

L'on-line “portabile” nello studio degli oscillatori

Barbara Pecori* e Giacomo Torzo**

*Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

**Dipartimento di Fisica, Università di Padova

Premessa

Uno degli argomenti in didattica della fisica che possono trarre un grande vantaggio dall'essere studiati con sistemi di acquisizione on-line (e in particolare con il sistema portatile costituito da sensori + interfaccia CBL + calcolatrice grafica) è la meccanica dei moti oscillatori.

Questo perché in un moto oscillatorio è assai importante cogliere *l'evoluzione temporale* del fenomeno, e il poter analizzare i grafici di posizione, velocità e accelerazione verso il tempo spesso permette una valutazione immediata delle caratteristiche essenziali del particolare tipo di oscillazione.

Anche l'analisi dei dati sperimentali in rappresentazioni grafiche meno diffuse in ambito scolastico (velocità/posizione, accelerazione/posizione, forza/accelerazione, forza/posizione...) può offrire spunti preziosi per approfondire nello studente la comprensione del fenomeno in esame. Per illustrare le potenzialità di una analisi qualitativa dei dati, prenderemo rapidamente in esame tre sistemi oscillanti: due fanno parte del normale programma dei corsi introduttivi di meccanica (oscillatore massa-molla e pendolo) mentre il terzo (la macchina di Atwood con una massa in acqua) è piuttosto inusuale ma si presta bene ad illustrare la transizione dal comportamento *anarmonico* a quello *armonico*, un aspetto che nel tradizionale laboratorio viene di solito trascurato. Nel caso dell'oscillatore massa-molla, se la molla obbedisce alla legge di Hooke, il sistema è sempre rigorosamente *armonico* (forza di richiamo proporzionale allo spostamento), nel caso dell'oscillatore di Atwood il moto *anarmonico* diventa *armonico* alle piccole ampiezze (la forza di richiamo data dalla spinta di Archimede e dal campo gravitazionale, passa da un valore costante ad uno proporzionale allo spostamento quando il corpo resta sempre parzialmente immerso), mentre nel caso del pendolo (oscillatore *intrinsecamente anarmonico*) gli effetti di anarmonicità *possono essere trascurati* a piccole ampiezze.

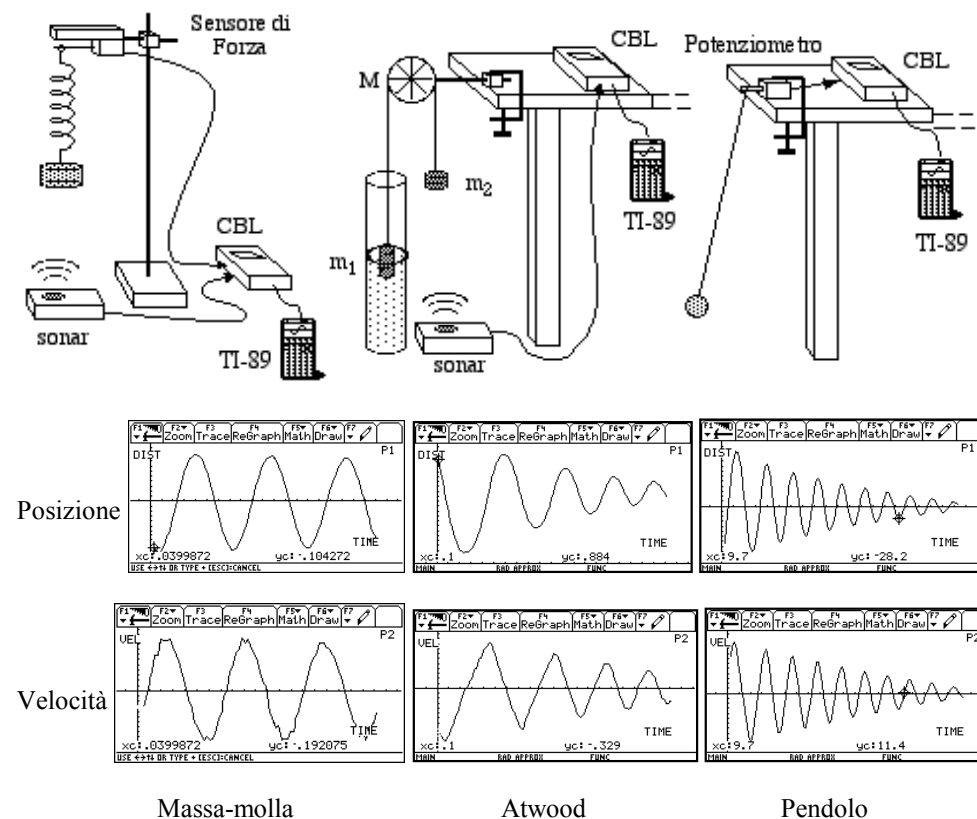
Un esempio di confronto qualitativo fra oscillatori

