo.

##### ***Livello quantitativo automatico***

Anche in questo caso, una volta rilevate famiglie variazionali di dati che correlano la posizione (e quindi la deformazione della molla) alla velocità locale del carrello (e alla sua accelerazione), con diverse molle con diverse masse e con diverse velocità iniziali, si tratta di esplicitare le strategie di analisi che rendono possibile la lettura del moto in termini di relazioni e strutture invarianti.

La lettura più semplice è in questo caso quella in termini di forza e accelerazione: è semplice constatare, in condizioni di poco attrito, che qualunque sia la forma della relazione forza-deformazione questa corrisponde alla forma della relazione locale accelerazione-deformazione; e che massa del carrello e parametro di durezza della molla controllano indipendentemente la normalizzazione della proporzionalità stessa. Anche in questo caso la "integrazione" dell'equazione del moto attraverso la catena  $f(x) - x(t)$ , da confrontare con la funzione  $x(t)$  direttamente rilevata, può essere svolta attraverso il formalismo delle differenze finite o, nel caso di molla lineare, con una intuitiva integrazione esatta (cfr la corrispondenza con il caso del piano inclinato rispetto alla pista ondulata). E anche in questo caso un piccolo termine di attrito costante è facilmente gestibile.

Più complessa risulta adesso una lettura in termini di energia conservata, che deve fare fenomenologicamente i conti con una doppia dipendenza quadratica (dalla deformazione e dalla velocità) e con due parametri (massa del carrello e durezza della molla); a parte l'eventuale termine di attrito, che introduce di nuovo sia la massa che la ruvidezza del piano, e soprattutto l'eventuale dissipazione interna della "molla" (ma il mondo è fatto anche così ...)

*[Globalmente l'esperienza si presenta tecnicamente più semplice della precedente, ma più intricata sul piano della interpretazione fenomenologica. D'altra parte proprio dalla sovrapposizione di effetti fisici non omogeneamente proporzionali alla massa (come avveniva nel caso precedente) nasce la possibilità di precisare i parametri costanti che caratterizzano le diverse forze ed energie in gioco].*

### II.3. Alcuni commenti

C'è, ovviamente, un'intera famiglia di possibili commenti generali che sono sostanzialmente identici a quelli fatti più sopra - a parte il rafforzamento che può derivare loro dalla validazione attraverso contesti diversi. (In questo senso, variando contesto non solo si impara meglio, ma soprattutto si impara a imparare: ragazzi, insegnanti e ricercatori. Con un ringraziamento a Bateson per avercelo fatto notare). Vale comunque la pena di sottolineare ancora quanto siano proprio la molteplicità delle funzioni concettuali svolte dal calcolatore, e la possibilità (la necessità) proposta all'utente di articolarne e finalizzarne i significati attraverso la reciproca correlazione, a costituire la chiave di un nuovo approccio alla didattica e alla "messa in cultura" di una (qualunque) disciplina scientifica. Che la variabilità dei fenomeni sia di fatto rappresentabile e controllabile attraverso invarianti (per esempio di equilibrio sincronico o di conservazione diacronica, nel caso della meccanica) costituisce infatti una conquista cognitiva fondamentale e sofisticata: resa accessibile dalla reciproca risonanza degli aspetti percettivi esperienziali concettuali formali tecnologici ... che un uso intelligente del calcolatore mette in gioco, e permette di gestire in modo economicamente esplicito. E, ovviamente, una simile conquista cognitiva si estende ben oltre i confini degli aspetti particolari della fisica di base resi in questo modo significativi: rag-

giungendo, proprio attraverso questo tipo di approccio, il livello della formazione generalizzata al pensare.

Ci sono però alcuni altri punti cui vale la pena accennare, in relazione alla globalità del lungo itinerario di formazione cognitiva di cui le due esperienze discusse costituiscono un passaggio, determinante ma intermedio.

- Il percorso concettuale che le due esperienze permettono di ricostruire esplicitamente può essere così sintetizzato.

Esistono da un lato alcune "variabili fenomenologiche" fondamentali: sono quelle nei cui termini, appunto, il fenomeno in esame si presenta alla osservazione, alla misura, alla trasduzione ... diretta (posizione, velocità, forma, volume ...: si tratta, in buona sostanza, di particolari combinazioni di dati spaziotemporali, relative ad aspetti particolari delle configurazioni assunte dai diversi sistemi interagenti). Ed esistono, ulteriormente, "parametri fenomenologici": caratteristiche dei sistemi stessi (o dei loro materiali) che restano invarianti al cambiare della configurazione, ma che variano cambiando sistema all'interno di una data schematizzazione (densità, durezza della molla, coefficiente di attrito, anelasticità ... etc.). A differenza delle variabili fenomenologiche, i parametri fenomenologici - pure qualitativamente rilevabili - non sono in genere accessibili ad una semplice misura diretta.

