

Saltelli, rimbalzi e altre acrobazie: come coinvolgere gli studenti nello studio delle oscillazioni

Ottavia Foà^{*}, Barbara Pecori⁺, Anna Rambelli^{*}, Giacomo Torzo[§]

^{*}Liceo Scientifico Galilei, Trieste

⁺Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

[§]CNR, INFN e Dipartimento di Fisica, Università di Padova

Abstract

We describe teaching activities on oscillatory motions aiming at investigating the didactic advantages offered by sensors interfaced with graphic calculator in physics teaching. Three kinds of activities were performed: a first performance involving students in the gymnasium was followed by an extra-curricular laboratory course and by a grade 11 lab class. The potentialities of physics investigation starting from the study of phenomena in an informal context are pointed out and the advantages and problems of the use of on line acquisition are discussed.

Introduzione

Per illustrare le possibilità offerte dall'utilizzazione di sensori interfacciati ad una calcolatrice grafica simbolica nell'insegnamento della fisica, descriviamo e discutiamo un'esperienza di insegnamento condotta presso il Liceo "Galilei" di Trieste nell'anno scolastico 1998/99, centrata sullo studio dei moti oscillatori. L'esperienza si è articolata in tre momenti distinti, il primo dei quali è stato un seminario svoltosi nella palestra della scuola; gli altri due sono consistiti in interventi didattici attuati in ambiti diversi: il primo in un corso di laboratorio di fisica tenuto in ore pomeridiane, il secondo all'interno della programmazione curricolare di una classe terza.

Il seminario in palestra

Questa esperienza è iniziata nella palestra della scuola dove un gruppo composto da circa 60 studenti e da una decina di insegnanti ha partecipato ad un seminario dal titolo *Saltelli, rimbalzi e altre acrobazie*, nel corso del quale sono stati osservati e confrontati diversi moti oscillatori, realizzati da alcuni studenti utilizzando attrezzi della palestra (la fune, la scala orizzontale e la trave) e un "seggolino a molla" (costruito per l'occasione), costituito da una piattaforma di legno appesa ad un certo numero di elastici per portapacchi fissati in parallelo a un gancio.

Obiettivo del seminario era stimolare la capacità di osservazione di fenomeni che appartengono al quotidiano, e di illustrare come i modi di descrizione tipici della fisica permettono di individuare le caratteristiche che possono accomunare o differenziare i fenomeni osservati.

Un primo confronto ha riguardato il moto di uno studente che dondolava appeso alla fune e il moto dello stesso studente che oscillava sul "seggolino a molla" (Figura 1).



Figura 1: Il pendolo e l'oscillatore massa-molla in palestra

Lo studio di questi moti, così come quello degli altri considerati nel seminario, è stato effettuato mediante un sistema di acquisizione on-line, composto da un sensore di distanza collegato a una calcolatrice grafica Texas TI-92 mediante l'interfaccia CBL¹. Le videate della calcolatrice sono state proiettate su uno schermo per permettere a tutti i partecipanti di seguire le fasi dell'analisi dei dati sperimentali.

L'osservazione dei grafici di distanza, velocità, accelerazione in funzione del tempo, ottenuti ponendo il sensore in un caso di fianco allo studente appeso alla fune e nell'altro sotto il seggiolino (appeso agli elastici) su cui era *posto* lo studente, ha messo in evidenza lo stesso tipo di andamento delle variabili $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ in entrambi i moti, nonostante il secondo tipo di moto risultasse chiaramente molto più smorzato (Figura 2). In entrambi i casi utilizzando i grafici $x(t)$ è stato controllato l'isocronismo delle oscillazioni attraverso una misura del periodo corrispondente ad oscillazioni successive.

