

LICEO SCIENTIFICO STATALE "BELFIORE" – MANTOVA

AIF (Associazione per l'Insegnamento della Fisica)

ADT (Associazione per la Didattica con le Tecnologie)

Corso di aggiornamento

**INTRODUZIONE ALL'USO DELL'ON LINE TASCABILE NELL'INSEGNAMENTO DELLA MATEMATICA E DELLA FISICA**

OTTOBRE - DICEMBRE 2001

1^ INCONTRO- 31/10/'01

**INTRODUZIONE ALL'USO DELLA CALCOLATRICE GRAFICA TI-89 E PRIME APPLICAZIONI IN MATEMATICA**

(Luigi Togliani – Liceo Scientifico "Belfiore"- Mantova)

*1.- Primo approccio con la calcolatrice*

La calcolatrice presenta una tastiera provvista di:

- tasti BLU : 5 tasti funzione, 4 tasti cursore (freccie), tasto <ESC> per uscire da una finestra, tasto <APPS> applicazioni, tasto <ENTER> per confermare un comando
- tasti GRIGI : 10 tasti numerici, tasto < . > per i decimali, tasto <(-)> per il segno negativo
- tasti NERI : 4 tasti per le lettere x, y, z, t; tasto <HOME> per tornare a Main Menu; tasto <MODE> per scegliere le modalità d'uso; tasto <CATALOG> per chiamare funzioni e procedure predefinite; tasto <CLEAR> per cancellare caratteri già scritti; 5 tasti operazioni ( ^ , : , x , - , + ); tasto = e 2 tasti parentesi tonde; tasto <ON> per l'accensione; tasto < ← > per spostare a sinistra il cursore, cancellando il carattere; altri 5 tasti per altre operazioni
- tasto <alpha> per attivare l'intera tastiera alfabetica (colore VIOLA)
- tasto <2<sup>nd</sup>> per attivare le seconde funzioni dei tasti (colore GIALLO)
- tasto <♦> per attivare altre particolari funzioni dei tasti (colore VERDE).

Premendo il tasto <ON> si accende la calcolatrice (premere <2<sup>nd</sup>> <ON> per spegnerla). Appare la videata del Main Menu, che presenta in alto i bottoni dei 6 sottomenu direttamente accessibili premendo rispettivamente i tasti funzione <F1>, <F2>, <F3>, <F4>, <F5> e <2<sup>nd</sup>> <F1>. Sullo schermo in basso si nota la barra di stato nella quale è possibile scrivere quanto desiderato.

Preliminarmente occorre stabilire le modalità di utilizzo della TI-89. Per farlo premere <MODE>. Conviene che le opzioni scelte siano quelle in Fig. 1 . Per confermare le scelte premere <ENTER> (<E> per brevità, d'ora in poi), oppure, se nulla è da cambiare, si può anche uscire dalla finestra MODE premendo <ESC>.



Figura 1

E' utile eliminare eventuali valori rimasti memorizzati con identificatori monoletterali: per farlo andare in <F6> e scegliere 1: Clear a-z... Per operare questa ed altre scelte in liste di opzioni o di stringhe si possono usare i tasti cursore.

Premendo 2 volte <alpha> resta bloccata la tastiera alfabetica; con <alpha> <(-)> si salta uno spazio verso destra.

## 2.- Qualche informazione su memoria e variabili

### - Memoria

La memoria della calcolatrice appare premendo <2<sup>nd</sup>> <6>MEM : lo spazio di memoria occupato da espressioni, liste, matrici, funzioni, programmi, disegni, stringhe, testi, dati, sistema, archivi,...Sconsigliabile resettare la memoria (se non si è esperti)!! Premendo <ESC> si torna al Main menu.

### - Variabili (variables)

Premendo <2<sup>nd</sup>> <->VAR-LINK si visualizzano i files (variables) presenti in memoria di tipo: STR(stringhe), DATA(dati), EXPR(espressioni), FIG(figure), FUNC(funzioni), GDB(grafici data base), LIST(liste), MAC(macro per sessioni di geometria), MAT(matrici), PIC(immagini di un grafico), PRGM(programmi), TEXT(testi), ASM(programmi in linguaggio assembly)

### - Creare una nuova cartella (folder)

Da menu VAR-LINK [All] con <F4>✓ (spunto) si possono selezionare più variables, per esempio quelle di tipo PRGM, e copiarle in una nuova cartella (folder), assegnandole un nome opportuno. Si procede così: premere <F1>Menage , selezionare 5:Create Folder. Appare la finestra CREATE NEW FOLDER; inserire il nome prescelto (max 8 caratteri) nel campo Folder:

### - Vedere il contenuto di una variabile

Da menu VAR-LINK [All] selezionare una variable e premere <2<sup>nd</sup>> <F6>Contents. Non sono visibili i contenuti delle variabili di tipo ASM, DATA, FIG, GDB, MAC.

### - Bloccare/sbloccare una variabile

Da menu VAR-LINK [All] selezionare una variable e premere <F1>Menage e scegliere 6:Lock per bloccare (7:Unlock per sbloccare). Appare un lucchetto a fianco della variabile scelta, nella lista generale. La variabile bloccata non può essere copiata, cancellata, archiviata. Tuttavia se ne può copiare, muovere o visualizzare il contenuto.

## 3.- Menu Algebra e Calcolo (differenziale)

Da Main Menu premere <F2> per il menu Algebra con le sue 11 opzioni; premere invece <F3> per il menu Calcolo con le sue 12 opzioni (vedi Fig. 2).

