

SCHEDA PER IL DOCENTE

L'OSCILLATORE ARMONICO VERTICALE AL LABORATORIO RTL

I

Titolo dell'esperienza

L'OSCILLATORE ARMONICO VERTICALE AL LABORATORIO RTL

Autori

Paola Cattaneo, Savina Ieni, Lorella Liberatori e Marco Litterio

Docenti del **L.S.S. Labriola (Ostia, Roma)**

II

Indicazioni generali

Il laboratorio RTL consente di seguire il moto dell'oscillatore nella sua evoluzione poiché può acquisire dati di posizione ad intervalli di tempo molto piccoli rispetto al periodo di oscillazione e per la durata desiderata. E' possibile, allora, discutere gli aspetti matematici del moto armonico (le caratteristiche di una funzione periodica come ampiezza, periodo e fase iniziale, le relazioni di fase fra posizione e velocità e tra posizione e forza, ecc.) a partire dai dati acquisiti. In questa scheda viene proposta una versione semplificata in cui il fenomeno fisico viene utilizzato per introdurre il modello matematico (e non il viceversa).

III

Descrizione del fenomeno fisico

Una massa di valore noto viene appesa ad una molla di costante elastica nota, in modo tale che il periodo delle oscillazioni sia dell'ordine di qualche secondo. La massa viene messa in oscillazione intorno alla posizione di equilibrio che dipende dall'azione combinata di forza peso e forza elastica. Il moto risultante è un moto armonico semplice, come nel caso dell'oscillatore su piano orizzontale, e nell'esperienza qui presentata viene studiato proprio per questi aspetti generali. Attenzione però che i due casi presentano notevoli differenze ad un'analisi più approfondita. Infatti anche la molla ha una massa che contribuisce al periodo del moto ed alla determinazione della posizione di equilibrio. Per rendere trascurabile questo effetto useremo l'accorgimento di appendere una massa di valore molto più grande di quella della molla. (per uno studio del contributo della massa della molla si confronti Ref.10 in bibliografia).

IV Prerequisiti

Il moto armonico e la forza elastica sono tipici argomenti di meccanica che vengono trattati al primo anno dei corsi di Fisica, il terzo anno di Liceo. D'altra parte gli aspetti matematici discussi, le funzioni periodiche, sono piuttosto argomento del corso di Trigonometria che viene normalmente svolto in classe quarta di Liceo Scientifico. In definitiva l'esperienza è indicata per alunni all'inizio del quarto anno o per alunni di terzo di corsi sperimentali di Fisica.

Prerequisiti minimi:

- Concetti di massa, peso, forza elastica.
- Saper individuare gli errori di misure dirette e saper calcolare l'errore sul valore di una grandezza derivata.
- Conoscere la legge di Hooke ed il significato di costante elastica.

V Obiettivi

1. Verificare dal grafico dei dati della posizione che la distanza picco-picco è costante e definire il moto periodico.
2. Misurare dal grafico dei dati il periodo del moto e verificare che la velocità istantanea e la forza variano con lo stesso periodo della posizione.
3. Misurare dal grafico i valori iniziali e le ampiezze massime di posizione, velocità e forza.
4. Stimare dai grafici i valori della posizione e della forza di equilibrio.
5. Confrontare i grafici di posizione e velocità per ricavare la relazione di fase fra di essi.
6. Verificare la formula del periodo dell'oscillatore armonico $T = 2\pi\sqrt{m/k}$

VI Accorgimenti

- La massa del peso deve essere molto maggiore di quella della molla altrimenti nella formula del periodo occorre tener conto, nel modo opportuno, anche della massa della molla.
- Le oscillazioni avvengono intorno ad un punto di equilibrio che è l'allungamento della molla con la massa appesa, quindi il valor medio della forza non sarà zero.
- Il CBR misura la posizione del peso rispetto a terra e non l'allungamento della molla.
- I valori di equilibrio di posizione e forza possono essere ottenuti con una misura diretta, prima di mettere in oscillazione il sistema, tramite la funzione MONITOR INPUT del menù COLLECT DATA del programma Physics.
- Attenzione ad evitare che si producano torsioni, oscillazioni orizzontali della molla o vibrazioni del sostegno del sistema.