Un moto *intrinsecamente armonico* può essere generato solo in un sistema in cui la forza di richiamo sia effettivamente *linearmente dipendente dalla posizione* del corpo che oscilla, come nel caso di un corpo attaccato ad una molla lineare, dove la gravità svolge un ruolo solo nella determinazione della posizione del punto di equilibrio.

Un caso particolare è quello della *spinta di Archimede* (che pure è legata alla presenza del campo gravitazionale) che, dipendendo linearmente dal volume del corpo immerso, può generare una forza proporzionale allo spostamento, e quindi un moto intrinsecamente armonico, purché il corpo che oscilla immergendosi più o meno nel liquido abbia *sezione costante* (cilindro o parallelepipedo).

Acquisendo dati¹ sulla posizione del corpo che oscilla mediante un sistema on-line, possiamo effettuare immediatamente un confronto qualitativo fra i moti di diversi sistemi.

I grafici $x(t)$ si assomigliano abbastanza: a prima vista sembrano tutti delle sinusoidi più o meno smorzate. Dai grafici $v(t)$ risulta invece evidente la differenza fra i tre oscillatori, e la differenza si nota ancor più nei grafici $a(t)$.



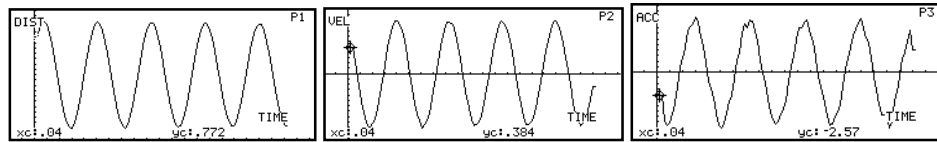
Per l'oscillatore armonico (massa-molla) l'andamento della velocità segue quello della posizione, solo con uno sfasamento di 90° , invece per l'oscillatore di Atwood il grafico della velocità, a grandi ampiezze, è composto da segmenti rettilinei, rivelando subito che in ciascun tratto il moto è uniformemente accelerato, con accelerazione che cambia segno ogni semiperiodo, mentre per piccole oscillazioni assomiglia a quello della molla. Anche l'oscillazione a grande ampiezza di un pendolo è tutt'altro che sinusoidale: non lo si nota nel grafico $x(t)$, ma lo si vede bene in quello di $v(t)$.

E' possibile quindi, a partire da questa prima analisi, mettere in evidenza come l'*approssimazione armonica a piccole ampiezze* sia, da un lato, estremamente utile per semplificare la trattazione matematica, ma dall'altro inadeguata a spiegare dettagliatamente il comportamento di alcuni fenomeni.

La caratteristica di armonicità implica l'*isocronismo*. Una analisi quantitativa dei grafici permette di realizzare facilmente uno studio dell'andamento del periodo in funzione dell'ampiezza.

