

---

# *Esperimenti in tempo-reale e didattica della fisica*

---

Elena Sassi  
Dipartimento di  
Scienze Fisiche,  
Università di Napoli  
"Federico II"

*Un approccio alla fisica basato su esperimenti  
con sensori collegati al calcolatore.*

*Rappresentazione in tempo-reale del fenomeno  
e studio di fenomeni familiari per collegarsi con  
la conoscenza di senso comune e per superare  
note difficoltà d'apprendimento.*

## **INTRODUZIONE**

Un settore della ricerca didattica in fisica, da molti anni, studia le conoscenze intuitive su diversi argomenti di fisica di base. Le difficoltà d'apprendimento più comuni e resistenti sono indagate in relazione alla conoscenza di senso comune; ne derivano suggerimenti per strategie innovative d'insegnamento e approcci didattici in cui si può far leva sulla "fisica ingenua" per favorire la costruzione della conoscenza disciplinare (per esempio Viennot 1979; Viennot 1985; Driver 1989; Arons 1990; Pfundt e Duit 1993; Carmichael et al 1993).

Nella prassi didattica non c'è in genere altrettanta attenzione per i modi di ragionare intuitivi degli studenti (schemi alternativi, rappresentazioni mentali, strategie di senso comune, ...), è ancora diffuso l'atteggiamento di considerare gli studenti come recipienti vuoti da colmare di conoscenze. Le contraddizioni fra la "fisica ingenua" e le conoscenze disciplinari sono presenti per molti contenuti di base, per esempio movimento,

forza, energia, calore, temperatura, luce, ecc... Un ruolo delicato dell'insegnamento è quindi sostenere il processo di trasformazione della conoscenza intuitiva in quella disciplinare, favorirne l'integrazione nel sistema globale di conoscenza dell'individuo, facilitarne il radicamento e l'operatività in relazione a nuovi apprendimenti, il tutto attraverso un processo di costruzione personale del sapere.

Esiste un diffuso consenso sul fatto che agli elementi di conoscenza di senso comune, specialmente quando conflittuali con la conoscenza disciplinare, debba essere prestata grande attenzione ai fini di un apprendimento coerente e duraturo. È necessario quindi rendere esplicitamente consapevoli gli allievi delle loro idee e prenderne spunto per facilitare l'innescio di processi cognitivi che trasformino la conoscenza di senso comune in conoscenza di fisica disciplinare, radicata nel complesso del proprio sistema culturale. Gli approcci didattici che partono dalla conoscenza comune degli allievi e fanno leva su elementi loro familiari e ben rico-

noscibili, spesso propongono l'uso di ambienti di apprendimento aperti e basati su calcolatore, senza strategie didattiche o percorsi prefigurati ma piuttosto mirati a facilitare l'esplorazione dei comportamenti dei sistemi fisici in studio.

Nel complesso processo di rinnovamento e rifondazione della didattica un ruolo fondamentale è giocato dagli insegnanti in quanto "trasformatori dell'innovazione didattica". L'insegnante, nell'attuazione di una proposta innovativa, diventa cioè attore di un processo in cui i contenuti innovativi vengono mediati dalla sua cultura, dalla sua esperienza ed anche dai suoi limiti ed adattati allo specifico contesto in cui opera. Si attua così un vero e proprio processo di trasformazione che può mantenere (e a volte arricchire) i valori innovativi della proposta originaria oppure attenuarli (e a volte vanificarli).

La qualità di questa trasformazione dipende da una pluralità di fattori; nel caso della didattica della fisica c'è certamente l'influenza delle difficoltà concettuali degli insegnanti riguardo ai contenuti disciplinari, la scelta delle strategie di intervento cognitivo, la realizzazione concreta dell'intervento didattico, le loro concezioni epistemologiche che spesso sono di natura empirica e rimangono a un livello non del tutto esplicito, ecc.. Per quanto riguarda queste ultime, per esempio, una concezione del tipo "la natura parla da sé" si può facilmente tradurre in uno stile di insegnamento "guarda e capisci"; una del tipo "innanzitutto la teoria" in un atteggiamento verso l'attività di laboratorio, di verifica di leggi (il che riduce di molto la valenza cognitiva del momento sperimentale); una del tipo "soprattutto l'esplorazione" in una pseudo ricostruzione delle tappe dell'evoluzione della fisica, molto riduttiva del processo socio-culturale che le ha favorite, e così via.

Inoltre spesso anche i migliori insegnanti tendono a sopravvalutare la regola dell'ottimizzazione dell'accessibilità, per cui sarebbe sufficiente, per realizzare un insegnamento di qualità, concentrare gli sforzi sull'ottimizzazione della presentazione dei contenuti (completezza, autoconsistenza, coerenza, articolazione del flusso, immagini, grafici, voce, spontaneità, ...). Non è semplice convincersi che l'ottimizzazione dell'accessibilità non garantisce l'apprendimento degli allievi e che non è condizione sufficiente per un insegnamento efficace, pur essendo necessaria.

In questo quadro complesso si commenta qui un approccio alla fisica di base che propone attività didattiche basate su esperimenti in cui l'acquisizione dati e la loro rappresentazione in tempo-reale avviene tramite sensori di grandezze fisiche collegati al calcolatore.

Questo approccio ha uno stretto collegamento con le problematiche su esposte.

Si possono affrontare direttamente ed efficacemente difficoltà d'apprendimento comuni e resistenti partendo da fenomeni familiari e dalla conoscenza di senso comune grazie alla disponibilità di una rappresentazione del fenomeno mentre esso si svolge.

Si possono realizzare interventi di formazione docenti in cui le eventuali difficoltà degli insegnanti emergono rapidamente grazie alla possibilità di esplorare molti tipi di percorsi e di problematiche contenutistiche e metodologiche in tempi molto contenuti. Questo favorisce l'ottimizzazione dell'adattamento fra proposta di innovazione didattica e sua attuazione da parte degli insegnanti.

Inoltre questo approccio consente in modo naturale la valorizzazione dei contributi e dei punti di vista dei singoli studenti e l'esplorazione di percorsi anche divergenti. Questa possibilità si pone come alternativa concreta e percorribile ad un modello didattico di pura ottimizzazione dell'accessibilità, purché il docente sappia adeguatamente guidare e far convergere la molteplicità dei percorsi esplorati.

Di seguito sono brevemente descritte le caratteristiche principali dell'approccio suddetto.

## **GLI ESPERIMENTI DIDATTICI IN TEMPO REALE**

Da tempo la ricerca didattica propone approcci alla fisica di base in cui è centrale il ruolo di esperimenti in tempo reale; esistono diversi sistemi di sensori (di movimento, forza, luce, temperatura, pressione, tensione, corrente, ...) gestiti da calcolatore e software di analisi che permettono di avere rappresentazioni grafiche di dati dell'esperimento raccolti mentre esso si svolge. Questi sistemi, qui indicati con MBL (Microcomputer Based Laboratory), utilizzano tecnologie informatiche mature e non richiedono hardware particolarmente costoso. L'idea didattica centrale è quella di avere una raccolta dati automatizzata e veloce abbinata a grafici temporali di

variabili significative per il fenomeno in studio, in modo da facilitare lo studio dell'evoluzione del fenomeno mentre esso si svolge<sup>1</sup>. Per dare un'idea delle possibilità didattiche che si aprono con l'uso di MBL e che non sono nella pratica percorribili altrimenti, si pensi che un sensore di temperatura immerso in un bicchiere di acqua calda permette, in pochi minuti, di avere un grafico temporale della temperatura che evidenzia nei dettagli l'evoluzione del raffreddamento e che registra le eventuali variazioni (se si soffia sull'acqua, se si isola termicamente il recipiente, se lo si immerge in un mezzo più freddo dell'ambiente, se...)