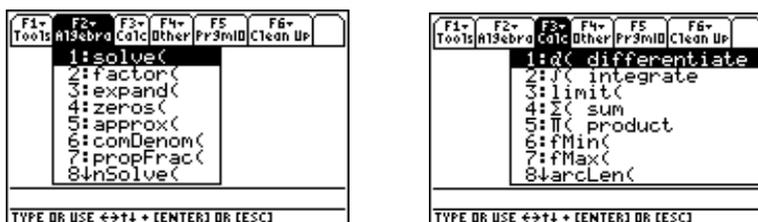


Figura 2

Nel menu Algebra si possono eseguire le seguenti operazioni in corrispondenza delle rispettive opzioni (selezionare l'opzione e premere <E>).

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
risolvere equazioni risolvere sistemi risolvere disequazioni 1°	1:solve(	$\text{solve}(x^3-x^2=0,x)$ $\text{solve}(x-2y=2 \text{ and } 3x+y=-1, \{x,y\})$ $\text{solve}(x-2 > -1+3x,x)$	$x = 1$ or $x = 0$ $x=0$ and $y=-1$ $x < -1/2$
scomporre in fattori	2:factor(	$\text{factor}(x^2*y-y)$	$(x-1)(x+1)y$
sviluppare espressioni	3:expand(	$\text{expand}(x*(y-2)^2)$	$xy^2-4xy+4x$
zeri di un polinomio	4:zeros(	$\text{zeros}(x^2-6*x+5,x)$	{1 5}
approssimare un numero	5:approx(	$\text{approx}(\pi/2)$	1.57079632679
sommare frazioni	6:comDenom(	$\text{comDenom}(y/(x^2-x)+1/x)$	$(x+y-1)/(x^2-x)$
decomporre frazioni	7:propFrac(	$\text{propFrac}((x^2+1)/(x^2+x),x)$	$(x+1)/(x(x-1)) + 1$
risolvere equazioni approssimativamente	8:nSolve(	$\text{nSolve}(x=\cos(x),x)$	$x = .739085133215$
trattare espressioni goniometriche	9:trig( 1:tExpand( 2:tCollect(	$\text{tExpand}(\sin(x+y))$ $\text{tCollect}(\sin(x)\cos(y))$	$\cos(x)\sin(y)+\sin(x)\cos(y)$ $(\sin(x-y)+\sin(x+y))/2$
trattare numeri complessi	A:Complex( 1:cSolve( 2:cFactor( 3:cZeros(	$\text{cSolve}(x^2-1=0,x)$ $\text{cFactor}(x^2+y^2)$ $\text{cZeros}(x^2+4,x)$	$x = i$ or $x = -1$ $(x-iy)(x+iy)$ {-2i 2i}
fornire: numeratore di espressione denominatore di espressione primi elementi a sinistra primi elementi a destra	B:Extract( 1:getNum( 2:getDenom( 3:left( 4:right(	$\text{getNum}(2/x+1/y)$ $\text{getDenom}(2/x+1/y)$ $\text{left}(\{4,0,5,3,-1\},2)$ $\text{right}(\{4,0,5,3,-1\},2)$	$x+2y$ $xy$ {4 0} {3 -1}

Nel menu Calcolo si possono eseguire le seguenti operazioni in corrispondenze delle rispettive opzioni (selezionare l'opzione e premere <E>).

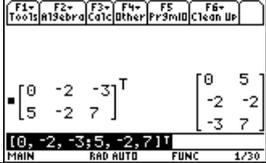
OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
derivare	1:d(	$\text{d}(\ln(2*x+y), x)$	$2/(2x+y)$
integrare	2:∫(	$\int((x^2+1)/(x+1), x)$	$2\ln( x+1 )+x^2/2-x$
calcolare limiti	3:limit(	$\text{limit}(\sin(x)/x, x, \infty)$	0
calcolare sommatorie	4:Σ(	$\Sigma(2^{(-x)}, x, 0, \infty)$	2
calcolare produttorie	5:Π(	$\Pi(2^{(2(-x))}, x, 0, \infty)$	4
minimizzare funzione	6:fMin(	$\text{fMin}(x^2+x,x)$	$x = -1/2$
massimizzare funzione	7:fMax(	$\text{fMax}(x^2+x,x)$	$x = \infty$ or $x = -\infty$
lunghezza arco di curva	8:arcLen(	$\text{arcLen}(\sqrt{1-x^2}, x, 0, 1)$	1.57079632679
formula di Taylor	9:taylor(	$\text{taylor}(\sin(x), x, 5)$	$x^5/120-x^3/6+x$
derivare numericamente	A:nDeriv(	$\text{nDeriv}(\ln(x), x, h)$	$-(\ln(x-h)-\ln(x+h))/(2h)$
integrare numericamente	B:nInt(	$\text{nInt}(\sqrt{1-x^2}, x, 0, 1)$	.785398163397
integrare eq. differenziale	C:deSolve(	$\text{deSolve}(y''+y=0 \text{ and } y(0)=1$ $\text{and } y'(0)=0, t, y)$	$y(t) = \sin(t)$

## 4.- Il Menu MATH

Quanto svolto con Algebra e Calculus si può realizzare anche col menu MATH in  $\langle 2^{\text{nd}} \rangle \langle 5 \rangle$ , ma il menu MATH offre molte possibilità in più. Ne prenderò in esame solo alcune.

- *Calcolo con le matrici*

Il sottomenu 4:Matrix di MATH offre ben 22 opzioni. Vediamo alcune di uso più frequente.