VII Materiali occorrenti

- Sostegno con asta
- Molla di costante elastica nota
- Massa di valore noto
- CBL (fig. 1)

- CBR (fig. 2)
- Sensore di forza (fig. 3) [sensibilità 0,01 N; portata ± 10 N]
- Calcolatrice (fig. 4)

Foto dei vari materiali e del loro assemblaggio

fig. 1



fig. 2



fig. 3



fig. 4



fig. 5



fig. 6

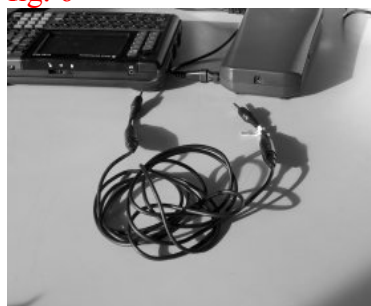


fig. 7



fig. 8



fig. 9



fig. 10

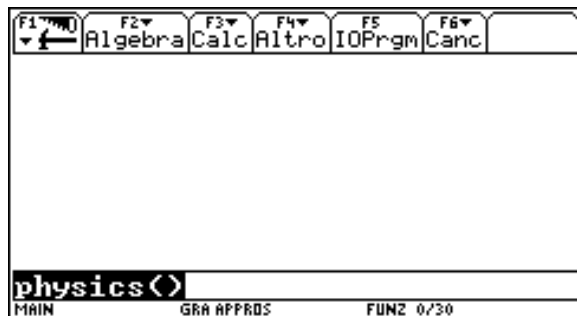


VIII Allestimento della prova

Alimentate il CBL col suo trasformatore (fig. 5) o con le sue batterie. Collegate: il CBL alla calcolatrice tramite l'apposito cavetto (fig. 6); il CBR alla porta sonic del CBL tramite il cavetto fornito insieme al CBR (fig. 7); il sensore di forza al canale CH1 del CBL (fig. 8). La fig. 9 mostra la configurazione finale dei collegamenti fra i dispositivi. Posizionate il CBR sotto la verticale della molla che sarà stata appesa al sensore di forza a sua volta sistemato sull'asta di sostegno (fig. 10).

IX Esecuzione delle misure

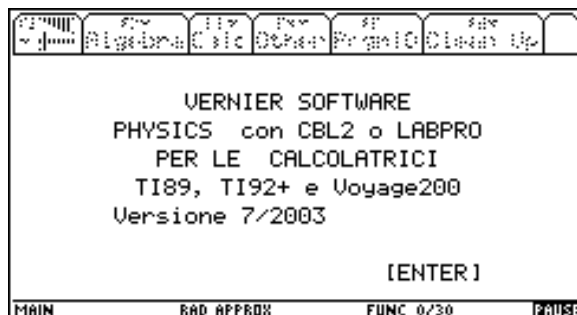
1) Al prompt della calcolatrice digitare physics() e premere <ENTER>



2) Dopo qualche secondo di apparente inattività (la scritta <BUSY> in basso a destra indica che la calcolatrice sta caricando il software) compare la schermata per la selezione del modello di calcolatrice: selezionare Ti92+ e premere <ENTER>



3) La schermata successiva dà informazioni sul software: premere <ENTER>



4) Compare il menù principale e la prima operazione da compiere è predisporre la sonda