Un esperimento di raffreddamento può certamente essere condotto dagli allievi anche con un termometro ed un cronometro, le cui letture vanno poi riportate in grafico per avere l'andamento temporale della temperatura; il vantaggio dell'approccio MBL è che, essendo eliminato il ritardo fra presa ed analisi dati ed anche tutto il lavoro di routine ad esse collegate<sup>2</sup>, l'attenzione degli allievi si può concentrare sull'evoluzione temporale del fenomeno mentre esso si svolge, e quindi le loro osservazioni su quanto sta accadendo possono entrare in gioco nel momento adatto. Inoltre la forte riduzione dei tempi permette di ripetere più volte l'esperimento al cambiare di condizioni e la visualizzazione immediata dell'effetto del cambiamento consente di riflettere sulla significatività delle variabili.

Negli approcci costruttivisti<sup>3</sup> è importante il percorso che parte dall'osservazione della fenomenologia e si articola dapprima in descrizione qualitativa, in linguaggio naturale, con particolare attenzione alle relazioni d'ordine e agli andamenti delle grandezze più caratterizzanti, poi in descrizione semi-quantitativa attraverso una prima modellizzazione che introduce elementi di linguaggio formale, analitico o grafico, e poi, possibilmente, in una piena descrizione quantitativa tramite un modello sufficientemente completo. Lo studio di fenomeni familiari e complessi tramite esperimenti tipo MBL facilita questo iter; l'evoluzione del fenomeno descrivibile a parole (si impara a narrare ciò che si osserva) ha contemporaneamente anche una rappresentazione astratta, in termini di grafici temporali di grandezze significative, che si costruisce man mano sul video ed in termini di quel particolare linguaggio si possono individuare e riconoscere andamen-

ti in funzione del tempo (crescita, decrescita, costanza, ...). Il fatto che gli allievi possano in tempi brevi studiare molte situazioni sperimentali diverse, attraverso la variazione di condizioni di esperimento, facilitata da un lato la riflessione sull'influenza dei vari parametri in gioco, dall'altro permette di rendersi conto dei vantaggi e dei limiti del linguaggio astratto usato, in questo caso i grafici temporali.

In molta prassi scolastica attuale non viene dato sufficiente rilievo al valore della multi-rappresentazione nella descrizione di un fenomeno. Quando si impara che la stessa fenomenologia può essere descritta con rappresentazioni diverse, spesso complementari fra loro, che ne mettono in luce aspetti diversi e che, a seconda di ciò che si vuole studiare, è opportuno usare una rappresentazione piuttosto che un'altra, si acquisisce una capacità cognitiva di alto livello e valida in moltissimi contesti.

I sistemi MBL didatticamente migliori hanno tutti funzionalità multiple di rappresentazioni grafiche; in genere si può ottenere il grafico di una qualsiasi coppia di grandezze fra dati primari dell'acquisizione (tempo e grandezza fisica misurata dal sensore, quale distanza, forza, temperatura, tensione, intensità luminosa, pressione, ...) e grandezze calcolate dal software (velocità, accelerazione, energia cinetica e potenziale, ...) Il poter facilmente cambiare la rappresentazione grafica del fenomeno e quindi l'osservazione della sua evoluzione attraverso descrizioni diverse, facilita l'apprezzamento del valore della multi-rappresentazione ed abitua alla ricerca di quella più adatta allo scopo. Questo lavoro, possibile solo con un mezzo interattivo e quindi in ambienti su calcolatore, può essere fatto anche con i software di simulazione e modellizzazione, ma negli esperimenti in tempo reale c'è l'insostituibilità e la ricchezza del laboratorio; ciò che si varia sono condizioni sperimentali, cioè tangibili e in genere più immediatamente apprezzabili rispetto alla variazione di valori numerici nel software.

La maggiore potenzialità didattica, dal punto di vista degli approcci costruttivisti, si ha con la combinazione di esperimenti tipo MBL con software di modellizzazione, che permette di costruire modelli vari per descrivere i dati sperimentali. I sistemi MBL più avanzati contengono strumenti di modellizzazione, viene così facilitata l'acquisizione integrata di due tipi di capacità, molto diver-

**1** Sono disponibili diversi sistemi che utilizzano sensori in linea con calcolatore. Un buon sistema MBL ha notevole facilità d'uso ed ampie funzionalità di rappresentazione dati. Con le misure in tempo reale gli allievi hanno un primo contatto con una tecnologia che oggi è standard sia nella ricerca scientifica che nell'industria; questa tematica può anche servire da spunto per una breve introduzione ai controlli di processo.

**2** L'abilità di fare misure e grafici è essenziale ma una volta acquisita non è necessario praticarla per ogni esperimento, specialmente quando la raccolta dati consuma molto tempo e differisce nel tempo il cogliere l'andamento del fenomeno.

**3** Sotto la dicitura costruttivismo vive in realtà un insieme di posizioni, qui ci riferiamo ad un costruttivismo moderato che punta, fra l'altro, sulla acquisizione guidata di un sistema di conoscenza in cui è importante la capacità di connettere punti di vista e descrizioni diverse.

se tra loro ed entrambe centrali per l'apprendimento della fisica: nel costruirsi l'abilità di saper fare un esperimento si impara a distinguere i vari tipi di errore di misura, ad adoprarsi perché il rumore di fondo di tutti gli effetti non eliminabili influenzi il meno possibile il "segnale", a riconoscere che l'esperimento ideale presentato dai testi è solo l'estrapolazione di situazioni molto più complesse e "sporche", a distinguere fra variabili significative e non...; nel costruirsi l'abilità di costruire ed interpretare modelli (dapprima semplici e poi più completi) si impara a distinguere gli effetti principali dai secondari, a riconoscere i limiti delle capacità di descrizione di un modello, a tener conto delle approssimazioni, a scegliere le rappresentazioni ottimali, ecc...<sup>4</sup>

### UN APPROCCIO MBL ALLO STUDIO DEL MOTO

Un esempio interessante delle potenzialità didattiche degli esperimenti in tempo reale riguarda lo studio del moto, che ha notevole valore emblematico e storico ed è argomento iniziale di pressoché ogni corso di fisica di base. Molte sperimentazioni didattiche in questo settore sono state realizzate, anche in Italia; in fasce scolari fra 14 e 20 anni ed in interventi di formazione insegnanti, sia primaria che in servizio (per esempio Amodio et al 1992; Balzano et al 1992, Balzano et al 1994; Sassi 1992; Sassi and Balzano 1993; Sassi and Balzano in press; Thornton and Sokoloff, 1990; Thornton, 1987; Thornton, 1990, Thornton, 1992; Thornton, 1993). La globalità delle nostre esperienze è positiva, fra l'altro indica che questo tipo di approccio, da un lato facilita agli allievi molto giovani il contatto con la fenomenologia e l'elicitazione della conoscenza comune, fornendo agganci importanti per la costruzione dei concetti chiave; dall'altro permette agli insegnanti un'immersione in situazioni didattiche non controllabili a priori che possono mettere in luce eventuali difficoltà sui contenuti e atteggiamenti strategici e rendere possibile chiarificazioni e modifiche di atteggiamenti.