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
trasposta di una matrice	1:T	$[0,-2,-3;5,-2,7]^T$	
determinante	2:det(	det( $[7,-2;1,0]$ )	2
sistemi lineari	5:simult(	simult( $[1,3;2,1],[1;-2]$ )	$[-7/5;4/5]$
identità	6:identity(	identity(3)	matrice identica di ordine 3
matrice diagonale	8:diag(	diag( $[1,2,3]$ )	matrice diag. con diagonale 1 2 3
matrice casuale	E:randMat(	randMat(4,3)	matrice 4x3 di numeri casuali tra -9 e 9

Per sommare, sottrarre, moltiplicare, elevare a potenza una matrice, basta digitare le/a matrici/e e utilizzare i consueti tasti delle operazioni, rispettando i vincoli noti del calcolo matriciale. Per calcolare l'inversa di una matrice la si eleva alla  $-1$ .

- *Numeri complessi*

Il sottomenu 5:Complex presenta 5 opzioni che consentono per un numero complesso di calcolarne: coniugato, parte reale, coefficiente dell'immaginario, argomento, modulo.

- *Calcolo delle probabilità*

Il sottomenu 7:Probability comprende 8 opzioni, tra le quali:

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
fattoriale	1:!	5!	120
numero disposizioni semplici	2:Pr(	Pr(x,y)	$x!/(x-y)!$
numero combinazioni semplici	3:Cr(	Cr(x,y)	$x!/(x-y)!/y!$
genera numero casuale tra 1 e 20	4:rand(	rand(20)	16
genera numero casuale tra 0 e 1		rand()	.12030406559
genera numero casuale tra -8 e -1		rand(-8)	-3

- *Operatori logici*

Il sottomenu 8:Test consente di utilizzare operatori logici come i seguenti:

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
negazione	7:not	not(x>2)	$x \leq 2$
congiunzione	8:and	$(x < 2)$ and $(x < -1)$	$x < -1$
		$(x < 3)$ and $(x > 5)$	false
disgiunzione non esclusiva	9:or	$(x < 3)$ or $(x > 2)$	true
disgiunzione esclusiva	A:xor	$(x < 3)$ xor $(x > 2)$	$x \geq 3$ or $x \leq 2$
stabilire se un numero è primo	B:isPrime(	isPrime(73578931)	false

## 5.- Graficare funzioni e curve

### 5.1.- Grafica ordinaria

Per inserire funzioni (in una variabile) da graficare premere  $\langle \blacklozenge \rangle \langle F1 \rangle Y=$  ; appare una lista di 99 funzioni potenzialmente definibili:  $y_1, y_2, \dots, y_{99}$  . Definite le funzioni, si scelgono quelle che si vogliono graficare così: si evidenzia la funzione servendosi delle frecce, poi la si fissa premendo  $\langle F4 \rangle \surd$  (spunto). Per rimuovere la selezione  $\surd$  , basta premere ancora  $\langle F4 \rangle$  .

Per vedere i grafici basta premere  $\langle \blacklozenge \rangle \langle F3 \rangle \text{GRAPH}$  : si apre la finestra grafica e appaiono i grafici delle funzioni selezionate. In tale finestra sono presenti 7 menu, fra i quali  $F2 \text{Zoom}$  (ingrandimento) che presenta 11 opzioni. L'opzione 2:ZoomIn consente (anche con ripetizione) di ingrandire i grafici, mentre 3:ZoomOut toglie l'ingrandimento e riduce il grafico. In entrambi i casi confermare con  $\langle E \rangle$  la scelta dell'origine del sistema, rispondendo alla domanda New Center? Esempio. Digitare sulla barra di stato, una alla volta, le seguenti funzioni e selezionarle:

$$\surd y_1 = x^3 - x^2 \quad \surd y_2 = \frac{d}{dx}(y_1(x)) \quad \surd y_3 = \frac{d}{dx}(y_2(x)).$$

Le funzioni con i loro grafici, opportunamente zoomati, appaiono in Fig. 3.

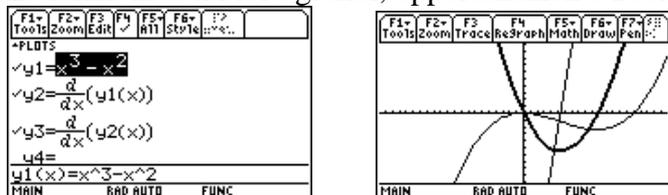


Figura 3

Si possono eseguire operazioni sui grafici direttamente dalla pagina grafica. Premendo  $\langle F5 \rangle$  appare il sottomenu MATH . Con l'opzione 5:Intersection si possono determinare le coordinate dei punti d'intersezione delle curve presenti sul display. Per le altre opzioni di MATH, illustrate nella seguente tabella, teniamo una sola curva sul display, ad esempio la  $y_1$  sopra definita.