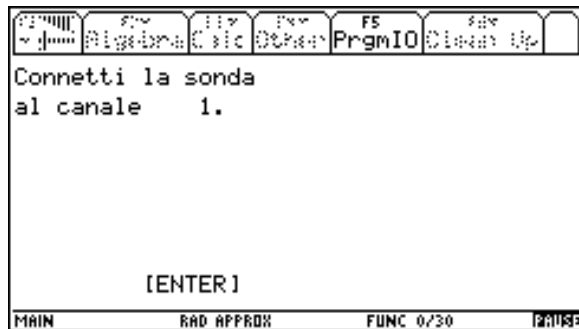
5) Selezionare il numero (2)



6) Impostare la sonda di forza



7) procedere a collegare il sensore in CH1 del CBL qualora non fosse stato già fatto precedentemente



8) Sono previste due configurazioni operative, diverse per portata e sensibilità (in figura sono mostrate le portate), del sensore di forza. Si passa da una portata all'altra con un selettore posto sulla sonda. In questo caso selezionare come in figura



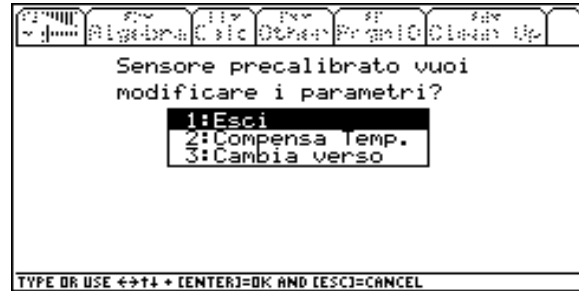
9) Non ricalibrare il sensore a meno che non siano presenti evidenti problemi nel qual caso attenersi alle procedure indicate sul manuale.



10) Selezionare il SONAR



11) premere ESCI



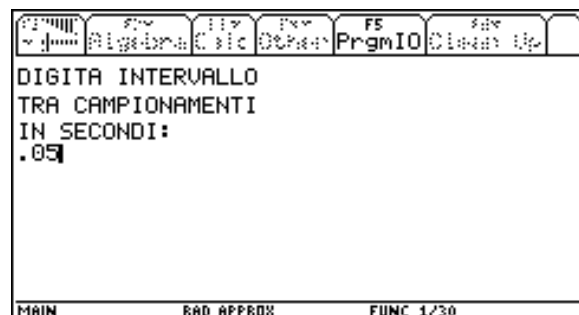
11) Ricompare il menù principale e si procede con l'acquisizione dei dati



In questo esperimento vogliamo graficare gli andamenti in funzione del tempo delle grandezze fisiche: selezioniamo la modalità GRAFICO vs TEMPO.



Successivamente viene proposto di fissare l'intervallo di tempo fra le misurazioni ed il numero totale dei dati da acquisire.



Questi valori vanno fissati sulla base di una stima preventiva del periodo dell'oscillazione in modo da avere più acquisizioni durante ogni oscillazione.

```

┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐
│ F1  F2  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9  F0  │ │ Algebra │ Calc │ Other │ PrgmIO │ Clean Up │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ TRACAMPIONAMENTI │
│ IN SECONDI:      │
│ .05              │
│                 │
│ DIGITA NUMERO    │
│ CAMPIONAMENTI:  │
│ 100              │
│                 │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ MAIN              │ RAD APPROX │ FUNC 1/30      │

```

Le due schermate successive offrono un riepilogo delle scelte effettuate ...

```

┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐
│ F1  F2  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9  F0  │ │ Algebra │ Calc │ Other │ PrgmIO │ Clean Up │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ ***Campionamento*** │
│ OGNI: .05 5         │
│                 │
│ CAMPIONI: 100.     │
│                 │
│ DURATA ACQUISIZIONE │
│ TOTALE:5. SECONDI  │
│ [ENTER]            │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ MAIN              │ RAD APPROX │ FUNC 1/30      │

```

... e la possibilità di modificarle. Se tutto è ok premere ENTER

```

┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐
│ F1  F2  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9  F0  │ │ Algebra │ Calc │ Other │ PrgmIO │ Clean Up │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│                 │
│ ****CONTINUO?****  │
│ 1:OK               │
│ 2:MODIFICA VALORI  │
│                 │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ TYPE OR USE ←→+ [ENTER]=OK AND [ESC]=CANCEL

