

Convegno Nazionale  
**Matematica senza Frontiere**  
Lecce, 5-8 marzo 2003

## Un mondo di esperienze alla portata dei nostri sensori

Mirella Rafanelli  
Liceo Scientifico "Vanini" - Casarano (Le)

### 1 Introduzione

Oggetto di questa comunicazione è l'esperienza derivata dall'uso di sistemi di acquisizione e analisi di dati in tempo reale RTL (Real Time Laboratory) in un laboratorio scolastico. Il nostro Liceo, infatti, è stato attrezzato 5 anni fa con apparecchiature costituite da calcolatrici grafiche TI92, interfacce CBL (Calculator Based Laboratory) e sensori di moto, suono, luminosità, temperatura, campo magnetico, tensione, pressione, in quantità adeguata a fare esperienze sia dalla cattedra che a gruppi. Si è fatto uso, inoltre, del software necessario per mettere in comunicazione la calcolatrice con il CBL e la calcolatrice con il PC. L'aver usato le nostre apparecchiature in parecchie classi e in diverse situazioni, ci consente di tirare delle conclusioni sui vantaggi e gli inconvenienti di questo tipo di attività di laboratorio rispetto a quello tradizionale. Sinteticamente, si può incorrere in rischi di:

- dipendenza o perdita di confidenza con mezzi più tradizionali;
- confusione tra fine e mezzo: l'uso dell'apparecchiatura è spesso così coinvolgente da far perdere di vista l'obiettivo principale;
- la difficoltà di distinguere tra i dati significativi e quelli accessori che l'attrezzatura registra, naturalmente, con grande dettaglio e in modo del tutto imparziale;
- disillusione, dopo un iniziale entusiasmo, per l'inattesa difficoltà nell'effettuare certe misure o interpretare certi dati.

A questi fanno riscontro notevoli vantaggi:

- grande varietà di esperienze;
- sostanziale identità di uso dei vari sensori;
- rapidità di esecuzione e immediatezza della visualizzazione;
- versatilità nella elaborazione dei dati e modellizzazione;
- consuetudine dei ragazzi all'uso di dispositivi analoghi.

Un elenco delle possibilità offerte dai dispositivi di acquisizione è praticamente impossibile, ma si può operare una distinzione tra le varie esperienze seguendo vari criteri.

## 2 Esperienze e curriculum

- Esperienze standard su argomenti curriculari.

Esperienze come la verifica della legge di Boyle (e dei gas in generale), la carica e scarica del condensatore, lo studio di moti di vario genere, le curve di riscaldamento-raffreddamento, misure sulla forza di attrito statico ecc., si realizzano abbastanza facilmente anche con attrezzature tradizionali. L'attrezzatura RTL consente di ripetere ogni rilevamento con grande facilità e con un'abbondanza di dettagli che consentono di rintracciare regolarità e "effetti secondari" altrimenti inavvertibili.

- Esperienze non standard su argomenti curriculari.

Sono esperienze che trovano facilmente posto in un normale curriculum di fisica perché non presentano particolari difficoltà concettuali, ma che sarebbero ben difficili da realizzare senza RTL. Ad esempio, con un microfono come sensore si può misurare la velocità del suono o visualizzare la "forma" di una qualunque successione di suoni. Con un sonar si possono studiare i grafici di vari moti, compreso quello di una palla che rimbalza sul pavimento o di un oggetto che oscilla attaccato ad una molla.

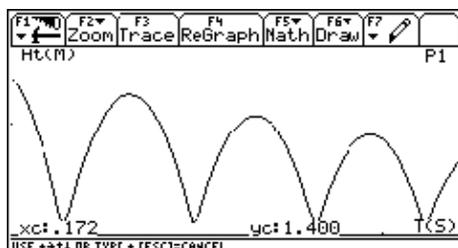


Figura 1:

La possibilità di attivare automaticamente (per mezzo di un comando "Trigger") l'inizio dell'acquisizione di dati da parte di una sonda di tensione consente di visualizzare fenomeni di brevissima durata come i transienti nei circuiti RL, extratensioni di chiusura o apertura di circuiti, la tensione indotta in una bobina interessata dal moto di un magnete permanente (il magnete che cade nella bobina)

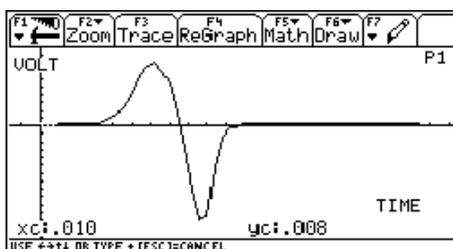


Figura 2:

o accoppiata ad un'altra bobina percorsa da corrente variabile. Una sonda Hall collegata al CBL consente di studiare l'andamento del campo magnetico in prossimità di conduttori percorsi da corrente, e così via.