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
Calcolare ordinate di punti	1:Value	Eval $x=?$ xc: 0.5	yc: -0.125
Zeri della funzione	2:Zero	Lower bound? xc: .3125	Zero xc: 1 yc: 0
Cercare un minimo della funzione	3:Minimum	Upper bound? xc: 1.200	Minimum xc:.6666 yc:-.1481
Cercare un massimo della funzione	4:Maximum	Lower bound? xc: -.3125 Upper bound? xc: .3125	Maximum xc: 0 yc: 0
Derivata in un punto	6:Derivates	dy/dx at? xc: .3125	dy/dx=.91796875
Integrazione definita	7: $\int f(x)dx$	Lower limit? xc: 0 Upper limit? yc: 1	$\int f(x)dx=-.083333333$
Cercare un flesso	8:Inflection	Lower bound? xc: 0 Upper bound? xc: 1	Inflection xc:.33333 yc:-.07407
Calcolare la distanza tra due punti della curva	9:Distance	1 <sup>st</sup> point? xc: -.5 2 <sup>nd</sup> point? yc: 1.25	Distance=1.9101523
Retta tangente in un punto	A:Tangent	Tangent at? xc: 1/3	$y=.33333x+.037037$
Lunghezza di un arco di curva	B:Arc	1 <sup>st</sup> point? xc: -.5 2 <sup>nd</sup> point? yc: 1.25	Arc=1.0099659
Ombreggiare sopra/sotto la curva	C:Shade	Above X axis? Lower bound? xc: -.5 Upper bound? xc: 1.25	Ombreggia la zona sopra l'asse x ; o sotto l'asse x se si risponde N alla prima domanda

Se si vuole ripulire il grafico originario da tratteggi, rette tangenti,... basta premere <F4> Regraph .  
Per pulire completamente lo schermo grafico, premere <◆> <F1> Y= e con <F4> togliere  $\surd$  alla funzione selezionata.

Per uscire dalla pagina grafica e tornare a Main menu, premere <HOME> .

Il menu di disegno che si ottiene premendo <F6> Draw consente di eseguire altre operazioni grafiche, come indicato nella seguente tabella.

OPERAZIONE	OPZIONE	ESEMPIO	RISULTATO
Ridisegnare grafico	1:ClrDraw	-----	come in <F4>Regraph
Graficare nuova funzione	2:DrawFunc	DrawFunc $y_1(x)+.5$	appare la $y_1$ traslata
Graficare la funzione inversa	3:DrawInv	DrawInv $y_1(x)$	grafica l'inversa di $y_1$
Grafica curva in coord. polari	4:DrawPol	DrawPol $\theta/8,0,2\pi,0.1$	grafica la spirale
Grafica curva in coordinate parametriche	5:DrawParm	DrawParm $\cos(t),\sin(t),0, 2\pi,0.1$	grafica la circonferenza
Grafica retta per un punto	6:DrawSlp	DrawSlp $2,1,-3/2$	grafica $y-1=-3/2(x-2)$

Per graficare in 3D le funzioni tipo  $z = f(x,y)$  occorre premere <MODE> e selezionare: Graph.....5:3D . Sul display di Main apparirà 3D sotto la barra di stato.

Premere <◆> <F1> Y= e definire la funzione come  $z_1, z_2, \dots$  . Ad es.:  $z_1 = \sin(x) + \sin(y)$  . Poi, premendo <◆> <F3> GRAPH , si osserva il grafico. Per rimuovere la funzione o per rifare il grafico si ripete quanto già osservato per le funzioni in una variabile.

Finita la sessione di lavoro in 3D è bene ritornare nella modalità consueta premendo <MODE> e selezionando Graph.....1:FUNCTION ; riapparirà FUNC sotto la barra di stato.

## 5.2.- Grafica rapida

Esistono un modo più rapido per tracciare il grafico di una funzione in una variabile. La modalità rapida non è attiva per le successioni (da <MODE> Graph.....4:SEQUENCE), né per le equazioni differenziali (da <MODE> Graph.....6:DIFF EQUATIONS).

Finito l'uso di un certo grafico è bene eliminarlo da Main menu, selezionando il comando relativo e cancellandolo con <CLEAR>.

### 5.2.1.- Grafici di funzioni $y=f(x)$

Accertarsi, premendo <MODE>, che la modalità grafica sia quella giusta. In questo caso deve essere: Graph.....1:FUNCTION.

Da Main menu premere <F4>Other e scegliere 2:Graph (si può anche digitare graph sulla barra di stato): si immettono di seguito due argomenti, la funzione da graficare e la variabile indipendente. Esempio: Graph  $x^2,x$  <E> ; appare il grafico della parabola indicata.

Per pulire lo schermo, ritornare a Main con <HOME> e poi premere <F4> e scegliere 5:ClrGraph.

### 5.2.2.- Grafici di curve con equazioni parametriche

Premere <MODE> e selezionare: Graph.....2:PARAMETRIC. Da Main digitare Graph seguito dalle espressioni per l'ascissa e per l'ordinata e dal parametro, cioè  $x=x(t), y=y(t), t$  .

Esempio: Graph  $2\cos(t),\sin(t),t$  . Il simbolo  $t$  è obbligatorio per il parametro. Per pulire basta premere <F4> e scegliere 5:ClrGraph.

### 5.2.3.- Grafici di curve con equazione polare

Premere <MODE> e selezionare: Graph.....3:POLAR. Da Main digitare Graph seguito dalle espressioni per il raggio vettore e dall'anomalia (argomento), cioè  $\rho=\rho(\theta)$ ,  $\theta$ .

Esempio: Graph  $2\theta, \theta$ . Necessariamente è fissato l'intervallo:  $0 \leq \theta \leq 2\pi$ . Il simbolo  $\theta$  è obbligatorio per l'anomalia (o argomento). Per pulire basta premere <F4> e scegliere 5:ClrGraph.

### 5.2.4.- Grafici di funzioni $z=f(x,y)$ in 3D

Premere <MODE> e selezionare: Graph.....5:3D. Da Main digitare Graph seguito dall'espressione per la quota e dalle variabili indipendenti, cioè:  $z=f(x,y)$ ,  $x$ ,  $y$ .