```

Se tutto è in ordine si procede all'esecuzione dell'esperimento. Spostare la molla dalla posizione di equilibrio e rilasciarla evitando di provocare oscillazioni orizzontali.

```

┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐
│ F1  F2  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9  F0  │ │ Algebra │ Calc │ Other │ PrgmIO │ Clean Up │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ SISTEMA PRONTO.    │
│ PREMI [ENTER] PER  │
│ ACQUISIRE          │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ MAIN              │ RAD APPROX │ FUNC 1/30      │

```

Terminata l'acquisizione compare una schermata riassuntiva che informa che la prima colonna (L1) di dati è il tempo, la seconda (L2) la grandezza misurata dal sensore collegato al canale CH1 del CBL, nel nostro caso la forza e le tre grandezze cinematiche, posizione, velocità e accelerazione, misurate dal CBR nelle colonne 4, 5 e 6.

```

┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐ ┌──────────┬──┐
│ F1  F2  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9  F0  │ │ Algebra │ Calc │ Other │ PrgmIO │ Clean Up │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ TEMPO IN L1        │
│ CANALE 1 IN L2     │
│ SONAR IN L4        │
│ DERIVATE IN L5,L6 │
│                 │
│ [ENTER]            │
├──────────┴──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘ └──────────┬──┘
│ MAIN              │ RAD APPROX │ FUNC 1/30      │

```

Con la schermata successiva si può selezionare la grandezza di cui visualizzare il grafico. Negli esempi in figura sono mostrate la distanza, la velocità e la forza

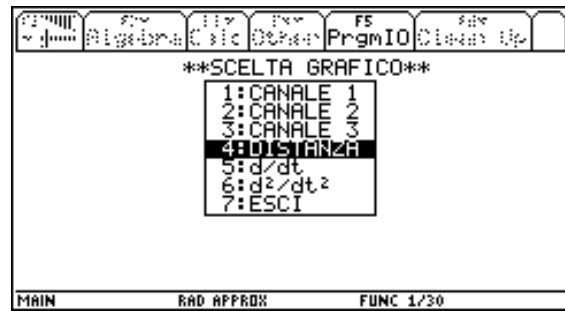


Grafico della distanza dal sonar

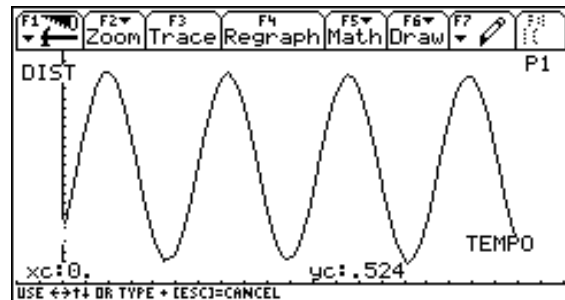


Grafico della velocità

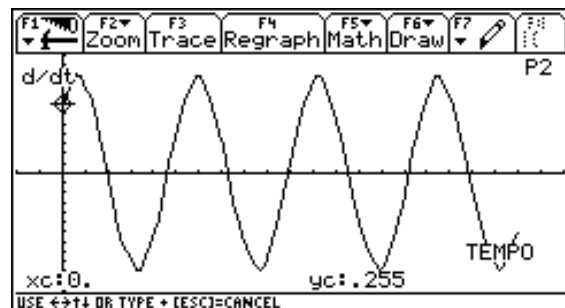
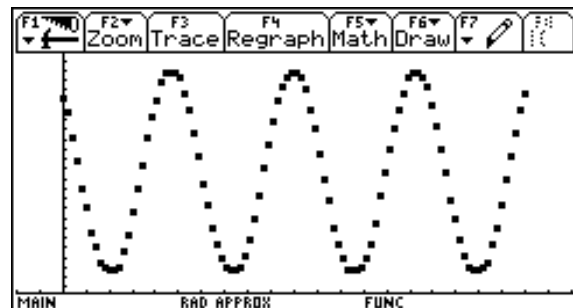


Grafico della forza



Prima di uscire da Physics salvare i dati per elaborarli successivamente "a mano" o importando il file dei dati su PC . Se invece si vuole utilizzare lo stesso Physics per eseguire un fit è più comodo non uscire affatto dal programma.