Lo studio della fisica del movimento presenta diverse difficoltà di apprendimento comuni a diversi contesti educativi e resistenti all'insegnamento tradizionale; nella descrizione cinematica si ha a che fare con i concetti di spostamento, velocità, accelerazione, nella dinamica con quelli di forza, energia,

quantità di moto, .... È proprio nello studio del moto che spesso non si superano alcune contraddizioni di fondo tra le strategie di ragionamento della "fisica ingenua" e quelle della conoscenza disciplinare; questi conflitti non risolti ostacolano un apprendimento significativo e riaffiorano continuamente.

### LA CINEMATICA DELLE "CAMMIMATE"

L'approccio tradizionale allo studio del moto, come presentato da moltissimi testi e seguito da quasi tutti gli insegnanti inizia con la cinematica del corpo puntiforme in moto lungo una traiettoria rettilinea. Questa idealizzazione del fenomeno di moto (che storicamente è venuta dopo moltissimo studio sul moto di corpi estesi soggetti ad attrito) richiede notevoli capacità di astrazione su puntiformità e assenza d'attrito; inoltre questo moto è assai lontano dalla esperienza comune sul movimento. In questo approccio, quando (e se) ci sono esperienze di laboratorio, spesso riguardano esperimenti con apparati didattici ad hoc per la riduzione dell'attrito (tipo rotaie a cuscino d'aria), che non colmano la distanza fra studio scolastico del moto e sua conoscenza pregressa derivante dall'esperienza quotidiana.

Nell'approccio MBL lo studio della cinematica parte invece con esperimenti in tempo reale su "camminate"<sup>5</sup> degli studenti (Fig. 1); l'evidente aggancio alle sensazioni psi-

*4 Le capacità che si acquisiscono mediante le attività sperimentali e di simulazione sono diverse e complementari fra loro; la tendenza, a volte presente nella prassi scolastica, a "sostituire" gli esperimenti con simulazioni al computer è legata a confusione metodologica, inesperienza, timore di situazioni non controllabili, carenza di formazione sperimentale,.... L'insostituibilità del momento sperimentale nello studio della fisica va chiarita e ribadita negli interventi di formazione continua specialmente per quegli insegnanti che nella loro prima formazione non hanno fatto esperienza di attività di laboratorio.*

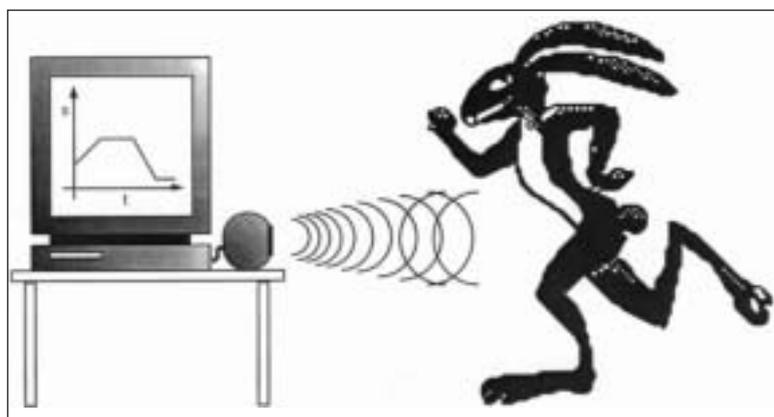


Figura 1. Schema di funzionamento di un rivelatore ultrasonico di movimento. I dati sulla posizione del corpo in funzione del tempo, acquisiti in ragione di molte decine al secondo, sono rappresentati in tempo reale come grafico  $s(t)$ .

**5** Il sistema MBL per lo studio del moto da noi utilizzato è stato sviluppato dal Center for Science and Mathematics Studies, Tufts University, Medford MA, USA. Il sensore di movimento emette un cono stretto (semiapertura circa  $10^\circ$ ) di pacchetti di ultrasuoni (diverse decine al secondo) che vengono riflessi dal primo ostacolo incontrato. Il tempo di eco fra emissione e ritorno, misurato dal sensore è convertito in distanza dell'oggetto dal sensore e le tabelle (distanza, tempo) sono i dati primari a partire da cui vengono costruiti i grafici. Mediamente i sensori "vedono" movimenti fino a distanze di 6-8 metri con risoluzioni di frazioni di centimetro (è possibile registrare le variazioni di distanza dovute alla respirazione). La zona di corpo colpita dagli ultrasuoni è vista come un piccolo oggetto in movimento. La familiarizzazione degli allievi con i sistemi MBL attuali richiede in genere tempi molto brevi.

**6** Il significato del grafico  $s(t)$  è immediatamente avvicinabile tramite esperimenti su oggetti fermi (es: il sensore sotto un tavolo) in cui la rappresentazione nel tempo di una posizione che rimane costante è data da una retta orizzontale. Si può chiarire così in pratica anche il significato operativo di intervallo di tempo finito (quello fra due misure di distanza) in relazione al termine "istante" del linguaggio comune che spesso crea confusioni.

**7** La rappresentazione (quantità di moto, posizione) detta spazio delle fasi è strumento molto utile nella trattazione di moltissimi argomenti di fisica.

comotorie permette di collegare subito la rappresentazione astratta del moto attraverso il grafico  $s(t)$ , posizione in funzione del tempo<sup>6</sup>, con percezioni tipo "più o meno lento e più o meno veloce", "avvicinamento e allontanamento", "fermata", "inversione del moto", ecc...

Gli esperimenti sulle camminate, che spontaneamente includono anche moti molto regolari, permette in tempi brevi (per es. in circa 6 ore di esperimenti interattivi) di chiarire, con gli allievi più giovani, diversi contenuti delicati di cinematica ed affrontare note difficoltà di apprendimento. Tra essi, per esempio, la confusione tra legge oraria e traiettoria (con camminate molto diverse seguendo una stessa linea retta); la confusione tra proporzionalità diretta ( $y=mx$ ) e relazione lineare completa  $y = mx + b$  (il sensore di moto non "vede" per circa 40 cm); il legame fra idea intuitiva della velocità e pendenza del grafico  $s(t)$  della posizione nel tempo; il calcolo della velocità media in un intervallo di tempo (un cursore permette di leggere facilmente posizione e tempo) e le difficoltà sul significato di velocità negativa; la velocità media al decrescere dell'intervallo di tempo e il valore limite della velocità istantanea; la confusione tra il sorpasso e l'incrocio in due moti uniformi (esperimento su due camminate molto regolari, in incrocio e sorpasso, con ricerca della soluzione del sistema di due equazioni lineari con metodo numerico, grafico ed analitico); la costruzione del grafico  $v(t)$ , velocità in funzione del tempo a partire da quello  $s(t)$ ; le inevitabili "irregolarità" dei passi nel grafico  $v(t)$ ; la confusione tra l'inversione del moto (uno zero in  $v(t)$ ) ed il cambio nel segno della pendenza in  $v(t)$ ; la costruzione del grafico  $a(t)$ , accelerazione in funzione del tempo a partire da quello  $v(t)$ ; l'intrinseco peggioramento della qualità dei grafici sperimentali nel passaggio da  $s(t)$  a  $v(t)$  ad  $a(t)$  dovuto al metodo delle differenze finite; la confusione tra il modo in cui il modulo della velocità cambia ed il segno dell'accelerazione;...