Esistono, d'altro lato, "regole" di comportamento dei sistemi in interazione, già evidenti alla sperimentazione qualitativa (e all'esperienza implicita): come già detto, si tratta in realtà di "vincoli" allo spazio astratto di tutte le reciproche configurazioni accessibili ai sistemi stessi. Ora tali vincoli possono-devono essere espressi in termini di "relazioni vincolari fra variabili di second'ordine, queste ultime euristica-mente determinate come funzioni esplicite delle variabili fenomenologiche, dei parametri fenomenologici e di ulteriori parametri più o meno universali". Le variabili di second'ordine sono, di fatto, le "grandezze fisiche significative" di cui normalmente si parla, riferite - per ciascuno a suo modo - alla configurazione istantanea di stato e trasformazione di tutti i sistemi interagenti (nel nostro caso, i diversi termini di "energia" e/o i diversi termini di "forza", tutti "costruiti" in termini di variabili

e parametri fenomenologici); mentre le relazioni vincolari rappresentano, di fatto, i cosiddetti “principi”, nel nostro caso le relazioni di conservazione e/o equilibrio a cui energie e/o forze separatamente soddisfano. Si può ben dire che questo schema di percorso concettuale è fondamentale, in quanto caratteristico di tutti i settori della fisica (con in più una doppia condizione “formale” della massima importanza, che costituisce l’oggetto dello sviluppo didattico dell’itinerario stesso: descrizioni diverse dello stesso fenomeno devono essere, come già detto, formalmente - cioè universalmente - collegabili; ogni descrizione - ogni relazione vincolante - deve essere formalmente invariante nei confronti del riferimento spaziotemporale al cui interno è necessariamente costruita).

- Una volta chiarito questo punto, il calcolatore può essere utilizzato per spostare drasticamente il livello di indagine fisica, di nuovo con una “mossa” cognitiva finora privilegio della ricerca specialistica. Diventa cioè possibile che le variabili e i parametri direttamente sottoposti all’analisi euristico-strutturante non siano più quelli immediatamente fenomenologici, ma quelli già validati come generalmente significativi: al calcolatore si può cioè “insegnare” a rappresentare direttamente l’energia, o la forza, in riferimento a ciascun sistema considerato - per quanto complesso possa essere; e, in funzione di tale rappresentazione diretta, nuove classi di problemi possono essere esplorati.
- Non c’è spazio per illustrare le possibilità così aperte, per esempio, ad un apprendimento efficiente ed efficace dell’elettromagnetismo, della termodinamica e così via. Piuttosto, ci sono un paio di osservazioni cruciali da fare.  
Da un lato, un passaggio concettuale dello stesso tipo deve già essere stato realizzato a monte di queste esperienze per quanto riguarda le grandezze cinematiche. Così la velocità, che nella definizione dell’energia cinetica interviene come variabile fenomenologica, deve già essere stata concettualizzata come variabile di second’ordine rispetto a uno spazio e a un tempo direttamente rilevabili e trasducibili (e un discorso analogo vale per l’accelerazione). Ci si trova cioè di fronte a una “mossa” cognitiva largamente generalizzabile.  
D’altro lato, sono oggi disponibili “econo-

miche” tecnologie in grado di trasdurre direttamente, senza altra mediazione che quella della progettazione fisico-strumentale, variabili di second’ordine - in particolare, forza ed energia (ma, ancor più, complesse variabili elettromagnetiche ottiche termiche e così via). In altre parole, la tecnologia oggi facilmente associabile al calcolatore provoca un potenziale immediato sconvolgimento di quella stessa linea di sviluppo concettuale che - come rilevato più sopra - aveva appena reso universalmente accessibile. In un universo fisico (ed esperienziale) in cui tutto può essere (ed è) tecnologicamente trasdotto in tutto - in cui le stesse “leggi” fondamentali della fisica possono essere tutte rilette come regole della trasduzione generalizzata di cui il mondo naturale e artificiale è tessuto - quale sarà l’itinerario culturalmente più significativo per “spiegare” la fisica a tutti? Non può essere già diventato banalmente controproducente “passare” attraverso Newton? E così via.