Esempio: Graph  $x^2+y^2, x, y$  e appare una porzione della superficie richiesta (paraboloide rotondo); con le frecce cursore si può cambiare il punto di vista.

### 5.3.- Dividere lo schermo

Da <MODE> selezionare: Split Screen.....3:LEFT-RIGHT, se si vuole che il taglio divisorio sia verticale. Appare lo schermo diviso in due parti uguali: a sinistra la pagina testo, a destra la pagina grafica. Ad esempio, in modalità rapida: Graph  $\sin(x)-2*\cos(x), x$ . Appare il grafico sulla finestra di destra (Fig.4). Automaticamente si visualizza in alto la barra degli strumenti per la grafica. Per tornare al modo testo premere <HOME>.

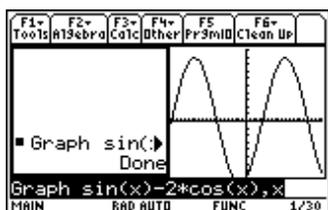


Figura 4

Per ritornare a schermo intero premere: <2<sup>nd</sup>> <ESC>QUIT oppure premere <MODE> e scegliere: Split Screen.....1:FULL.

### 5.4.- Grafica di funzioni definite a tratti

Si usa when digitandolo o chiamandolo da <CATALOG>.

Esempio: Graph when( $x < 0, -x+1, x^2/2$ ). Appare il grafico della funzione:

$$f(x) = \begin{cases} -x+1, & x < 0 \\ x^2/2, & \text{else} \end{cases}$$

Nidificando when è possibile graficare funzioni definite su più tratti.

Esempio: Graph when( $x < 0, \text{when}(x < -2, -x+1, 2*\cos(x)), x^2/2$ ).

## 6.- Ambienti APPS e DATA/MATRIX EDITOR

Premendo <APPS> (applications) viene presentato un menu che offre varie possibilità di gestione e di utilizzo della calcolatrice. Vediamone alcune.

Premendo 2:Y=Editor viene data ancora la possibilità di introdurre funzioni da graficare e con 4:Graph viene riproposta la pagina grafica.

Premendo 6:Data/Matrix Editor si entra in un ambiente in cui è possibile creare o richiamare un tabellone elettronico (matrice di dati). Per creare il tabellone scegliere il sottomenu 3:New. Appare la finestra NEW; nel campo Variable:  immettere il nome da assegnare al tabellone che verrà salvato come un DATA. Si può riempire il tabellone immettendo da tastiera i

dati in ogni cella: per esempio , nella colonna c1, immettere la successione 0, 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1.6 . Con la freccia cursore si può intitolare la colonna c1, esempio con x (variabile indipendente). Si può anche riempire una colonna automaticamente. Se vogliamo, ad esempio, che in c2 appaiano i quadrati dei valori di c1 (intestare la colonna c2 con  $x^2$ ), basta andare nella cella c2 e inserire nella barra di stato la formula  $c2=c1^2$ . Così se in c3 si vuole far apparire  $\sin(x)$  (x in radianti, visibile sotto la barra di stato con la sigla RAD), basta inserire nella cella c3 la formula  $c3=\sin(c1)$  (Fig. 5).

F1 Tools	F2 Plot Setup	F3 Cell Header	F4 Header	F5 Calc	F6 Util	F7 Stat
DATA	x	$x^2$	$\sin(x)$			
	c1	c2	c3			
1	0	0	0			
2	.1	.01	.09983			
3	.2	.04	.19867			
4	.3	.09	.29552			
M1 c3=0						
MAIN RAD AUTO FUNC						

Figura 5

Per uscire dal tabellone premere <APPS>; il tabellone è già stato salvato.

Per richiamare il tabellone, da <APPS> scegliere 6:Data/Matrix Editor e poi 2:Open; dalla finestra OPEN scegliere, in Variable: , il nome del tabellone voluto.

Per svuotare il tabellone, da <APPS> scegliere 6:Data/Matrix Editor e poi 2:Open; dalla finestra OPEN scegliere, in Variable: , il nome del tabellone voluto. Ora premere <F1> e scegliere 8:Clear Editor . Si apre la finestra Clear Editor : rispondere affermativamente con <E> alla domanda *Clear the contents of the editor, are you sure?* ; così il tabellone è subito svuotato.

Per eliminare il tabellone, tornare a Main menu con <HOME> e premere <2<sup>nd</sup>> <->VAR-LINK.

Da menu VAR-LINK [All] , premere <F1>Menage e scegliere 1:Delete, confermando con <E>.

Lo stesso procedimento si usa per eliminare una qualsiasi variabile.

Per mettere in grafico i dati del tabellone, riaprire il tabellone con la sequenza <APPS>

6:Data/Matrix Editor 2:Open menu OPEN Variable:nome\_tabellone. Poi premere il tasto <F2>PlotSetup e quindi <F1>Define : appare la finestra main\nome\_tabellone con le varie possibilità attive per costruire il grafico che sono di seguito riportate.

Plot Type.....Scatter→1:Scatter 2:xyline 3:Box Plot 4:Histogram 5:Mod Box Plot

Mark.....Box→1:Box 2:Cross 3:Plus 4:Square 5:Dot

x.....

y.....

Use Freq and Categories? No→1:No 2:Yes

Nel campo di x e in quello di y occorre riportare le liste di dati da graficare, per esempio c1 per x (variabile indipendente) e c2 per y (variabile dipendente). Per fare un grafico per punti (quadratini, box) che non sia un istogramma, vanno bene le opzioni di default (Scatter, Box, No).