Questo tipo di attività si avvantaggia molto dell'iterazione del ciclo "previsione-esperimento-confronto", con approfondimenti evidentemente legati alle reazioni degli allievi e al tempo disponibile. Infatti lo sforzo di esprimere una previsione, di realizzare un esperimento e di farne un confronto aiuta a rendere esplicite le strategie di ragionamento e le conseguenze delle ipotesi; da-

gli inevitabili disaccordi nasce l'esigenza di costruire o interpretare modelli per spiegare i risultati sperimentali.

La componente ludica contenuta nella sfida di riprodurre con una propria camminata un dato grafico  $s(t)$ ,  $v(t)$   $a(t)$  in genere contribuisce a sostenere l'interesse degli allievi molto giovani; per essi la cinematica delle camminate facilita un apprendimento integrato fisica/matematica; il legame tra introduzione alla modellizzazione e matematica di base diventa tangibile e la comprensione dei significati astratti di funzioni matematiche semplici (es. lineare e quadratica) è aiutata dal radicamento in fenomenologie familiari.

Un possibile percorso didattico, che abbiamo sperimentato in vari contesti, dopo l'appropriazione dei concetti cinematici chiave attraverso lo studio delle camminate degli studenti (esperimenti, estrazione delle regole e modellizzazione), affronta moti di carrellini su piste orizzontali o inclinate, cadute e lanci di palle, ... cioè fenomeni dove la percezione personale del moto non è presente ma su cui gli studenti hanno molte cose da dire in base alla loro esperienza ed in cui la presenza di fenomeni dissipativi gioca un ruolo significativo. Lo studio di queste situazioni complesse, "sporche" e familiari facilita l'evidenziazione delle strategie cognitive e permette di apprezzare i vantaggi dell'idealizzazione di moto accelerato di corpo puntiforme senza attrito e la semplicità potente di questa modellizzazione che non è punto di partenza ma di arrivo di un iter di osservazione di fenomenologia, ricerca di possibili regole e modelli, riflessione sulle loro capacità descrittive e limitazioni.

In questo percorso per la cinematica con approccio tipo MBL anche l'introduzione della rappresentazione del moto attraverso la relazione  $v(s)$  tra velocità e distanza può essere fatta naturalmente. I grafici  $v(s)$  cioè l'introduzione al cosiddetto spazio delle fasi<sup>7</sup> sono generalmente (ed a torto) ritenuti una rappresentazione del moto più difficile dei grafici  $s(t)$  e  $v(t)$  e vengono usualmente introdotti e studiati nei corsi universitari, è invece utile imparare a servirsene precocemente, fin dalla cinematica delle camminate (Fig. 2a). Nella rappresentazione  $v(s)$  la dipendenza dal tempo non è più esplicita, lo studio della correlazione tra lo spazio delle fasi ed i più consueti grafici  $s(t)$  e  $v(t)$  permette di sperimentare un caso in cui il valore

della multirappresentazione è evidente.

Esperimenti tipo quelli illustrati nella Fig. 2 a) e b) permettono di confrontare una camminata regolare di uno studente in avvicinamento ed allontanamento dal sensore con il moto di un carrellino con ruote a piccolo attrito che fatto partire su una pista orizzontale in allontanamento dal sensore, urta (con respingente a molla) contro una parete e torna indietro. Nel primo caso saltano all'occhio le modulazioni dell'orbita dello spazio delle fasi prodotte dai passi della camminata, nel secondo la regolarità molto più forte dell'orbita (rotolamento delle ruote), la piccola diminuzione di velocità (attrito) e l'effetto di compressione e dilatazione della molla del respingente. Lo studio del moto mediante il grafico  $v(s)$  dà quindi "visibilità" immediata ad aspetti che in altre rappresentazioni sono più nascosti; acquisire la capacità di correlare consapevolmente varie rappresentazioni dello stesso fenomeno e ciò che esse singolarmente evidenziano è una abilità valida in ogni contesto e che può aiutare sensibilmente la costruzione di conoscenza.

Un altro esempio in cui l'uso dello spazio delle fasi rende visibili aspetti di notevole interesse didattico è riportato nella Fig 3 relativo ad un esperimento in cui il carrellino già menzionato viene lasciato libero di scendere su un piano inclinato (il sensore di moto è in cima alla rampa), giunto in fondo urta col respingente a molla contro una parete posta alla base del piano (un pezzo di metallo, di legno, di plastica, ...), risale, inverte il moto, riscende e così via.

Tre rappresentazioni di questo moto, che a parte gli urti è uniformemente accelerato, sono riportate in figura :  $s(t)$ ,  $v(t)$  e  $v(s)$ . Nel grafico  $v(t)$  è chiaro l'andamento lineare della velocità; nella rappresentazione  $v(s)$  sono ben evidenti l'andamento spiraleggiante dovuto alla riduzione progressiva della altezza massima raggiunta sul piano e della velocità massima dopo i vari urti, la minore compressione/dilatazione della molla man mano che l'impatto avviene a velocità minore, ... ed è anche possibile una stima del tempo di urto.

## LA DINAMICA ED IL SENSORE DI FORZA

Nello studio del moto il passaggio tra cinematica e dinamica è una transizione cognitivamente difficile. Gli strumenti matematici necessari per risolvere un'equazione del mo-