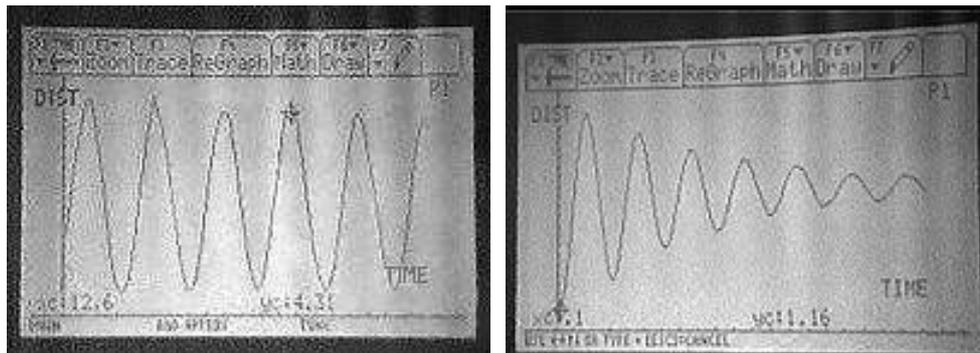


Figura 2: Grafici $x(t)$ per la fune e per gli elastici (come apparivano sulla parete della palestra)

Successivamente, facendo oscillare studenti di masse diverse, è stata messa in evidenza la diversa dipendenza del periodo dalla massa nei due moti.

¹ Peculiare di questo sistema di acquisizione on-line è la sua "portabilità", legata alle dimensioni ridotte, alla completa autoalimentazione e alla possibilità di proiettare lo schermo della calcolatrice su una parete dell'aula mediante un data display, anch'esso autoalimentato, e una lavagna luminosa.

Uno studente di massa circa doppia del precedente appeso alla fune oscilla con lo stesso periodo, mentre il periodo cambia se si fa variare la distribuzione della massa (studente rannicchiato oppure no).

Per quanto riguarda le oscillazioni di uno studente sul seggiolino appeso agli elastici, si è osservato invece che il periodo varia al variare della massa dello studente, mentre non dipende dalla distribuzione della massa. E' stato inoltre evidenziato come sia possibile variare il periodo, a parità di massa, variando il numero di elastici a cui è appeso il seggiolino.

I due moti precedenti sono stati poi confrontati con quello di una altalena costituita dalla scala orizzontale appoggiata sulla trave (altalena a doppio fulcro) e fatta oscillare prima scarica e poi con due studenti di massa uguale seduti ciascuno ad una estremità (Figura 3).

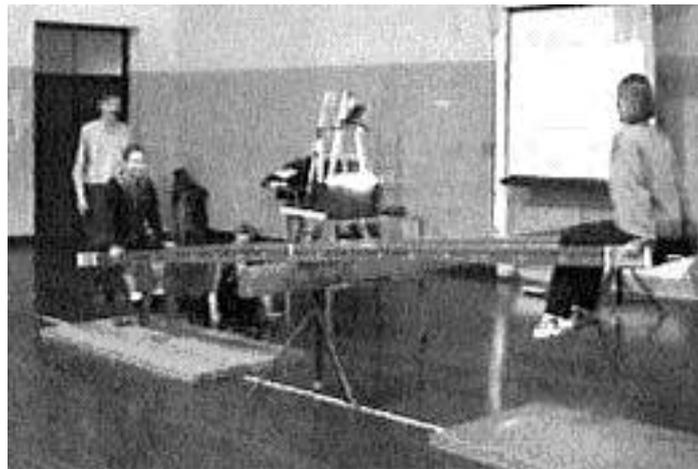


Figura 3: l'altalena in palestra

Una prima osservazione “ad occhio” e “ad orecchio” del moto dell'altalena scarica ha permesso di rilevare che, contrariamente ai casi precedenti, il periodo di oscillazione diminuisce al diminuire dell'ampiezza. Ponendo poi il sensore sotto una delle estremità dell'altalena sono stati ottenuti i corrispondenti grafici di $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$. Il grafico $x(t)$ sembra a prima vista molto simile ai precedenti, ma i grafici di $v(t)$ e $a(t)$ mostrano che si tratta di un moto di tipo diverso: entrambi mettono bene in evidenza la presenza di una accelerazione costante durante la salita e discesa dell'altalena. La registrazione è iniziata in questo caso con l'estremità dell'altalena alla massima altezza e quindi con un moto di avvicinamento al sensore, perciò la velocità e l'accelerazione nella prima fase sono negative; segue una fase di “inversione del moto” intorno alla posizione di minima distanza, che corrisponde ai picchi di accelerazione positiva, dopodiché l'estremità della scala si allontana dal sensore, e così via.