Per conferma premere <E>. Con <HOME> tornare a Main e da qui, premendo <♦> <F3> GRAPH, apparirà il grafico in esame. Il grafico resta salvato insieme al suo tabellone. Se ne può trovare traccia tra le funzioni in memoria premendo <♦> <F1> Y= , sopra le funzioni  $y_1$  ,  $y_2$  , ...

eventualmente già memorizzate. E' opportuno togliere la selezione con <F4>  (spunto) per evitare che venga visualizzato il grafico stesso anche quando non serve. All'occorrenza rifelezionare sempre con <F4>  .

7.- Interpolazione statistica dei dati

Per interpolare statisticamente i dati raccolti in un tabellone o foglio elettronico, da Main menu premere <APPS> e scegliere 6:Data/Matrix Editor e quindi 2:Open . Dalla finestra OPEN scegliere in Variable il tabellone da studiare (es. tabe). Una volta aperto il tabellone, premere <♦> <F1> Y= e con la freccia cursore risalire in Plot 1 o dove è posto il grafico in esame, selezionandolo con <F4> (spunto).

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell Header	F4+ Calc	F5+ Unit	F6+ Stat
DATA	x	y			
	c1	c2	c3		
1	0	0			
2	1	1.2			
3	2	2.5			
4	3	3.4			
c2=					
MAIN RAD AUTO FUNC					

Figura 6

F1+ Tools	F2+ Zoom	F3+ Edit	F4+ Plot	F5+ F6+ F7+	F8+ F9+ F10+
*DATA:main:tabe					
Plot 2: L1: x:c1 y:c2					
✓ <b>MODE</b> L1: x:c1 y:c2					
y1=x <sup>3</sup> -x <sup>2</sup>					
y2=d/dx(y1(x))					
y3=d/dx(y2(x))					
MAIN RAD AUTO FUNC					

Figura 7

Quindi con il tasto <♦> <F3> GRAPH si visualizza tale grafico inerente al tabellone prescelto.

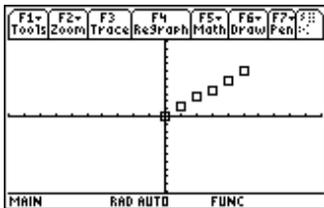


Figura 8

Per interpolare linearmente i dati innanzitutto si torna al Main menu premendo <HOME>. Da qui con <2<sup>nd</sup>><5>MATH si chiama il menu di Matematica e si sceglie il percorso:

6:Statistics

3:Regressions

1:LinReg

seguito da <E>. In tal modo appare il comando LinReg sulla barra di stato: si digitano i nomi delle colonne del tabellone relative alle variabili graficate, cioè nell'esempio considerato:

LinReg c1,c2

seguito da <E>. Per vedere l'analisi statistica premere <2<sup>nd</sup>><5>MATH e poi scegliere 6:Statistics e quindi 8:ShowStat. Il comando ShowStat va sulla barra di stato e, premendo <E>, appare l'analisi statistica voluta nella finestra STAT VARS.

F1+ Tools	F2+ Zoom	F3+ Edit	F4+ Plot	F5+ F6+ F7+	F8+ F9+ F10+
STAT VARS					
y=a*x+b					
a =1.182857					
b =.009524					
corr =.999017					
R2 =.998036					
Li					
Show					
Enter=OK					
MAIN RAD AUTO FUNC 1/30					

Figura 9

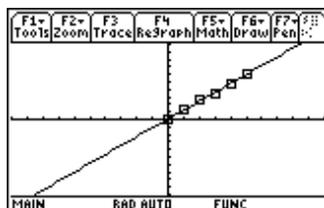


Figura 10

Per vedere la retta interpolatrice, sulla barra di stato di Main digitare regeq(x)→y7(x), seguito da <E>, che vuole dire imporre che la retta di regressione abbia come variabile indipendente la x del tabellone scelto e come variabile dipendente ad es. la y7 della lista di variabili disponibili nel menu di <♦> <F1> Y=. Ciò fatto andare in <♦> <F3> GRAPH : si vede apparire, insieme al precedente grafico, anche la retta di regressione.

LICEO SCIENTIFICO STATALE “BELFIORE” – MANTOVA

AIF (Associazione per l’Insegnamento della Fisica)

ADT (Associazione per la Didattica con le Tecnologie)

Corso di aggiornamento

*“Introduzione all’uso dell’on line tascabile nell’insegnamento della Matematica e della Fisica”*

OTTOBRE - DICEMBRE 2001

5<sup>^</sup> INCONTRO– 3/12/01

STUDIO DI ALCUNI MOTI CON ON-LINE TASCABILE

(Luigi Togliani – Liceo Scientifico “Belfiore”- Mantova)

PREMESSA

Nella comune prassi didattica, anche dove si fa un abbondante uso del laboratorio di Fisica, raramente vengono prese in esame situazioni di moto smorzato. Questo probabilmente perché tali moti risultano più complessi, sia da trattare teoricamente, sia da sviluppare e analizzare in laboratorio.

In effetti, per studiare un moto rettilineo, di solito usiamo strumenti tipo marcatempo o traguardi ottici; per i moti curvilinei possiamo far uso di lampeggiatori o di una lampada stroboscopica.

Il limite di queste apparecchiature consiste nel non essere in grado di registrare, almeno in modo attendibile, la posizione del mobile se questo ricalca, nel suo moto, tratti della traiettoria già percorsa - il che avviene regolarmente con i moti periodici, smorzati o no.