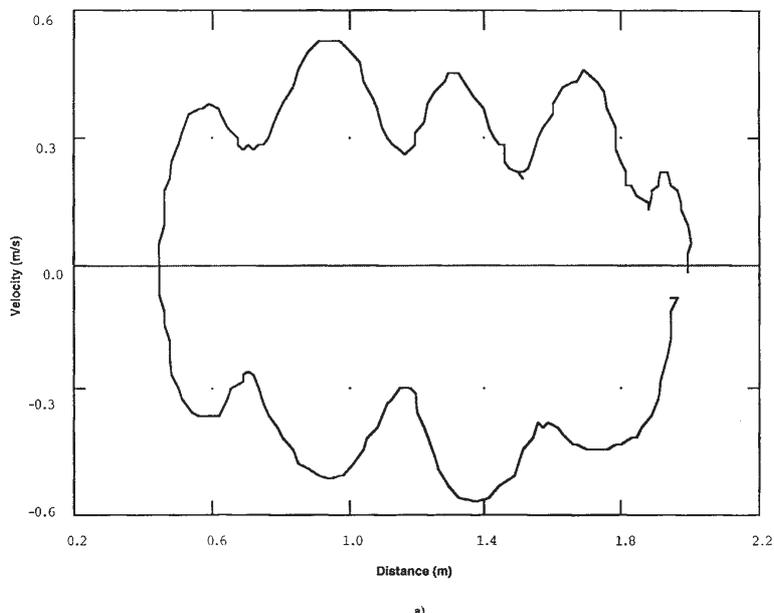
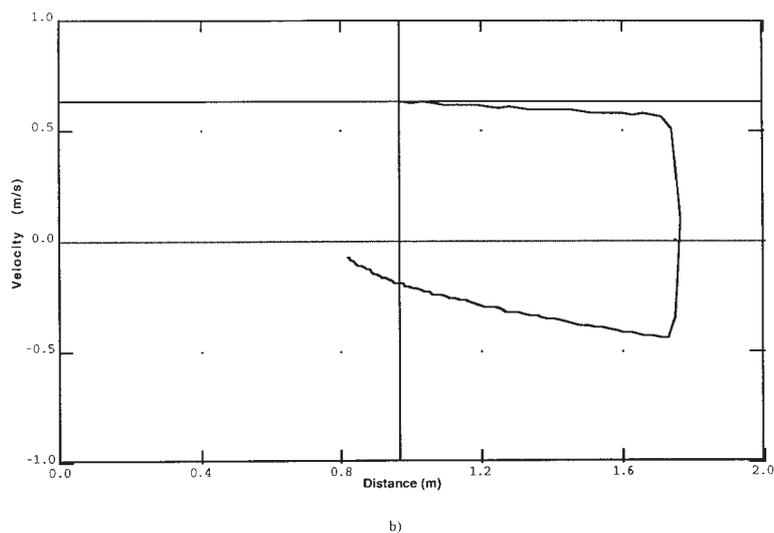
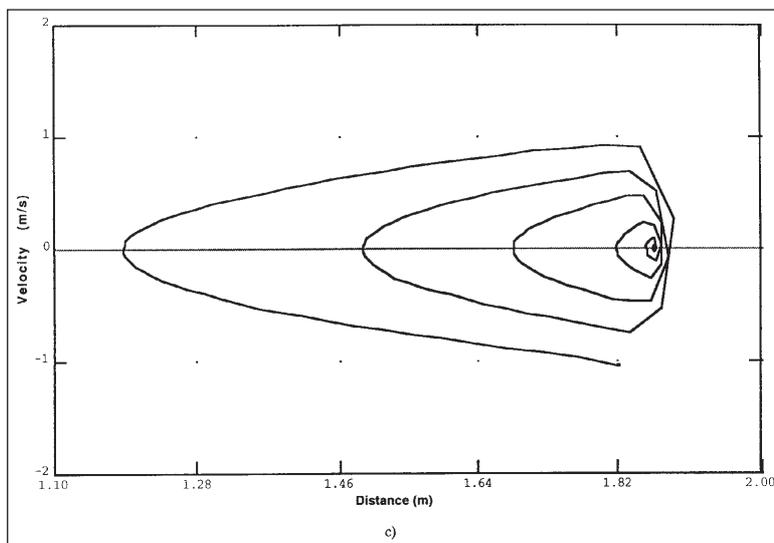
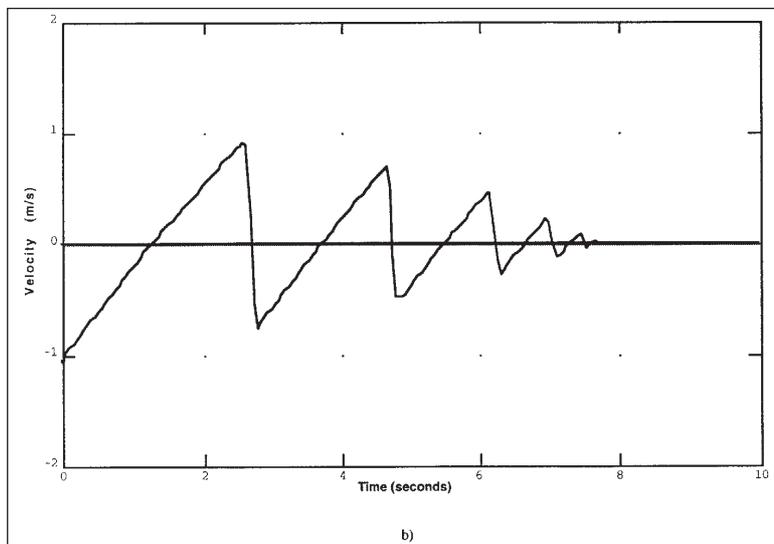
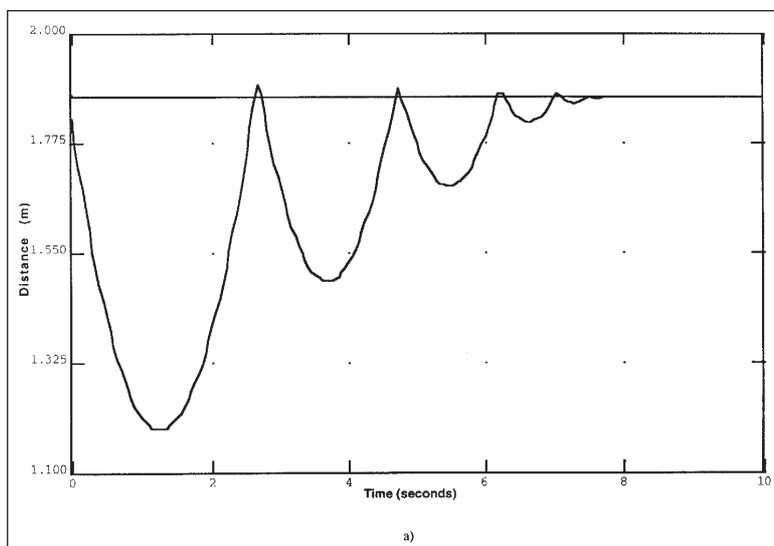


Figura 2. Esempi di rappresentazioni di moti attraverso lo spazio delle fasi. a) moto regolare di uno studente in avvicinamento ed allontanamento rispetto al sensore di moto; b) carrellino con ruote a piccolo attrito e respingente a molla che si muove allontanandosi dal sensore su pista orizzontale, urta contro una parete e ritorna verso il sensore.



to sono in genere argomento di studi universitari; si verificano varie difficoltà nel relazionare le descrizioni cinematica e dinamica del moto e a vederne le differenze. Queste difficoltà hanno varie cause, nella conoscenza comune sono comuni strategie di ragionamento, riguardo a forza ed alle relazioni for-



za-movimento, non compatibili con la meccanica newtoniana (per esempio Hestenes et al 1992, Guidoni et al in press); inoltre il passaggio dalla definizione statica di forza (mediante un dinamometro) a quella che compare nell'equazione del moto non è cognitivamente banale.

Un aiuto può avvenire da esperimenti MBL su moti familiari in cui avvengono brusche variazioni di velocità, per es. il moto di una sedia da ufficio con ruote allontanata dal sensore con una breve ed intensa spinta. (Fig. 4) Nel grafico  $v(t)$  si vede bene la rapida variazione di velocità legata alla spinta iniziale e la diminuzione di velocità dovuta all'attrito ruote-pavimento; nel grafico  $a(t)$  è evidente il picco iniziale di accelerazione seguito dalla successiva piccola decelerazione che frena. Una discussione fra la correlazione tra questi due aspetti e la percezione della forza esercitata nella spinta aiuta ad affrontare in modo intuitivo il rapporto forza/accelerazione.