X Elaborazione dei dati

I dati possono essere letti direttamente dai grafici spostando il cursore col mouse, in questo modo si evitano operazioni che richiedono una maggiore familiarità con la calcolatrice e si sfrutta la leggibilità ed il carattere intuitivo dei grafici. In tal caso si può assumere come incertezza sulle misure la variazione che si ottiene spostandosi dalla posizione desiderata sul grafico a quella immediatamente vicina.

Dai grafici è possibile ricavare le caratteristiche del moto oscillatorio:

- Lo spostamento è periodico ed il periodo T può essere misurato
- La forza e lo spostamento hanno lo stesso periodo
- Anche la velocità è periodica con uguale periodo.
- La velocità è in anticipo di T/4 sullo spostamento.
- Ricavato T, noto il valore della massa M del peso, può essere verificata la relazione

$$T = 2\pi\sqrt{M/k}$$

Riportiamo a titolo di esempio i dati relativi al caso che compare nelle figure precedenti.

Tabella 1: valori di riferimento

Forza misurata a riposo (molla + massa)	$f_0 = (4,22 \pm 0,01) \text{ N}$
Costante elastica	$K = (8,52 \pm 0,08) \text{ N/m}$
Massa del peso	$M = (0,400 \pm 0,001) \text{ kg}$
Distanza del peso dal CBR a riposo (molla+massa)	$D_0 = (0,573 \pm 0,001) \text{ m}$

Nella tabella seguente sono riportati i valori riferiti ai massimi della distanza misurata dal CBR.

Nella colonna T sono riportate le differenze degli istanti di tempo corrispondenti a due massimi consecutivi. L'incertezza sui valori dell'istante di tempo dei picchi massimi non è legata alla sensibilità dello strumento, ma all'intervallo di campionamento (non sappiamo se con un campionamento più frequente non avremmo trovato un valore maggiore della distanza nell'intervallo immediatamente precedente o immediatamente seguente).

Tabella 2: valori dei picchi massimi della distanza.

N° picco massimo	t (s)	Δt (s)	T (s)	ΔT (s)	D (m)	ΔD (m)	D - D ₀ (m)	ΔD_0 (m)
1	0,50	0,05	-----	-----	0,648	0,001	0,075	0,002
2	1,80	0,05	1,3	0,1	0,647	0,001	0,074	0,002
3	3,10	0,05	1,3	0,1	0,644	0,001	0,071	0,002
4	4,40	0,05	1,3	0,1	0,644	0,001	0,071	0,002

Il periodo risulta costante. L'ampiezza dell'oscillazione anche è sostanzialmente costante; ci aspettiamo comunque una diminuzione dovuta ad effetti dissipativi (attriti e resistenza dell'aria).

Analoga analisi può essere condotta per la velocità.

Tabella 3: valori dei picchi massimi della velocità.

N° picco massimo	t (s)	Δt (s)	T (s)	ΔT (s)	V (m)	ΔV (m)	D - D ₀ (m)	F - F ₀ (N)
1	0,15	0,05	-----	-----	0,36	0,02	-0,004	0,08
2	1,45	0,05	1,3	0,1	0,35	0,04	-0,007	0,10
3	2,80	0,05	1,35	0,1	0,36	0,03	0,009	-0,04
4	4,10	0,05	1,3	0,1	0,36	0,04	0,006	0,01