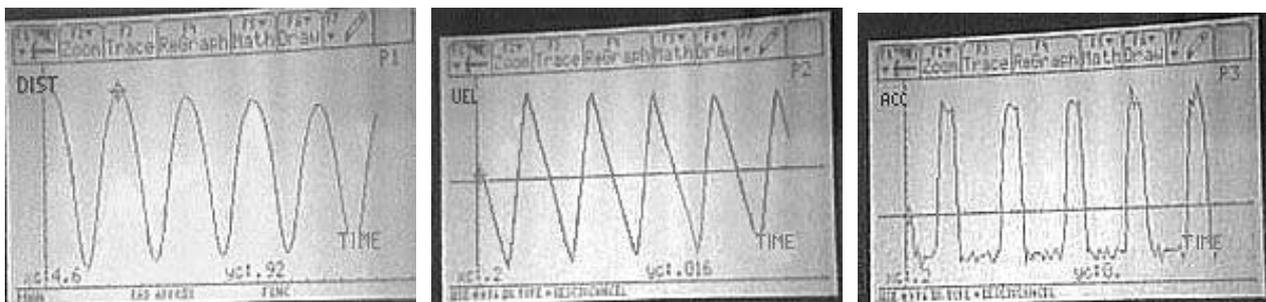


Figura 4: Grafici $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ per l'altalena scarica ottenuti in palestra in “tempo reale”

E' stato infine osservato che quando l'altalena viene caricata si ha un rallentamento del moto, che evidenzia la dipendenza delle caratteristiche del moto dalla distribuzione della massa lungo l'altalena. Studenti e insegnanti hanno reagito positivamente a questa introduzione poco "ortodossa" allo studio dei moti oscillatori. Vedere la fisica al lavoro in un contesto inusuale e addirittura ludico ha incuriosito gli studenti, abituati ad uno studio della fisica sul libro di testo o al più attraverso esperienze sterilizzate in laboratorio. I risultati qualitativi e quantitativi (misura del periodo) dell'indagine svolta in palestra hanno fornito agli insegnanti un esempio della qualità dell'indagine che è possibile condurre mediante un sistema on-line anche in un contesto diverso da quello del laboratorio tradizionale.

Attività extra curricolari

Alcuni aspetti del percorso seguito in palestra sono stati successivamente proposti ad un gruppo di 10 studenti di terza, appartenenti a classi non sperimentali, nell'ambito di un corso di laboratorio di fisica in orario extra curricolare inserito nel progetto di autonomia della scuola.

Già durante i primi due incontri, avvenuti prima del seminario, si era scelto di sfruttare le possibilità offerte dalle nuove tecnologie per offrire agli studenti partecipanti un supporto allo studio della cinematica: era quindi già stato usato un sistema di acquisizione TI-92 + CBL + sensore di moto per studiare (dal punto di vista cinematico) il moto di una pallina da ping pong che rimbalza su un piano orizzontale e il moto di un carrello su un piano inclinato in presenza di attrito non trascurabile.

La reazione positiva degli studenti a queste prime due proposte, la facilità e immediatezza d'uso del sistema e lo stimolo offerto dal seminario in palestra hanno convinto l'insegnante (O. F.) a continuare sulla strada intrapresa.

Nel terzo incontro gli studenti hanno acquisito i dati relativi al moto oscillatorio di una massa appesa verticalmente a una molla, e sono stati guidati a riconoscere l'isocronismo delle oscillazioni e la proporzionalità diretta tra accelerazione e spostamento.

Nell'incontro successivo è stato presentato lo studio del moto di un'asta fatta oscillare su supporti di forma diversa: le oscillazioni di un'asta su un supporto cilindrico hanno infatti caratteristiche molto diverse da quelle che si ottengono facendo oscillare l'asta su un parallelepipedo (cioè considerando un modello su scala ridotta dell'altalena a due fulcri realizzata in palestra). Ponendo il sensore sotto un'estremità dell'asta i ragazzi hanno ottenuto i grafici di posizione, velocità e accelerazione nei due casi e li hanno confrontati tra loro e con quelli incontrati nei precedenti esperimenti.