Un contributo molto significativo viene dagli esperimenti basati sull'uso di un sensore di forza<sup>8</sup> che permette di vedere l'andamento nel tempo della forza esercitata su o dal sensore. Nella Fig. 5 sono per esempio illustrate le forze che si misurano in varie situazioni di natura molto familiare come il tirare e spingere con la mano, dare strappi e colpi. In questo grafico il gancio del sensore di forza è dapprima tirato e spinto con la mano; poi si sono dati piccoli strappi ad un filo legato al gancio ed infine piccoli colpi al sensore battendo il gancio contro la superficie di un tavolo. Anche qui la possibilità di osservare la forza mentre essa si esplica è

Figura 3.

*Un carrellino con ruote a piccolo attrito e respingente a molla scende su un piano inclinato, urta contro una parete alla base del piano, risale e così via. a)  $s(t)$ , la linea continua è il riferimento della misura della posizione del carrellino quando è fermo alla base del piano, appoggiato alla parete; b)  $v(t)$ , è evidente l'andamento lineare della velocità; c)  $v(s)$  o spazio delle fasi, sono visibili diversi urti.*

**8** Il sensore di forza ed il suo software di gestione da noi utilizzato è stato sviluppato dal Center for Science and Mathematics Studies, Tufts University, Medford MA, USA. L'elemento sensibile è costituito da un rivelatore di effetto Hall affacciato ad una lamina metallica flessibile a cui è collegato un gancio; una forza esercitata su esso provoca uno spostamento della lamina ed il segnale generato (opportunosamente calibrato) ne dà una misura.

un'occasione cognitiva potente per chiarirsi cosa significa: - esercitare una forza su qualcosa; - reagire ad una forza esercitata; - misura statica di una forza; - forze impulsive e forze costanti; - impulso di una forza, ecc....

Ma forse le opportunità più efficaci sono date dagli esperimenti in cui i sensori di moto e forza vengono utilizzati contemporaneamente per misurare le grandezze cinematiche e la forza esercitata sul corpo in moto. L'analisi delle correlazioni tra  $s(t)$ ,  $v(t)$ ,  $a(t)$  ed  $F(t)$ , mentre il moto si svolge facilita il rendersi conto del legame fra accelerazione e forza misurate dal sensore. Esempi molto ricchi sono gli esperimenti sul moto oscillatorio verticale di un pesetto sospeso ad una molla agganciata al sensore di forza, il moto è registrato dal sensore messo in basso (Fig. 6). Con questo tipo di analisi diventano evidenti vari aspetti che percettivamente sono colti solo in parte e che usualmente sono affrontati solo con un'analisi formale; per esempio il controfase tra  $s(t)$  e  $v(t)$  può essere legato con la percezione visiva dell'inversione del moto in corrispondenza della massima elongazione o compressione della molla; l'uguaglianza (a parte dimensionalità e valori numerici) tra i grafici di accelerazione e forza è un supporto cognitivamente importante per la comprensione dell'equazione del moto. La rappresentazione dello spazio delle fasi è particolarmente efficace, ci si rende subito conto che l'idealizzazione di oscillatore armonico ideale senza attriti corrisponde a percorrere indefinitamente sempre la stessa orbita in  $v(s)$  mentre la dissipazione comporta una spiralizzazione che termina con la fine del moto.

In questo caso inoltre l'esperimento in tempo reale facilita anche l'elicitazione delle strategie di ragionamento sulle forze elastiche; inoltre l'analisi di moti con molte posizioni e velocità iniziali diverse permette di rendersi conto del ruolo che le condizioni iniziali giocano nella determinazione del particolare moto.

La combinazione di esperimenti con sensori in tempo reale e modellizzazione dei risultati offre notevoli potenzialità didattiche. Moltissimi sistemi tipo MBL offrono strumenti per costruire funzioni matematiche che descrivano al meglio i dati raccolti nell'esperimento (fit dei dati), questo tipo di attività aiuta molto la ricerca di regole nella fenomenologia e la costruzione di modelli (di diversa complessità) ed abitua sia a com-

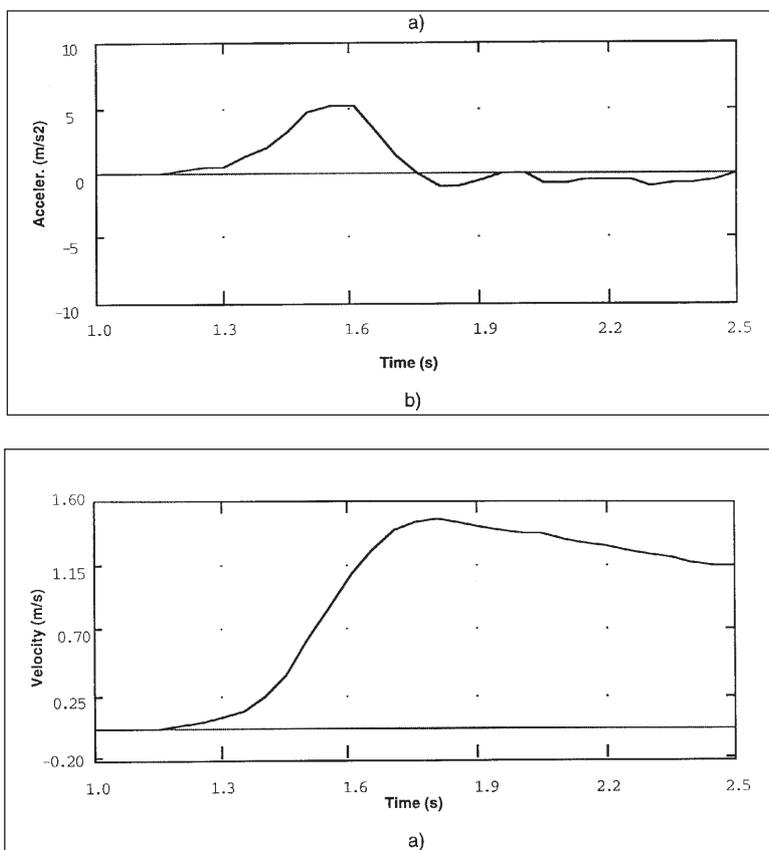


Figura 4 Moto di uno studente su una sedia da ufficio, improvvisamente spinta lontano dal sensore di moto e lasciata andare.

Figura 5 Andamenti temporali di forze esercitate in varie condizioni: tirare e spingere il gancio del sensore di forza con la mano; dargli brevi strappi tramite un filo, dare piccoli colpi contro un tavolo con il gancio del sensore. La linea orizzontale corrispondente al valore di circa 6 Newton è la misura statica di una massa appesa al gancio.