- Come sempre nella storia della cultura, la tecnologia che della cultura è prodotto “reagisce” sulla formazione e sulla trasmissione della cultura stessa. Non accade nulla di veramente nuovo - però accadono cose di cui è essenziale accorgersi. Una domanda importante diventa così, per esempio: è possibile “formare” cognitivamente alla comprensione della trasduzione fin dall’inizio degli itinerari didattici?

#### **PER COMINCIARE - LA TRASDUZIONE GENERALIZZATA**

Qualunque dei più semplici e comuni sistemi di trasduzione online a un calcolatore commercialmente disponibili (dal movimento alla forza, dalla temperatura al suono, dalla ruvidezza alla luminosità ...) può essere molto utilmente inserito in un itinerario cognitivo, straordinariamente coinvolgente e produttivo, che a partire dai quattrocinquanni attraversi tutta la scuola di base. Non è questa la sede per dettagliarne specifiche, modalità, valenze. Solo, penso valga la pena sottolinearne un paio di caratteristiche che, attraverso la sperimentazione, si sono dimostrate capaci di determinarne l’efficacia.

*Sul piano “di principio”, ovvero “teorico”.*  
Esiste una specie di “configurazione mini-

ma” di variabili fenomenologiche da esplorare che costituisce una sorta di soglia per acquisizioni cognitive profonde, stabili, trasferibili - a tutte le età, in modalità opportune. Si tratta di due variabili spaziali, reciprocamente correlabili e trasferibili nella rappresentazione grafica; della variabile temporale; di una variabile intensiva percettivamente evidente (dalla velocità di un trenino all'intensità di un colore o di un suono, di una luminosità o di una forza ...). È ovvio che “giocare” con quattro variabili è cognitivamente complesso: e tuttavia la pratica mostra che è possibile, e che la stessa complessità (ostica alla preoccupazione adulta) gioca a favore della progressiva strutturazione cognitiva (mai spontanea, mai imposta, sempre mediata dall'adulto).

***Sul piano “realizzativo”, ovvero “concreto”.***

Un supporto cognitivo determinante viene dalla presenza, a monte e in parallelo rispetto all'esperienza mediata dal computer, e della risonanza così indotta fra percezione diretta e rappresentazione spazializzata, di un semplice “trasduttore universale percettivo - motorio”, sul tipo di quello presentato in fig 3. Si tratta di realizzare, con tecnologia che deve essere il più possibile trasparente - sostanzialmente di bricolage - lo scorrimento orizzontale di una striscia di carta (anche da parati), trascinata (in modo più o meno uniforme) da una manovella azionata a mano da un bambino. Perpendicolarmente al movimento della carta, con l'aiuto di due guide, un altro bambino muove - verso l'“alto” o verso il “basso”, mi-

mando un'esperienza già ben interiorizzata - o mantiene fermo - un pennarello: in sincronia con l'aumentare e il diminuire (o la stazionarietà) della intensità a cui la percezione è istantaneamente accordata. Si tratta, come è ovvio, di un primitivo sistema di “costruzione” di un grafico in tempo reale: con tutti i malintesi, le ambiguità, le distorsioni, le discrepanze connesse al problema di correlare i sistemi percettivo e motorio di due persone diverse; ma soprattutto al problema di interpretare il significato del prodotto grafico, in qualche modo sempre “stupefacente”, e di correlarne le caratteristiche alle modalità di rilevamento percettivo e di traduzione motoria.

Può sembrare quasi incredibile, eppure questa “forzatura” accoppiata dei sistemi percettivo-motorio e cognitivo-rappresentativo, realizzata in parallelo via “accrocco” manuale e via computer, conduce rapidamente ed efficacemente ad una padronanza dei significati di trasduzione e rappresentazione normalmente accessibile ad età molto più avanzate. Ovviamente, i numeri e le relative misure vengono “dopo” - quasi di necessità, a completare e specificare quello che già si sa vedere: dopo che alcuni significati fondamentali si sono stabilizzati, e sono disponibili a costruzioni sempre più elaborate.

Mi piace chiudere con la marcatura di ottimismo su quello che potrebbe succedere a scuola che, sempre, emerge da un lavoro cognitivo “aperto” con i bambini; e con il riconoscimento alla saggezza degli antichi che, da sempre, ci vanno ripetendo che passaggio critico al conoscere è la comprensione del “cambiamento”.

*Figura 3.  
Rappresentazione schematica del “trasduttore percettivo-motorio” descritto nel testo.*