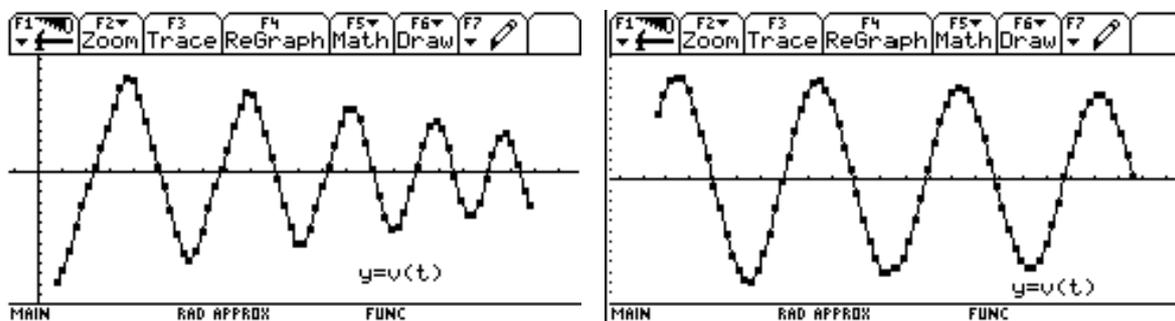


Figura 5: Dati ottenuti in laboratorio: a sinistra $v(t)$ per l'asta su parallelepipedo (l'accelerazione è costante durante la salita e la discesa, il periodo diminuisce al diminuire dell'ampiezza); a destra $v(t)$ per l'asta su supporto cilindrico (la velocità ha un andamento sinusoidale smorzato e il periodo non dipende dall'ampiezza)

Mentre la prima lezione introduttiva era stata svolta quasi interamente dalla cattedra (anche se con la partecipazione attiva degli studenti nella raccolta dei dati sperimentali e nella loro analisi), le successive hanno visto via via sempre meno tempo dedicato alla lezione frontale e gli studenti hanno lavorato in piccoli gruppi secondo le indicazioni dell'insegnante su come montare i dispositivi sperimentali. Nell'ultimo incontro, dedicato allo studio delle oscillazioni del pendolo, è stato lasciato invece agli studenti il compito di decidere come costruire e disporre il dispositivo sperimentale.

Quasi tutto il tempo a loro disposizione è stato impiegato per "costruire i pendoli", e non è rimasto purtroppo il tempo per discutere i dati sperimentali raccolti. D'altra parte si è ritenuto importante fornire agli studenti questa occasione di cimentarsi con l'allestimento completo dell'esperimento, poiché una delle finalità del corso era quella di potenziare le loro abilità operative.

Su questa esperienza ci sembra si possano fare alcune osservazioni e trarre indicazioni per un proficuo uso di attività di questo tipo.

Un limite evidente è stato il poco tempo a disposizione (10 ore in totale) che non ha consentito un approfondimento sia dal punto di vista delle conoscenze teoriche sia da quello della interpretazione dei dati sperimentali. L'impressione ricavata dall'insegnante è che, in queste condizioni, il lavoro non abbia tanto inciso sulla comprensione della cinematica quanto piuttosto sull'atteggiamento dei ragazzi nei confronti della disciplina, permettendo loro di gustare un "assaggio" dei metodi di indagine della fisica, ben diverso dal sapore stantio dello studio sul libro di testo.

La mancanza di verifiche dell'apprendimento, se da un lato ha reso l'atmosfera di lavoro più distesa e giocosa, ha però forse favorito un atteggiamento più superficiale da parte degli studenti, stimolando troppo poco la riflessione individuale sul significato delle attività svolte.

Infine l'utilizzazione di un sistema on-line non sembra aver creato problemi, anzi la "novità" della strumentazione ha probabilmente favorito un atteggiamento anch'esso nuovo nei confronti del lavoro, e tutti i ragazzi hanno acquisito, seppure in misura diversa, una buona confidenza nell'utilizzazione della calcolatrice e del software di elaborazione dati.

In conclusione questa esperienza ha mostrato come sia possibile suscitare la curiosità e quindi motivare la partecipazione degli studenti in una indagine fisica dei fenomeni. Essa può rappresentare però soltanto un primo passo, per quanto fondamentale, di un percorso che richiede tempi più lunghi e una integrazione più solida e articolata fra attività sperimentali e trattazione teorica.