- Esperienze su argomenti non curricolari

La facilità di esecuzione di certe esperienze può incoraggiare l'introduzione di argomenti non strettamente curricolari, come i battimenti di suoni emessi da due diapason di frequenze vicine, le caratteristiche tensione corrente di diodi o di lampadine, lo sfasamento tra corrente e campo magnetico in una bobina con nucleo di ferro...

- Esperienze occasionali

Gli strumenti di misura di cui si parla sono portatili e di ingombro minimo perciò possono essere usati con fantasia nelle situazioni più varie. Negli scambi tra colleghi o nella stampa dell'associazione ADT si riferiscono rilevamenti su fenomeni che non si possono ripetere in laboratorio: le variazioni di luminosità e temperatura durante un'eclisse, le variazioni di temperatura in aria o sotto il manto di neve durante una nevicata, l'accelerazione di un aereo durante il decollo, le variazioni di pressione durante una gita in montagna, il canto di un grillo.

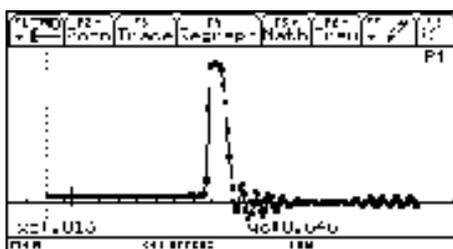


Figura 3:

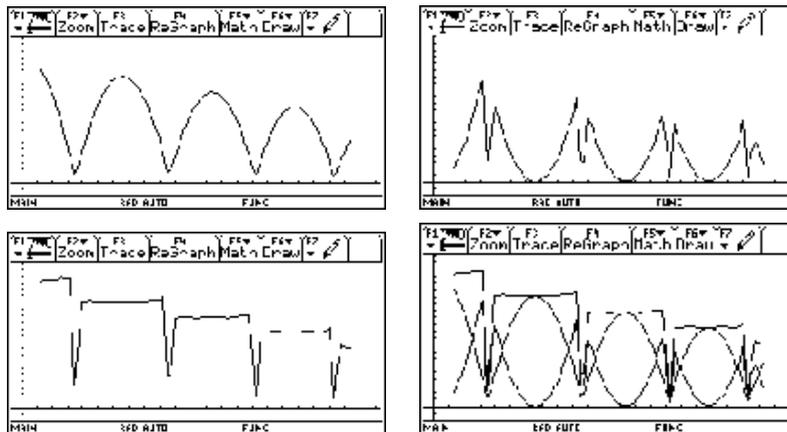
### 3 Esperienze e formalismo matematico

- Esperienze quantitative

Sono quelle in cui i dati rilevati e l'analisi relativa consentono di misurare una grandezza (la velocità del suono, l'accelerazione di gravità, la frequenza di un suono o dell'oscillazione di una molla) o di verificare una legge (la legge di Boyle, l'inverso del quadrato della distanza nell'illuminazione di una sorgente puntiforme, la legge di Ohm, l'andamento esponenziale del raffreddamento).

- Esperienze semiquantitative

In certi casi non conta tanto il risultato numerico a cui si può pervenire, ma è importante ricercare regolarità o operare confronti tra dati o grafici. Come esempio riportiamo in successione i grafici dell'energia calcolata elaborando i dati relativi alla palla che rimbalza. Energia potenziale ed energia cinetica rispetto al tempo sono prima riportate singolarmente, poi sommate per mostrare che tra un rimbalzo e l'altro l'energia meccanica si conserva; infine i tre grafici sono sovrapposti per confrontare meglio, istante per istante qual è il contributo delle varie forme di energia nel bilancio complessivo.