L'oscillatore verticale massa-molla.

Il materiale necessario per uno studio completo dell'oscillatore verticale massa-molla consiste in: sensore di distanza (Sonar), sensore di forza, una serie di masse componibili con gancio, una serie di molle, morsetto per fissare il sensore di forza al tavolo di lavoro. Appesa una molla al sensore di forza, e la massa alla molla, si azzerano i sensori all'equilibrio e si avvia l'oscillazione: si ottengono subito le registrazioni di forza, posizione, velocità e accelerazione verso il tempo.



I grafici $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$, $f(t)$, hanno andamento chiaramente sinusoidale, come ci si può attendere da un moto armonico. Si può mostrare nell'ambiente DataMatrix Editor (foglio elettronico residente nella calcolatrice grafica) come costruire funzioni interpolanti le varie curve, discutere gli sfasamenti, ecc. Muovendo il cursore sul grafico si possono eseguire misure del periodo ed osservare che non dipende dall'ampiezza, come ci si attende da un oscillatore armonico (isocronismo). Il grafico $f(x)$ risulta lineare, e dalla pendenza si può calcolare la costante elastica della molla. Il grafico $a(x)$ risulta lineare, e una volta nota la costante elastica, si può ricavare dalla pendenza la massa inerziale m_i di un corpo incognito e valutare l'influenza della massa della molla.

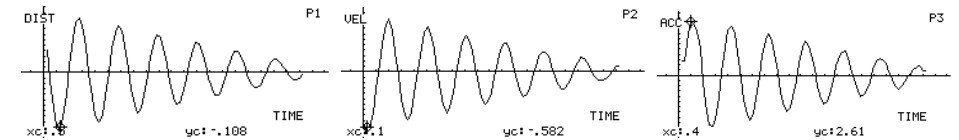
Si può ripetere l'esperimento con una massa diversa e poi con una molla diversa per evidenziare la dipendenza del periodo da $\sqrt{m/k}$.

Il pendolo.

Il materiale necessario per realizzare l'esperimento è costituito da: sensore di rotazione potenziometrico, un ferro da calza, tre palline di gomma piena di cui una forata, nastro adesivo, morsetto.

Si infila il ferro da calza nel foro praticato nell'asse del potenziometro e lo si fissa con nastro adesivo. Si infila la pallina di gomma forata sulla punta del ferro. Si avvia il programma di acquisizione e si azzerano i sensori; si avviano oscillazione e acquisizione prima a grandi angoli ($\approx \pm 360^\circ$) e poi a piccoli angoli ($\approx \pm 30^\circ$). Si ripete attaccando altre due palline alla prima con nastro adesivo alla stessa distanza dal fulcro. Si ripete spostando la pallina ad una minore distanza dal fulcro.

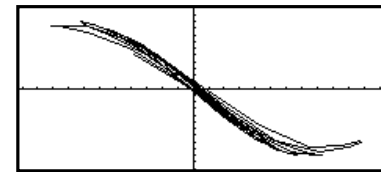
PICCOLE OSCILLAZIONI



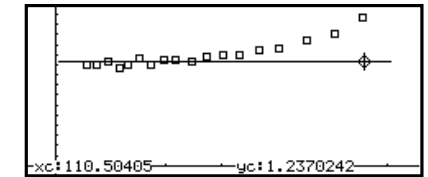
Nello studio di piccole oscillazioni i grafici $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$ posizione, velocità e accelerazione verso il tempo hanno andamento sinusoidale, come ci si può attendere da un moto armonico. Da misure del periodo a varie ampiezze si osserva che il moto è isocrono. Si può controllare che il periodo non dipende dalla massa e invece dipende dalla sua distanza dal centro di oscillazione.

Si può analizzare il modello dinamico e confrontare il periodo sperimentale [ricavato dai grafici verso il tempo] con il valore atteso $T=2\pi\sqrt{L/g}$.