Attività curricolari

L'esperienza iniziata con il seminario è continuata anche in una classe terza sperimentale del P.N.I. che a quel punto aveva già affrontato lo studio dei moti rettilinei, dei moti nel piano e dei tre principi della dinamica. Il primo momento di questa attività è consistito in una lezione sulle oscillazioni armoniche e anarmoniche del pendolo tenuta in laboratorio da due degli autori di questo articolo (B.P. e G.T.), nel corso della quale sono stati ripresi gli argomenti affrontati durante il seminario in palestra, utilizzando in questo caso attrezzature tipiche del laboratorio di fisica e registrando il moto del pendolo anche per grandi valori dell'ampiezza, mediante un sensore di rotazione appositamente realizzato².

² Si tratta di un sensore potenziometrico realizzato da G. Torzo e G. Delfitto e descritto in dettaglio in una raccolta di materiale didattico pubblicata dall'Associazione per la Didattica con le Tecnologie (ADT) in un CDrom, che può essere richiesto a <http://www.adt.diginet.it>

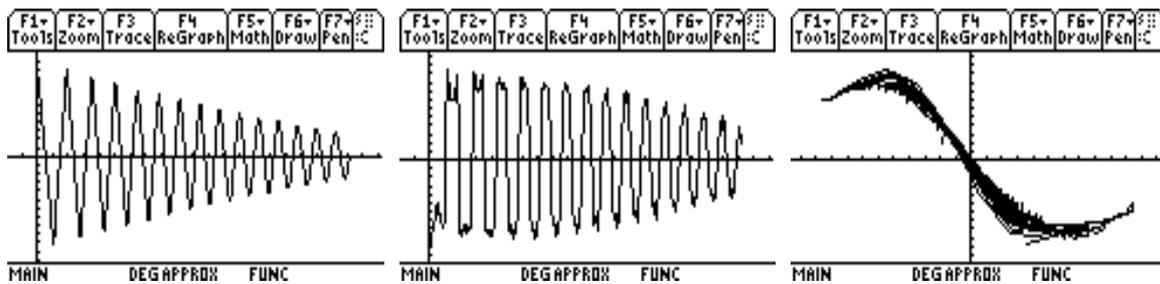


Figura 6: Il moto del pendolo a grandi ampiezze; velocità angolare e accelerazione angolare in funzione del tempo, e accelerazione angolare in funzione dell'angolo. Si nota che $v(t)$ e $a(t)$ si discostano dall'andamento sinusoidale a grandi ampiezze e che l'accelerazione non è proporzionale all'angolo (come nel modello semplificato valido per piccole ampiezze)

L'attività è continuata sotto la guida dell'insegnante (A.R.) in orario curricolare con lo studio, sempre in laboratorio, di altre situazioni che erano state proposte in palestra: l'oscillatore armonico verticale, l'altalena a due fulcri e il pendolo (in regime di piccole oscillazioni).

Le classi di questo corso svolgono l'attività di laboratorio suddivise a gruppi eseguendo direttamente le esperienze e anche in questo caso è stato possibile riproporre lo stesso metodo di lavoro.

Per lo studio dell'oscillatore armonico verticale, è stato utilizzato un sistema composto di un sensore di forza, un accelerometro³ e un sensore di distanza (è stato usato l'accelerometro perché in questo modo si ottengono valori di accelerazione meno rumorosi di quelli ricavati dall'elaborazione dei dati di posizione). Gli studenti hanno avuto la possibilità di confrontare l'andamento di forza, posizione, velocità e accelerazione in funzione del tempo, di dedurre dal grafico posizione/tempo l'isocronismo delle oscillazioni, di interpretare il grafico forza/accelerazione in base al secondo principio della dinamica e di controllare il carattere armonico delle oscillazioni sul grafico forza/spostamento.