- Esperienze solo qualitative

Il fatto che talvolta ci si limita a visualizzare e riflettere sui grafici, perché è troppo difficile ricavare dati quantitativamente apprezzabili da certe esperienze, non ne diminuisce l'importanza. Si può vedere, ad esempio, l'influenza dell'evaporazione sul raffreddamento di un liquido, o della forma del nucleo sulla costante tempo in un circuito LR, o della maggiore o minore rapidità di compressione dell'aria in una siringa sulla variazione di pressione (V. in seguito)

## 4 Esperienze per quali obiettivi

Infine possiamo interrogarci su quali sono gli obiettivi che ci proponiamo nell'eseguire le varie esperienze. Ci limitiamo ad elencarli e ci soffermiamo solo su quello riportato per ultimo che ci sembra illustrare meglio una delle opportunità più interessanti offerte dalle nuove tecnologie. Il lavoro di laboratorio può servire per:

- apprezzare la portata dei nostri modelli (e ricavarne una gratificazione);
- interrogarci sui limiti dei nostri modelli (e acquistare senso critico);
- estendere le nostre conoscenze;
- affrontare problemi che richiederebbero conoscenze matematiche che non possediamo.

## 5 Avvicinare mondo teorico e mondo reale

L'insegnamento della fisica procede attraverso una serie di semplificazioni e schematizzazioni il cui "prodotto finale" sembra talvolta più una branca della matematica che una scienza sperimentale. Il lavoro di sintesi e di astrazione è indispensabile per costruire un quadro teorico coerente e unitario che spieghi i fenomeni fisici e fornisca previsioni e sviluppi tecnologici. Naturalmente tutto funziona finché ci si limita a risolvere problemi costruiti tenendo presente questo mondo ideale. Quando, però, si cerca di ritrovare questo mondo nella realtà, anche in quella piuttosto "addomesticata" di un laboratorio di fisica, le attese sono spesso deluse. La possibilità offerta dalle nuove tecnologie di eseguire e ripetere misure in poco tempo su uno stesso fenomeno, di visualizzare immediatamente i grafici relativi e di elaborare i dati può contribuire ad appianare le differenze tra teoria e mondo reale. Riportiamo tre esempi scelti tra i tanti possibili.

## 6 I esempio: per sollevare un peso... La forza può essere costante?

Per determinare il lavoro fatto nel sollevamento di un corpo i manuali di fisica propongono grafici del tipo riportato in Fig. 4.



Figura 4:

In ordinata è riportata la forza  $F = mg$  esercitata sul corpo, in ascissa il dislivello tra l'altezza raggiunta e la posizione di partenza, l'area del rettangolo equivale al lavoro fatto sul corpo. Ma non sempre si sottolinea adeguatamente che la forza durante il sollevamento è costante solo se il moto è uniforme; perciò per un corpo inizialmente fermo il grafico riportato ha senso solo se la velocità rimane costantemente vicina a zero e il sollevamento avviene in un tempo infinitamente lungo. Né ci si può riferire al fatto che il campo gravitazionale è conservativo, perché di solito l'esperienza descritta serve proprio per introdurre questo concetto...

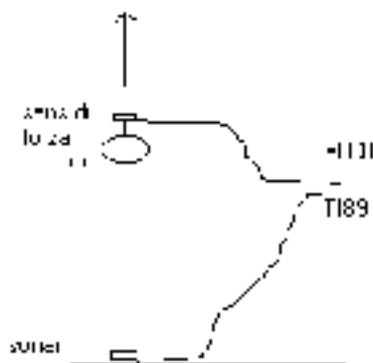


Figura 5:

Un sensore di forza e un sonar, usati in questo caso con un'interfaccia CBL2 (calculator ased laboaratory) e una calcolatrice grafica TI 89, possono aiutare a capire quello che avviene durante un normale sollevamento (Fig.5). Il software usato per rilevare e salvare i dati sulla calcolatrice è Physics della Vernier, modificato in una versione ADT-MAD del 2002. Forza e altezza vengono rilevate contemporaneamente e riportate in grafico una in funzione dell'altra. Sul medesimo grafico (Fig.6) è rappresentata anche la forza costante.

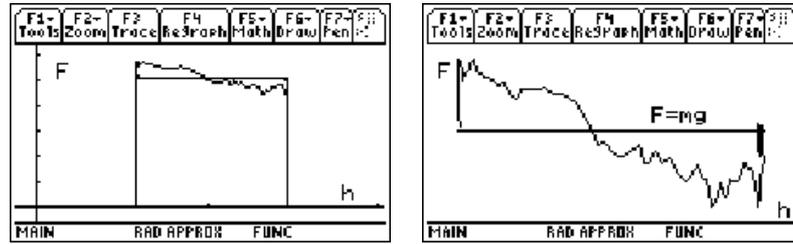


Figura 6

La forza ha un andamento irregolare, ma facile da interpretare:

- nel primo tratto la forza esercitata è maggiore del peso dell'oggetto sollevato; infatti deve tenere sollevato l'oggetto e imprimergli una accelerazione;
- nel secondo tratto l'oggetto rallenta fino a fermarsi, perciò la forza è minore del peso;
- la forza media è uguale al peso dell'oggetto;

Usando opportunamente il foglio elettronico e gli strumenti di calcolo della calcolatrice si può costruire il grafico del lavoro in funzione della posizione e verificare che il lavoro speso complessivamente nel sollevare l'oggetto è uguale a quello che si avrebbe con una forza costantemente pari al peso.

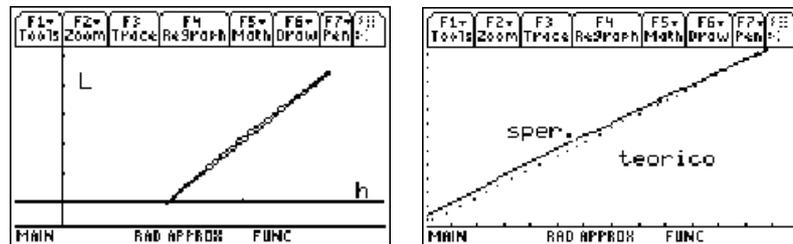


Figura 7

I due grafici sovrapposti risultano inizialmente indistinguibili, nella figura successiva invece, dove si vede l'ultimo tratto ingrandito, si nota che il lavoro nel sollevamento reale (linea continua) è maggiore a metà altezza rispetto al grafico teorico (linea a punti): infatti l'oggetto sollevato è in movimento, perciò ha acquistato sia energia potenziale che cinetica, mentre alla fine del sollevamento è fermo e il lavoro coincide con quello previsto teoricamente.

## 7 II esempio: una compressione infinitamente lenta !?

Un sensore di pressione, applicato al foro di uscita di una siringa piena d'aria, permette di rilevare i valori della pressione del gas in funzione del

suo volume; i punti del grafico  $P/V$  ottenuto sulla calcolatrice appaiono in buon accordo con le previsioni teoriche della legge di Boyle.

Con materiale tradizionale da laboratorio si impiega più tempo, ma si ottiene abbastanza bene lo stesso risultato. L'attrezzatura on-line, in più, ci consente di verificare che quella che stiamo realizzando è veramente una isoterma. Dalla teoria sappiamo che una "vera" isoterma richiederebbe compressioni o dilatazioni molto lente, in modo che il gas sia sempre in equilibrio termico con l'ambiente circostante. Ma una compressione lentissima si accorda male con i tempi del laboratorio scolastico, perciò si resta con il dubbio di fare qualcosa di poco corretto.

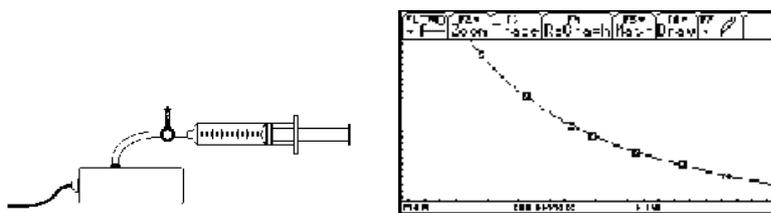


Figura 8

Questo aspetto della questione può essere chiarito confrontando i grafici di due acquisizioni della pressione in funzione del tempo, ottenuti l'uno con una compressione improvvisa, l'altro con una più graduale (Fig.9).

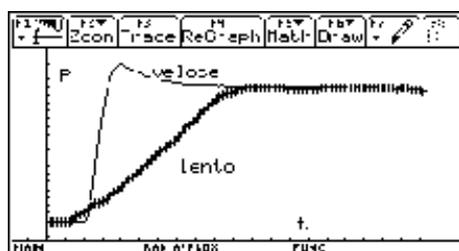


Figura 9

In tutti e due i casi il tempo complessivo è di 5s e i volumi iniziale e finale sono gli stessi. Il risultato è del tutto rassicurante: l'effetto della maggiore rapidità di compressione si fa sentire, è vero, ma solo per una brevissima frazione di tempo, poi si ristabilisce immediatamente l'equilibrio termico richiesto dalla legge di Boyle.