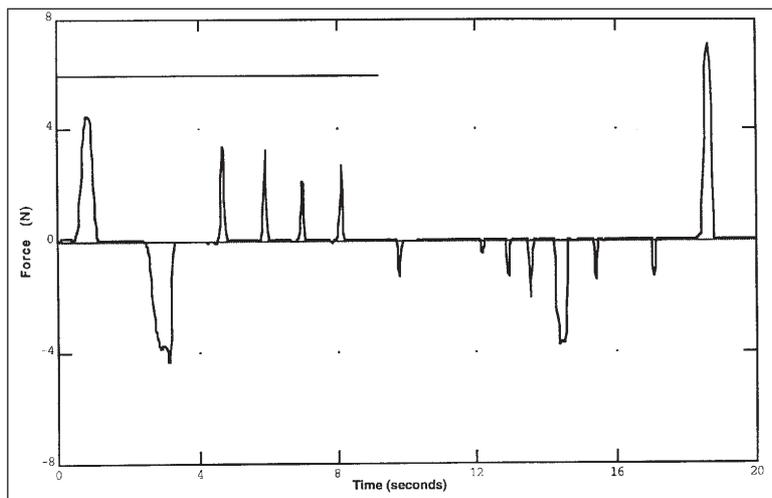
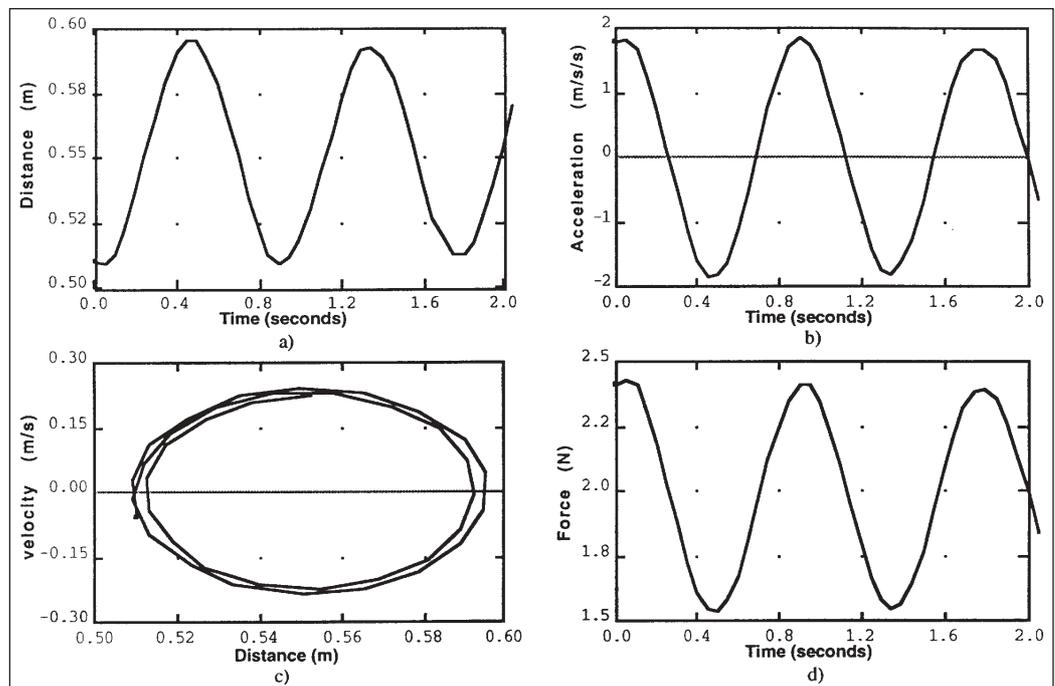


Figura 6.  
Moto oscillatorio di un pesetto attaccato ad una molla metallica elicoidale misurato contemporaneamente dai sensori di moto e forza: a)  $s(t)$ , nella legge oraria si vede un leggero smorzamento dell'ampiezza massima; b) grafico  $a(t)$ , accelerazione in funzione del tempo; c)  $v(s)$ , spazio delle fasi; d)  $F(t)$ .



parare le informazioni sperimentali con le rappresentazioni matematiche dei loro andamenti, le caratteristiche principali con quelle secondari, gli effetti di vario ordine che a rendersi conto concretamente di caratteristiche delle principali funzioni matematiche.

Anche da questo punto di vista la possibilità di ripetere, in tempi brevi, un esperimento, avendo variato alcune condizioni, è un elemento centrale per familiarizzare con l'esplorazione di fit diversi ed il gioco algoritmico che ne è alla base.

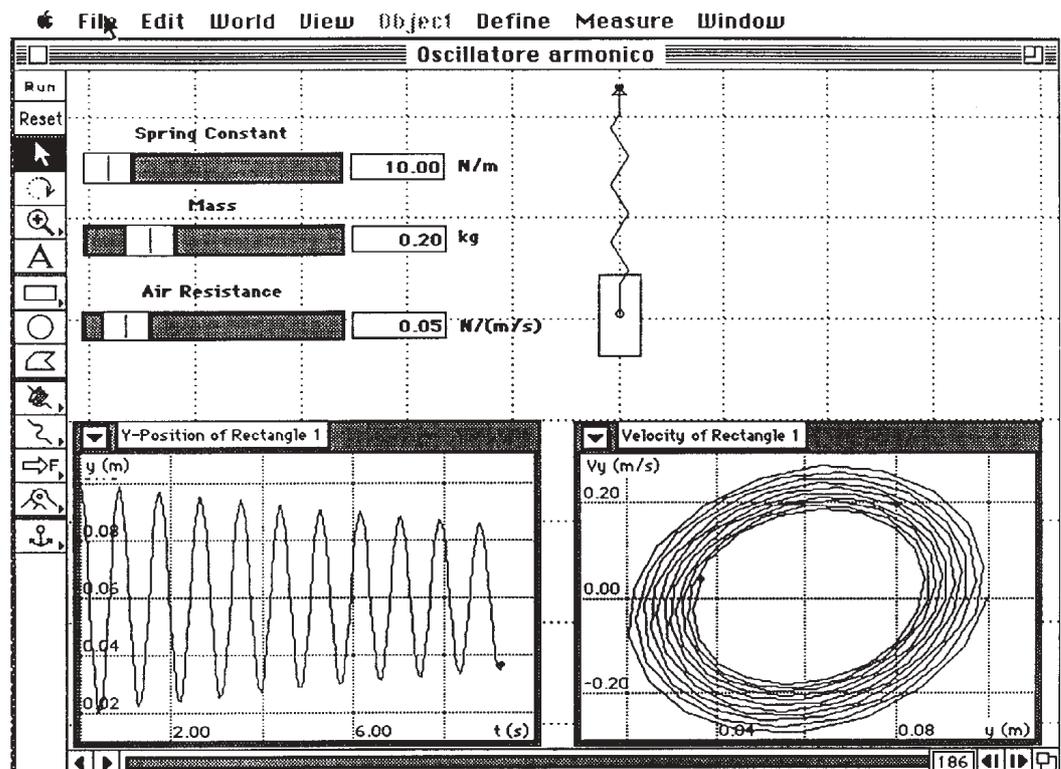


Figura 7.  
Un esempio di modellizzazione iconica e numerica di un oscillatore armonico poco smorzato realizzato con il software Interactive Physics della Knowledge Revolution, S.Franisco USA.