Di nuovo l'intervallo di tempo fra i massimi dei valori della velocità è costante, dunque si può parlare di periodo T, e tale periodo risulta uguale a quello trovato precedentemente dai valori della distanza. I valori dei picchi di velocità sono uguali entro le incertezze. Per l'incertezza sulla velocità è stato preso per ogni valore il più grande dei due scarti dai primi vicini. Nella tabella sono anche riportati i valori corrispondenti della forza e della posizione, corretti per i rispettivi valori di riposo del sistema massa - molla. Queste ultime due colonne dovrebbero contenere solo valori zero. Il fatto che così non sia dipende dal campionamento: succede che il picco vero in realtà capiti nell'intervallo fra una misura e l'altra. Un campionamento più frequente consentirebbe di ridurre, ma non di eliminare, l'incertezza sulla posizione dei picchi.

Infine consideriamo le misure di forza.

Tabella 4: valori dei picchi massimi della forza.

N° picco massimo	t (s)	Δt (s)	T (s)	ΔT (s)	F (N)	V (m/s)	F - F ₀ (N)	$\Delta F - F_0$ (N)
1	1,15	0,05	-----	-----	4,83	0,04	0,61	0,02
2	2,45	0,05	1,3	0,1	4,83	0,00	0,61	0,02
3	3,75	0,05	1,3	0,1	4,83	0,02	0,61	0,02
4								

I picchi dei massimi sono solo tre in coincidenza con i minimi della distanza. Il periodo è ancora uguale a quelli trovati con velocità e distanza. I valori della forza ai picchi è costante. La velocità prossima a zero.

Altre considerazioni sono possibili:

- Il massimo della velocità compare sempre 0,35 s ($\pm 0,1s$) prima del massimo della distanza, cioè un quarto di periodo in anticipo poiché $T/4 = 1,3s / 4 = 0,3s$
- Il massimo della forza compare sempre 0,65 s ($\pm 0,1s$) dopo il massimo della distanza, cioè la forza è in ritardo di metà periodo sulla distanza.

Verifichiamo ora la formula del periodo $T = 2\pi\sqrt{m/k}$. I dati della tabella 1 forniscono per T il valore: $T = (1,361 \pm 0,008)s$, valore che è in accordo, entro le incertezze, con quello ricavato dalle curve della distanza, della velocità e della forza.

XI Questionario

1. L'equazione oraria di un moto armonico è la seguente: $s = (6m) \cos\left[\left(\frac{\pi}{16} \text{rad/s}\right)t\right]$.

Determinare l'ampiezza, il periodo e la pulsazione.

R. L'ampiezza è $6m$, il periodo $T = 32s$ e la pulsazione $\omega = \frac{\pi}{16}$.

2. Esprimere la velocità e l'accelerazione in funzione del tempo del moto armonico dell'esercizio precedente.

R. La velocità è $v = -\left(\frac{6\pi}{16} m/s\right) \text{sen}\left[\left(\frac{\pi}{16} \text{rad/s}\right)t\right]$, l'accelerazione è

$$a = -\left(\frac{3\pi^2}{128} m/s^2\right) \cos\left[\left(\frac{\pi}{16} \text{rad/s}\right)t\right].$$

3. Un punto materiale si muove di moto armonico con pulsazione $\omega = 4\pi \text{rad/s}$, e ampiezza $R = 10\text{cm}$. Determinare il massimo valore del modulo della velocità e dell'accelerazione.

R. La velocità massima è $v_{\max} = \omega R = 1,26m/s$, l'accelerazione massima è $a_{\max} = \omega^2 R = 15,8m/s^2$.

4. Quando un corpo di massa pari a $0,80\text{kg}$ è attaccato ad una molla verticale, la molla si allunga di 20cm . Quanta massa si deve attaccare alla molla perché essa abbia un periodo di oscillazione di $1,2s$?

R. Una massa pari a $1,43\text{kg}$.

5. Un corpo di massa pari 200g è attaccato ad una molla situata su un piano orizzontale. Se si sposta il corpo di 10cm dalla posizione di equilibrio esso risente di una forza pari a $1,2\text{N}$. Nell'ipotesi di attriti trascurabili, determinare la legge oraria.