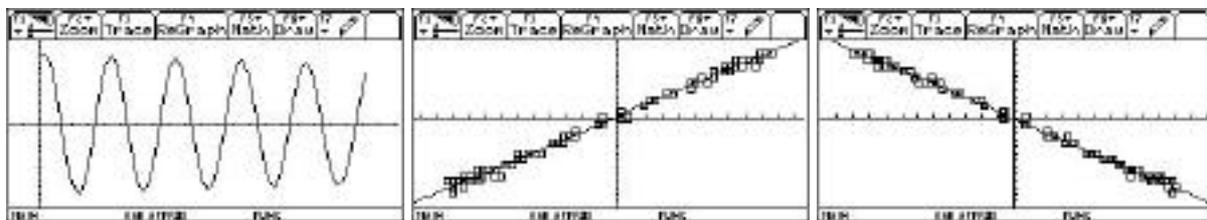


Figura 7: Oscillatore massa-molla; posizione/tempo, forza/accelerazione e forza/spostamento

Infine, variando la massa e utilizzando molle diverse, hanno individuato quali sono i parametri che influenzano il moto dell'oscillatore e ne hanno studiato l'effetto sul periodo di oscillazione.

Successivamente il moto dell'altalena a due fulcri (con e senza l'aggiunta di due masse uguali alle estremità) studiato mediante il sensore di distanza è stato messo a confronto con il moto della pallina che rimbalza (esperienza fatta precedentemente e poi ripresa all'interno di questo percorso) e con l'oscillatore armonico. Gli studenti hanno potuto così constatare che non tutti i moti di oscillazione sono armonici e che per poter individuare le caratteristiche di un moto oscillatorio è particolarmente utile una analisi del grafico velocità/tempo, che permette di "vedere" immediatamente l'armonicità o meno del moto studiato. Osservando il grafico posizione/tempo hanno poi controllato che le oscillazioni non sono isocrone, evidenza già emersa nell'osservazione diretta del fenomeno.

³ Si tratta di un sensore il cui funzionamento è descritto in dettaglio in una nota di G. Torzo e G. Delfitto (Cervia 1998) pubblicata nel CDrom ADT

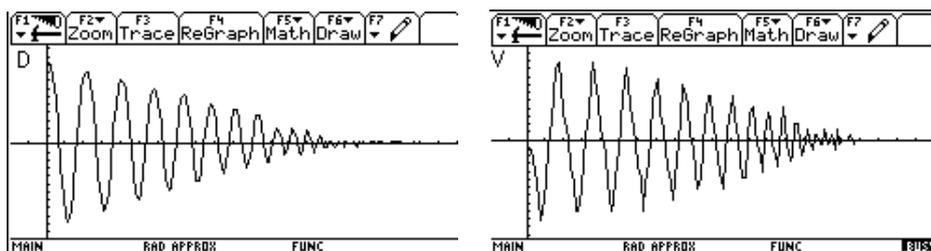
Il moto del pendolo è stato studiato, per piccole oscillazioni, mediante un sensore di distanza posto lateralmente rispetto alla massa che oscilla. Anche in questo caso gli studenti hanno ottenuto le informazioni necessarie per verificare l'isocronismo delle piccole oscillazioni; inoltre dall'elaborazione dei dati hanno dedotto che il moto in queste condizioni può essere considerato armonico. Infine, cambiando la massa del pendolo o la sua distribuzione lungo l'asta che la sostiene, hanno individuato i parametri che influenzano il periodo di oscillazione.

Al termine di ogni esperienza gli studenti, utilizzando il programma TI Graph Link⁴, hanno avuto la possibilità di stampare i grafici ottenuti e di inserirli nel testo delle relazioni che sono state stilate seguendo la traccia di lavoro proposta dall'insegnante.

A conclusione del percorso è stato somministrato un test di verifica costituito da otto domande che si riferivano in modo specifico all'analisi dei dati sperimentali. I risultati sono stati mediamente più che sufficienti.

Come esempio riportiamo uno dei quesiti del test di verifica:

I seguenti grafici rappresentano la variazione della posizione e della velocità nel tempo di uno dei due estremi di un'altalena a doppio fulcro.



- Da quali elementi deduci che non si tratta di un moto armonico?*
- Che tipo di moto ha il punto considerato quando si trova al di sopra o al di sotto della posizione di equilibrio?*
- Evidenzia nei grafici posizione-tempo e velocità-tempo la zona che si riferisce a una stessa mezza oscillazione.*

Nel complesso si è trattato di una esperienza decisamente interessante, della quale vorremmo sottolineare sia gli aspetti positivi sia quelli più problematici.