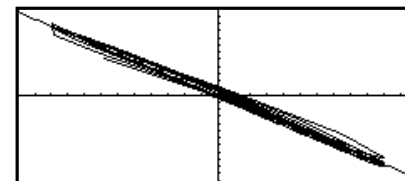
GRANDI OSCILLAZIONI



Accelerazione in funzione dell'Angolo x



Periodo (y) in funzione dell'Ampiezza (x)



Accelerazione in funzione di $\sin(x)$

DATA	acc	y=a*x+b	n
1	713	a = -23.831785	819
2	-18	b = .051281	899
3	-10	corr = -.996618	1288
4	-13	R² = .993248	3843
5	-12		8711
6	-11		2509
7	-11		5981

Enter=OK

Gr1c10=-.68185634714956

Prendendo in esame i dati ottenuti a grandi oscillazioni, si nota subito la deformazione dei grafici di $v_{ang}(t)$ e di $a_{ang}(t)$ rispetto alle funzioni sinusoidali smorzate. Anche il grafico $a_{ang}(\phi)$ non è più lineare in ϕ . Si può ricavare il grafico $a_{ang}(\sin\phi)$: questo risulterà lineare, fornendo una conferma sperimentale del modello $a_{ang} = -g/L \sin\phi$.

Si potrà misurare il periodo in funzione dell'ampiezza e osservare che per grandi ampiezze il moto non è affatto isocrono.

L'oscillatore di Atwood

Il materiale necessario per realizzare l'esperimento è costituito da: un sensore di distanza, un secchio pieno d'acqua, puleggia e sostegno, due masse cilindriche metalliche di peso leggermente diverso ($\Delta mg \approx$ metà del peso dell'acqua spostata dalla massa più pesante) con gancio, filo sottile e robusto, piombini da pesca.

Si fissa il sostegno con la puleggia al bordo del tavolo con il filo, cui si sono attaccati i due cilindri, passante attorno alla puleggia. Si immerge il corpo più pesante nel secchio, mantenendolo vicino al bordo ma evitando che, oscillando lo possa toccare. Si pone a terra il sonar puntandolo in modo che rilevi la posizione del cilindro esterno al secchio. Il cilindro nel secchio deve restare in equilibrio mezzo dentro e mezzo fuori dall'acqua (eventualmente si appesantisce uno dei due corpi attaccando al filo alcuni piombini). Si azzerò il sensore. Immergendo il cilindro finché tocca il fondo del secchio, si avvia oscillazione e acquisizione dati lasciando libero il cilindro.



Il grafico $x(t)$, verso il tempo assomiglia a quelli corrispondenti di massa-molla, e ciò potrebbe far pensare ad una oscillazione armonica. I grafici $v(t)$ e $a(t)$ fanno invece chiaramente capire che questo moto (nella porzione ove l'oscillazione è più ampia) è un moto uniformemente accelerato.

Ripetendo l'analisi del fenomeno nella parte in cui l'oscillazione è piccola (quando il cilindro non esce mai del tutto dall'acqua) si osserva invece che si tratta di un moto armonico smorzato.

Si può richiamare la legge di Archimede per ottenere una previsione teorica della forza di richiamo in funzione dello spostamento dalla posizione di equilibrio, che ha il valore costante $F = -\Delta mg \operatorname{sgn}(x)$ nel primo caso e $F(x) = -\Delta mgx/L$ nel secondo caso (L è la lunghezza del cilindro).

Effettuando una misura del periodo di oscillazione T e interpolando il grafico di T verso $\sqrt{A}$, si può controllare la validità del modello studiato e si può sottolineare il ruolo giocato dalla massa inerziale totale del sistema (che include il cilindro fuori dal secchio ed eventualmente la puleggia).