R. $s = (0,1m) \text{sen}\left[(2,5\pi \text{rad/s})t\right]$.

GRIGLIA PER LA VALUTAZIONE DELL'ATTIVITA' DI LABORATORIO

Gruppo:

Argomento:

Data:

VALUTAZIONE		N	I	S	B	O	Voto
		0	2	3	4	5	
Attività del gruppo							
	Ripartizione dei compiti efficace. Interazione interna costruttiva. Autonomia.						
	Precauzione nell'utilizzo del materiale						
Relazione							
	Completa (tabelle, eventuali grafici, conclusioni, incertezze sui dati)						
	Unità di misura, calcoli e grafici, cifre significative, notazione scientifica, corretti.						
Conclusioni							
	Conformi a quelle aspettate.						
	Coerenti con le misure ed argomentate. Individuati problemi ed accorgimenti.						
Questionario							
	Percentuale di risposte corrette.						
	Risposte chiare e complete.						
Voto finale							

LEGENDA

- N Nullo
- I Insufficiente
- S Sufficiente
- B Buono
- O Ottimo

NOTA PER LA COMPILAZIONE

I parametri da valutare sono raccolti in 4 gruppi omogenei. Ogni gruppo va valutato da 0 a 10. E' possibile valutare separatamente i singoli parametri in modo tale che il totale del gruppo vada da 0 a 10. Il voto finale è la media dei voti dei gruppi di parametri.

XII Bibliografia e sitografia

Sui sistemi Real Time Laboratory (RTL), in particolare con un sistema: sensore-CBL-calcolatrice grafica:

- 1) G. Marucci, L. Catalano, V. Filippeschi e H. Coombat (a cura di), “Le calcolatrici grafiche ed i CBL nel laboratorio di Fisica”, *Quaderno del Ministero Pubblica Istruzione* in collaborazione con la Texas Instruments, Pitagora Editrice, Bologna 1998.
- 2) M. Impedovo, “Matematica: insegnamento e computer algebra”, *Springer – Verlag Italia*, Milano 1999.
- 3) J. Gastineau, K. Appel, C. Bakken, R. Sorensen, D. Vernier, “Physics with Calculators”, *Vernier Software & Technology*, Beaverton (Oregon, USA) 2000.
- 4) B. Pecori, G. Torzo, G. Pezzi, O. Foà, A. Rambelli, M. Rafanelli, M. R. Rizzo, “L’online ‘portabile’ nell’insegnamento della fisica”, Atti del XXXVIII Congresso Nazionale AIF Ferrara, 1999, *La Fisica nella scuola - Supplemento*, gennaio – marzo 2001.
- 5) AAVV, “Tecnologie informatiche nel laboratorio didattico”, Atti del XL Congresso Nazionale AIF, Senigallia, 2001, *La Fisica nella scuola – Supplemento*, aprile-giugno 2003.
- 6) P. Peranzoni, G Torzo, “Ciò che di solito si trascura nello studio dell’oscillatore ‘massa – molla’”, l’articolo in formato pdf può essere scaricato dal sito del progetto Irdis Ref.10

Siti Web

- 7) www.cartesionline.it, materiale didattico per l’insegnamento della matematica, della fisica e delle scienze.
- 8) www.adt.it, Associazione per la Didattica con le Tecnologie (ADT)
- 9) www.t3ww.org, Teachers Teaching with Technology, associazione internazionale di cui ADT è membro (in inglese).
- 10) <http://www.fisica.uniud.it/irdis/index.htm>, IRDIS è un progetto finanziato nell’ambito della legge 10.01.2000 n.6 (Iniziativa per la diffusione della cultura scientifica), finalizzato al potenziamento e ottimizzazione delle attività sperimentali nella didattica delle scienze con l’uso delle nuove tecnologie.