Le apparecchiature on-line, grazie all’uso di un sensore tipo sonar, possono superare questo limite e consentire di continuare la registrazione del moto anche quando l’oggetto ritorna ‘sui suoi passi’, purché il moto sia rettilineo o quasi.

Ma offrono almeno un altro grande vantaggio: la rapidità e l’affidabilità dell’analisi. Bastano poche istruzioni perché la calcolatrice del sistema on-line tabuli e grafichi, in funzione del tempo, la distanza, la velocità e l’accelerazione. Questo notevole alleggerimento del tradizionale lavoro manuale dà la possibilità di lasciare più tempo alla riflessione sulle cause del moto, sugli agenti perturbanti che possono avere determinato anomalie non previste, sulle previsioni – poi rapidamente controllabili - che si possono avanzare modificando un elemento dell’assetto sperimentale.

Nei semplici esperimenti che seguono ho cercato di utilizzare il sistema on-line cosiddetto ‘tascabile’ che si avvale della calcolatrice grafica TI-89 della Texas Instruments accoppiata con le interfacce e con i sensori sotto indicati, prodotti dalla Vernier. Il materiale di Fisica che ho adoperato è invece decisamente di tipo ‘domestico’: gli esperimenti sono stati fatti in casa.

Ho inserito i grafici in questo testo usando il programma TI-Graph Link 89, dopo aver connesso la calcolatrice al PC con l’apposito cavo.

## CADUTA DI UNA SFERA CHE RIMBALZA

### *Scopo*

Ho eseguito l'esperimento con l'intento di studiare il moto di una sfera in caduta libera, in grado di rimbalzare sul pavimento, raccogliendo e analizzando i dati con un dispositivo on-line.

### *Materiali usati*

- Sfera di gomma di diametro di circa 6 cm
- Cavalletto (o stativo) per macchina fotografica
- CBR (Calculator Based Ranger), fissato sul cavalletto, col sonar affacciato al pavimento
- CBL (Calculator Based Laboratory)
- Calcolatrice TI-89 con programma "Physics"
- PC con implementato programma TI-Graph Link 89
- Cavi di connessione CBR-CBL, CBL-TI89, PC-TI89 (cavo Graph Link)

### *Esecuzione*

Ho collegato con l'apposito cavetto la TI-89 con l'interfaccia per l'acquisizione dei dati CBL e quest'ultima con il sensore di moto ad ultrasuoni CBR (ingresso SONIC).

Ho preparato il CBL seguendo la successione di istruzioni di seguito riportata.

- Lancio di Physics()
  - da Main Menu 1: set up probes per comunicare quale sonda usare
    - 1: one (una sola sonda)
    - 1: motion (per analizzare il moto)
    - 1: use stored (calibratura)
  - da Main Menu 2: collect data (preparare la sonda per la raccolta dati)
    - 2: time graph (grafico in funzione del tempo)
      - intervallo tra due rilevazioni : 0,03 s
      - numero di rilevazioni : 80
      - durata dell'esperimento : 2,40 s
    - 1: use time setup

Dopo di che lo strumento è pronto per rilevare i dati.

Ho lasciato cadere la pallina da una certa altezza in modo che la sua distanza dal CBR fosse superiore a 40 cm, distanza sotto la quale il CBR è 'cieco'. Simultaneamente (per quanto mi era possibile) ho fatto partire la raccolta dei dati.

### *Analisi dei dati*

Raccolti i dati, la TI-89 subito chiede di calcolare le derivate. Rispondendo no essa è in grado di produrre subito il grafico distanza-tempo; occorre prima selezionare dal menù Select Graph l'opzione seguente e poi le conseguenti istruzioni:

- 4: distance; se il grafico è soddisfacente
- 7: return (per tornare al Main Menu; si risponde no alla richiesta di ripetere l'esperienza).

In Main Menu si sceglie:

- 3: analyze (sottomenu di analisi dei dati)
  - 7: data processing (elaborazione dati)
    - 1: derivatives (derivazione prima e seconda dello spostamento rispetto al tempo)
    - 4: sonic (scelta del canale dove è collegato il CBR che legge la distanza)
      - list in l 4 / if wrong press "w" else press "enter"
      - Scala factor? Shift factor? (alle domande rispondere con <enter>)

Dopo di che TI-89 esegue il calcolo delle derivate. Richiamando il menu 6: view graph si possono vedere i grafici velocità-tempo (5: 1<sup>st</sup> derivate) e accelerazione-tempo (6: 2<sup>nd</sup> derivate). I tre grafici sono riportati nelle seguenti figure.