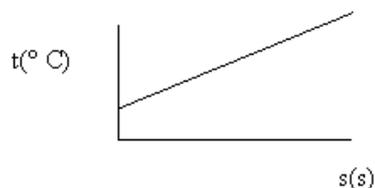
## 8 III esempio: Il riscaldamento

Sui libri si trovano spesso situazioni del genere:

*in figura è riportato l'andamento della temperatura di una certa massa di*

acqua esposta ad una fonte di calore.

Data la massa d'acqua determinare la potenza della sorgente di calore.



O altri problemi analoghi.

Sembra facile...perché non provare a misurare la potenza di un fornellino, oppure a ricavare il calore specifico di un liquido o la costante di Joule con una resistenza nota?

Con un mini-riscaldatore da laboratorio da 13W e 22Ohm, immerso successivamente in tre recipienti con uguali masse di acqua e alimentato con tre diverse tensioni si vede che la realtà è ben diversa.

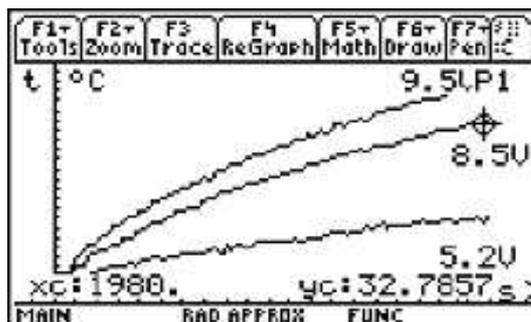


Figura 10

In tutti e tre i casi l'aumento di temperatura è tutt'altro che lineare, in quanto diminuisce con l'aumentare della temperatura stessa, fino a raggiungere una temperatura limite diversa per ogni diverso valore di tensione. Il fenomeno non è elementare come quello previsto dal modello e non permette di calcolare facilmente l'equivalente in Joule di una Caloria, ma non è per questo meno interessante. Secondo il livello di studio in cui si inserisce l'esperienza, si potranno descrivere qualitativamente il trasferimento di calore tra resistenza e acqua e quello tra acqua e ambiente circostante, oppure si potrà affrontare la questione con le funzioni esponenziali. Una modellizzazione in questo senso si ottiene facilmente con un programma di elaborazione dati interno alla calcolatrice, oppure su PC.

Nell'immagine riportata, il modello esponenziale è stato elaborato con il programma Graphical Analysis della Venier.

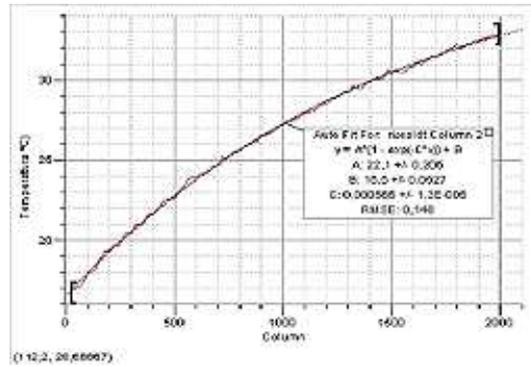


Figura 11

Dal confronto tra le equazioni relative a tutti e tre i grafici emergono dati sui quali si possono far riflettere i ragazzi, anche sotto forma di questionario: che cosa rappresenta B e perché è più o meno lo stesso in tutti e tre i casi? Quale è la temperatura di equilibrio prevista dal nostro modello nei tre casi? Perché il valore di C aumenta all'aumentare della tensione di alimentazione?

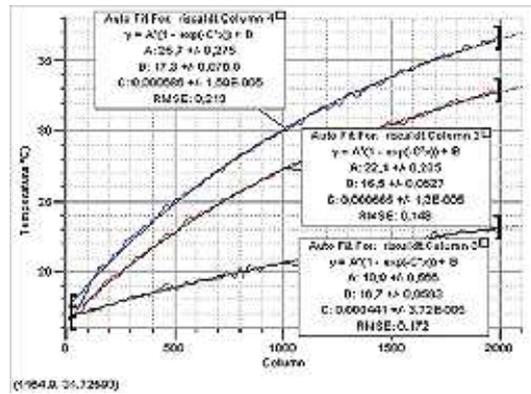


Figura 12

Queste domande aprono un altro argomento che sarebbe opportuno discutere quando si intendono introdurre le nuove tecnologie nella scuola: come valutare l'efficacia del lavoro fatto?

In quali sedi e con quali mezzi?

E' un problema poco esplorato, ma con prospettive interessanti.