Si può inoltre fare una analisi degli effetti dissipativi confrontando le diverse pendenze del grafico $v(t)$ fuori e dentro l'acqua [cfr. B. Pecori, G. Torzo: "Come valorizzare un antico esperimento con la tecnica MBL: la macchina di Atwood..." *La Fisica nella Scuola*, **XXXI**, 83-96 (1998), e B. Pecori, G. Torzo, A. Sconza: "Harmonic and Anharmonic Oscillations investigated by using a Microcomputer Based Atwood's Machine" *Am. J. Phys.*, **67**, 228-235 (1999)].

Considerazioni finali

L'utilizzo dei sistemi di acquisizione "on-line" in laboratorio di fisica offre all'insegnante molteplici vantaggi:

- rapidità e accuratezza nella acquisizione di dati
- possibilità di registrare i dati in formato facilmente duplicabile e trasferibile

- facilità e rapidità nella rappresentazione grafica
- facilità nella manipolazione dei dati (grafici, interpolazioni, confronti,...).

La precisione e l'abbondanza dei dati sperimentali resi disponibili a "basso costo" da MBL, consente di studiare fenomeni senza dover ricorrere alla eccessiva "sterilizzazione", spesso imposta dal laboratorio tradizionale (eliminazione degli attriti, e in generale dei fenomeni dissipativi in cinematica e dinamica, restrizione a piccole velocità, ecc.).

Ciò permette di eliminare (o almeno ridurre) l'idea, spesso radicata nella mente degli studenti, che l'esperimento di laboratorio sia tutt'altra cosa che la realtà del mondo fisico (e che sia solo un "gioco che il fisico si inventa", e che ha senso solo per lui...).

Mettere a disposizione dello studente un modo facile di misurare lascia spazio ad un maggiore sforzo per capire cosa si vuol misurare e perché lo si vuol fare.

Rendere possibili misure su fenomeni anche relativamente complessi (e più simili ai fenomeni del "quotidiano") aiuta a cogliere anche gli aspetti "ludici" della attività di laboratorio; caratteristica non trascurabile in tempi in cui assistiamo ad una fuga di iscrizioni dalle facoltà scientifiche.

MBL permette di fare a meno (entro certi limiti) del "laboratorio attrezzato" (che ha costi enormi di impianto, in buona parte legati alle nuove normative di sicurezza).

Nel caso si adotti la nuova tecnologia delle calcolatrici grafiche (Texas, Hewlett-Packard, Casio) si può infatti fare a meno del Personal Computer, senza apprezzabili riduzioni di qualità del lavoro sperimentale e della analisi dei dati.

Esperimenti a livello di scuola superiore o di primi anni all'università possono essere quindi condotti con attrezzatura portatile, direttamente in aule non attrezzate: si può portare il laboratorio agli studenti invece che gli studenti in laboratorio.

Inoltre l'analisi dei dati può essere spostata nelle case degli studenti, ove essi possono utilizzare il loro PC, con più tempo a disposizione e a costo zero per la struttura docente.

I sistemi di acquisizione on-line realizzano uno "strumento di misura universale", in quanto si presentano all'utente in modo sostanzialmente invariato al cambiare del sensore utilizzato. Semplicemente sostituendo la sonda (o le sonde, in quanto si possono usare fino a 4 sensori contemporaneamente) si trasforma lo strumento da barometro a magnetometro, da voltmetro a dinamometro, da bilancia ad accelerometro... e la procedura da usare resta sostanzialmente la stessa.

La flessibilità d'uso dello strumento universale può anche stimolare l'iniziativa dei singoli studenti, portando i più intraprendenti a progettare autonomamente parte degli esperimenti loro proposti, aprendo così la strada ad una didattica differenziata che può rendere massima l'efficacia dell'insegnamento per ciascuno studente.

ⁱ I dati riportati in questo contributo sono stati acquisiti utilizzando calcolatrici grafiche tascabili con interfaccia CBL (Texas Instruments) e il programma Physics (Vernier-Software) nella versione rivista a cura di G. Delfitto, Università di Padova.