Recentemente si sono resi disponibili dei software didattici che permettono (fra l'altro) di ampliare ed arricchire molto l'attività di modellizzazione degli esperimenti tipo MBL. Sono ambienti interattivi ed aperti che permettono la simulazione, modellizzazione, animazione di un sistema fisico definito dall'utente. Il sistema da studiare è costruito iconicamente con le sue caratteristiche (geometria, masse, cariche, forze risentite, vincoli, ecc...) e il suo comportamento è ottenibile in varie rappresentazioni (animazione, grafici, tabelle dati, ...).

Nella Fig. 7 è riportato un esempio di modellizzazione del sistema molla peso studiato sperimentalmente nell'esperimento illustrato in Fig.6.

La possibilità di inventare modelli e realizzarli facilmente è quindi estremamente ampia e facilmente si innescano attività in cui l'esplore previsioni e intuizioni sui dati raccolti nell'esperimento MBL si intreccia con il ricavare dalla modellizzazione suggerimenti ed indicazioni per esperimenti.

Attualmente questa combinazione di ambiente di laboratorio tipo MBL ed ambiente di modellizzazione è uno strumento didattico con potenzialità davvero notevoli; ma come sempre occorre che sia usato da insegnanti capaci e studenti interessati, perché si realizzino approcci didattici in grado di risolvere le difficoltà d'apprendimento e d'insegnamento di una disciplina, le tecnologie didattiche, per quanto allettanti e ricche, sono solo uno dei molti fattori necessari per questa impresa.

## CONCLUSIONI

Gli spunti didattici su riassunti danno un'indicazione dell'approccio allo studio della fisica del movimento che il gruppo di Didattica della Fisica di Napoli sta sperimentando da tempo. Questa impostazione è seguita anche per molti altri contenuti di fisica di base; qui è stato discusso l'esempio del moto perché emblematico.

La nostra esperienza, in una valutazione globale su varie sperimentazioni relative a varie fasce d'età, tipi di scuole, classi ed insegnanti, indica che questo approccio è efficace sia nel creare dinamiche di classe cognitivamente vivaci e nello stimolare un apprendimento cooperativo che nell'affrontare e risolvere parecchie difficoltà di apprendimento. Gli esperimenti in tempo reale intro-

ducono forti stimoli e forniscono la possibilità di mettere alla prova previsioni diverse; l'insegnante è quindi aiutato a maggiormente svolgere un ruolo di supervisore e di garante della convergenza dell'apprendimento.

Un'altra indicazione globale riguarda i fattori di maggiore potenzialità innovativa che in gran parte coincidono con gli elementi di strategia didattica alla base di questo approccio. Una lista, non esauriente, dei principali fattori contiene: - analizzare la fenomenologia di movimenti familiari, come partenza per lo studio del moto; - elicitare la conoscenza di senso comune; - familiarizzare con l'iterazione del ciclo "previsione - esperimento- confronto"; - abituare all'iter "descrizione qualitativa; semiquantitativa, quantitativa"; - affrontare le più comuni difficoltà di apprendimento; - integrare attività sperimentali con modellizzazione (differenze e complementarità); - .....

A fronte di queste indicazioni positive va ribadito quanto già accennato nell'introduzione, che affinché proposte di approcci innovativi possano tradursi in efficaci pratiche didattiche, occorre il concorso di diversi fattori, fra cui la competenza e la professionalità degli insegnanti, la motivazione e l'interesse degli allievi ed un clima globale che riconosca e sostenga la trasmissione culturale e l'educazione scientifica come valori. In particolare la scelta di una strategia aperta comporta per l'insegnante una duplice forte attenzione, da un lato la valorizzazione delle divergenze che accadono nel processo di apprendimento/ insegnamento, dall'altro un loro incanalamento per assicurare la convergenza dell'apprendere.

La nostra esperienza indica che approcci del tipo indicato possono introdurre, con meccanismi di reazione spesso autorinforzanti, diversi elementi positivi in queste dinamiche complesse. Riconoscere il valore ed il significato di un'impostazione aperta nella costruzione della conoscenza è un'acquisizione che può essere lenta; ma siccome ripaga su più fronti e contesti, anche più generali della formazione disciplinare, è significativo sperimentarla.

*Ringrazio E. Balzano del Dipartimento di Scienze Fisiche dell'Università di Napoli per avermi cortesemente fornito esempi del suo lavoro.*

## Riferimenti Bibliografici

- Amodio L. (1992), Balzano E., Bobbio S., Guidoni P., Fusco A., Moretti M., Sassi E., Silvestrini V., Simone P. "Futuro Remoto, Laboratorio di Educazione alla Scienza, Catalogo delle Attività", *Bollettino n.0*, CUEN Napoli.
- Arons, A.B. (1990): *A guide to introductory physics teaching*, John Wiley New York.
- Balzano E. (1992), P. Guidoni, M. Moretti, E. Sassi, G. Sgueglia, "Introductory University Courses and Open Environment Approaches: the Computer as a multi-Role Mediator in Teaching- Learning Physics", in *Intelligent Learning Environments and Knowledge Acquisition in Physics*, Nato ASI Series F 86, H. Mandl and A. Tiberghien eds, Springer Verlag, pg. 5 -19.
- Balzano E., D' Ajello Caracciolo G., Paoantonio C., Sassi E. (1994). "Attività Didattiche basate su calcolatore per l'integrazione tra Fisica e Matematica nel biennio della Scuola Secondaria Superiore", *La Fisica nella Scuola*, 27, pg.161-172.
- Carmichael M., Driver R., Holding C. (1993) *Research on Students' Conceptions in Science: A Bibliography*, Centre for studies in Science and Mathematics Education, The University, Leeds, UK.
- Driver, R. (editor) (1989) *International Journal of Science Education*, special issue: Student Conceptions in Science vol.11 (5).
- Guidoni P, Porro A. and Sassi E. (in press) "Force-Motion Conceptions: a Phenomenological Analysis of Physics Major Freshmen Questionnaires, Proceedings of International Seminar on "Thinking Science for Teaching: the Case of Physics", Rome 22-27 Sept 94.
- Hestenes D., Wells M., and Swackhamer G. (1992) Force Concept Inventory, *Physics Teacher*, 30, pg. 141-158.
- Pfundt H., Duit R. (1993): *Bibliography: Students' alternative frameworks and Science Education*. I.P.N. at University of Kiel, Germany.
- Sassi E. (1992) "Basic Physics Education and Computer Supported Open Approaches" in *Proceedings of TIE, European Conference about Information Technology in Education: a Critical Insight*, Universitat de Barcelona, pg. 271-281.
- Sassi E. and Balzano E. (1993) "Integration of Basic Physics and Mathematics in Secondary School: a Research/experimentation based on Microcomputer Based Laboratory and Modelling" *Proceedings of EPS Conference on The Role of Experiment in Physics Education*, Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov, pg. 12-31.
- Thornton, R.K. (1987): *Tools for Scientific Thinking: Microcomputer Based Laboratories for Physics Teaching*, Phys. Educ. 22 (4) pp.230-238.
- Thornton, R.K., Sokoloff, D.R. (1990) *Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools* Amer. Journ. Phys. 58 (9) pp.858-867.
- Viennot L. (1979) *Raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Hermann, Paris, France
- Viennot L. (1985) *Analysing students' reasoning in science: A pragmatic view of theoretical problems*. *European Journal of Science Education*, 7, pg. 151-162.
- Thornton R.K. (1993) ■