Aspetti positivi

- E' da sottolineare il grado di coinvolgimento degli studenti, soprattutto di alcuni tra coloro che normalmente incontrano maggiori difficoltà di apprendimento o sono meno motivati allo studio.
- La trattazione delle oscillazioni dal punto di vista cinematico e dinamico a questo punto dello svolgimento del programma, ha offerto la possibilità di consolidare e approfondire tutti gli

⁴ Si tratta di un programma che permette di connettere la calcolatrice ad un PC e quindi di leggere i file in essa contenuti (sia dati che programmi) e di esportarli in altri programmi, nonché di copiare le schermate della calcolatrice in un formato esportabile in un file di testo. E' disponibile gratuitamente presso <http://www.ti.com/calc/docs/cbl.htm>.

aspetti concettuali più importanti introdotti fino a quel momento nella classe dall'inizio dello studio della meccanica.

- Le modalità di lavoro utilizzate scongiurano il pericolo di un apprendimento mnemonico poiché introducono ad un modo di studiare che si basa su una costruzione logica per passi successivi e richiede una rigorosa coerenza di ragionamento.

Aspetti problematici

- Per poter svolgere un percorso di questo tipo gli studenti devono già possedere una certa familiarità con il sistema di acquisizione dati in modo da potersi concentrare soprattutto sugli aspetti concettuali del lavoro.
- Occorre prevedere un tempo adeguato per la discussione e la risistemazione dei nodi concettuali emersi dall'attività sperimentale, per evitare che l'analisi degli aspetti particolari porti ad una dispersione e ad una frammentazione delle idee e per favorire invece una sintesi e una generalizzazione dei concetti..
- Non è da trascurare l'opportunità di verifiche in itinere (interrogazioni orali e correzione delle relazioni di laboratorio) per evitare che gli studenti sottovalutino le difficoltà di una attività svolta interamente in laboratorio e siano stimolati ad una riflessione personale sul loro lavoro.
- Il fatto di non avere un testo di riferimento può essere di stimolo ad una partecipazione attiva alle attività svolte in classe, può però rappresentare una difficoltà per chi è assente in qualche momento del percorso; inoltre un testo scritto facilita la riflessione personale sugli aspetti concettuali del lavoro, aspetto tutt'altro che trascurabile per garantire una reale assimilazione.

Riflessioni conclusive

In conclusione ci sembra di poter affermare che i risultati di entrambi i tipi di attività, tenendo conto delle differenze che le hanno caratterizzate, abbiano confermato la validità delle scelte di partenza.

E' importante che gli studenti colgano della fisica la sua specificità come modo di "guardare" ai fenomeni naturali, che si manifesta nel modo in cui si individuano i problemi da affrontare, negli strumenti di rappresentazione ed interpretazione e, più in generale, nei metodi di indagine che essa utilizza.

Un percorso che parta dall'indagine di fenomeni in un contesto non sterilizzato (come quello della palestra), favorendo un confronto fra la "percezione naturale" del fenomeno e la sua descrizione in termini fisici, ci sembra particolarmente utile per orientare gli studenti in questa direzione. L'approfondimento successivo dei problemi sollevati in questa prima fase, attuato mediante la progettazione e la realizzazione di veri e propri esperimenti di laboratorio, può allora diventare un esempio significativo dei percorsi conoscitivi tipici dell'indagine fisica.

L'attuazione di tale percorso mediante l'uso di un sistema on-line di acquisizione dati appare favorire il processo di apprendimento degli studenti in particolare in quanto consente di ottenere immediatamente una descrizione complessiva del fenomeno nel suo andamento temporale e di rielaborare agevolmente i dati raccolti in modo da ottenere diverse rappresentazioni dello stesso fenomeno, più lontane dalla percezione naturale, ma potenti e illuminanti dal punto di vista disciplinare.

L'introduzione di tali strumenti di indagine nel percorso di insegnamento non è però banale: essa richiede un attento riesame degli strumenti didattici necessari per sostenere l'apprendimento degli studenti e un ripensamento più generale dell'approccio all'insegnamento della fisica, al fine di sfruttare al meglio le potenzialità di un sistema che fa della rappresentazione grafica lo strumento principale attraverso il quale si sollevano, si affrontano e si risolvono i problemi caratteristici dell'indagine fisica sui fenomeni.