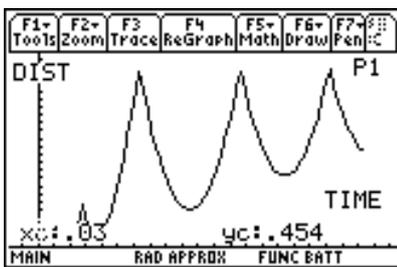


figura 1

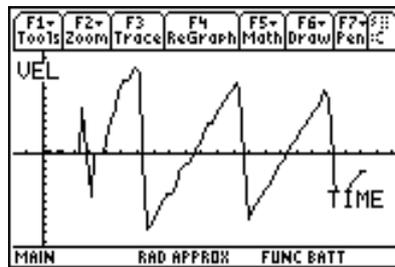


figura 2

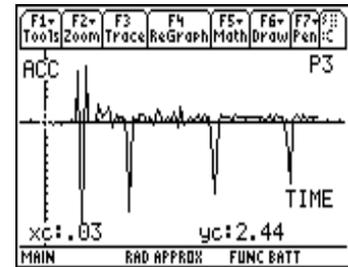


figura 3

Il grafico di fig.1 mostra abbastanza bene l'andamento tipicamente parabolico della curva oraria del moto uniformemente accelerato, sia per la discesa che per la salita. I massimi si riferiscono agli istanti in cui la pallina toccava il suolo per poi rimbalzare verso l'alto: si hanno per  $t = 0,75$  s ;  $t = 1,50$  s ;  $t = 2,16$  s . Le ordinate di tali massimi sono tutte eguali a  $1,22$  m , e rappresentano la distanza del CBR dal pavimento, a meno del diametro della pallina. I minimi del grafico si riferiscono agli istanti  $t = 0,03$  s ;  $t = 1,11$  s ;  $t = 1,83$  s in cui la sfera è più vicina al CBR; le rispettive distanze sono  $y = 0,454$  m ;  $y = 0,547$  m ;  $y = 0,709$  m che vanno aumentando a causa dello smorzamento del moto.

In fig.2 è presente il grafico velocità-tempo. L'andamento circa a denti di sega si spiega col fatto che la velocità varia linearmente nel tempo in tale tipo di moto. Tre degli istanti in cui la velocità si annulla sono proprio quelli per cui è massima la distanza dal sonar (pallina che tocca il suolo).

Intercalati ad essi sono invece due istanti in cui la velocità si annulla proprio perché la palla è nella posizione più vicina al CBR (massima altezza dal suolo del rimbalzo). Si osservi che i tratti rettilinei (o quasi) del grafico non hanno tutti la stessa pendenza: la calcolatrice registra 'rampe in salita' con pendenza diversa da quella, in modulo, delle 'rampe in discesa'. Queste ultime infatti sono relative ai brevi intervalli di tempo centrati nell'istante in cui la velocità cambia il segno a seguito dell'urto della sfera sul pavimento (rimbalzo).

La pendenza (o coefficiente angolare) delle 'rampe in salita' dovrebbe essere costante e, rappresentando l'accelerazione del moto, dovrebbe eguagliare il valore dell'accelerazione di gravità, sia quando la velocità è positiva, sia quando essa è negativa. In effetti, osservando in fig. 3 il grafico accelerazione-tempo non registriamo una vera e propria costanza dell'accelerazione sugli intervalli indicati (quelli delle 'rampe in salite' del grafico della velocità), come dall'istante  $0,75$  s fino a  $1,50$  s . Questo a causa di fattori perturbanti come il fatto che ben difficilmente la pallina, rimbalzando, percorre sempre lo stesso tratto rettilineo che passa per il sonar.

E' chiaro che occorrerebbe ripetere l'esperienza accertandosi che la pallina continui a rimbalzare sempre sullo stesso punto: solo così il sonar traguarderebbe sempre lo stesso punto della sfera.

Se si vogliono vedere le tabelle del tempo, della distanza, della velocità e dell'accelerazione si esce da menu principale e, dalla schermata di physics() , si preme il tasto APPS (cioè applications). Da qui si sceglie:

6: data matrix editor ; nella finestra si seleziona

2: open ; nella finestra si prende il programma che interessa (nel mio caso l'ho chiamato 'caduta').

Appare un foglio elettronico come nelle figg. 4 e 5. Scorrendo le colonne si leggono i valori degli istanti di tempo in secondi in C1 (i rilievi erano fatti ogni  $0,03$  s ), degli spostamenti in metri in C4 e così via per la velocità e per l'accelerazione.

F1+ Tools	1/2 Stat	3/4 Focus	5/6 1/10	7/8 1/100	9/0 1/1000	F7 Stat
DATA						
	c1	c2	c3			
1	.02999					
2	.05998					
3	.08998					
4	.11998					
r1c1=.0299872						
MAIN RAD APPROX FUNC BATT						

figura 4

F1+ Tools	1/2 Stat	3/4 Focus	5/6 1/10	7/8 1/100	9/0 1/1000	F7 Stat
DATA						
	c2	c3	c4			
1			.45441			
2			.45441			
3			.4566			
4			.45441			
r1c4=.454407						
MAIN RAD APPROX FUNC BATT						

figura 5

## OSCILLAZIONI SMORZATE IN UN PENDOLO

### Scopo

Ho eseguito l'esperimento con l'intento di studiare il moto di un pendolo con oscillazioni piuttosto piccole, ma tali da evidenziare lo smorzamento del moto, raccogliendo e analizzando i dati con un dispositivo on-line.

### Materiali usati

- Audiocassetta nella sua custodia, usata come pendolo
- Righello con filo da cucire attaccato a 'V' (pendolo bifilare); il filo è connesso al pendolo
- Cavalletto (o stativo) per macchina fotografica
- CBR, fissato sul cavalletto, col sonar affacciato al pendolo
- CBL
- Calcolatrice TI-89 con programma "Physics"
- PC con implementato programma TI-Graph Link 89
- Cavi di connessione CBR-CBL, CBL-TI89, PC-TI89 (cavo Graph Link)

### Esecuzione

Ho collegato con l'apposito cavetto la TI-89 con l'interfaccia per l'acquisizione dei dati CBL e quest'ultima con il sensore di moto ad ultrasuoni CBR (ingresso SONIC).

Ho preparato il CBL seguendo la successione di istruzioni come nel precedente esperimento.

Il righello, sporgente da uno scaffale della libreria, sosteneva il pendolo bifilare, lasciandolo libero di oscillare. La lunghezza del pendolo era circa di  $(86,5 \pm 0,5)$  cm, valutata dal baricentro del pendolo al punto medio tra i due punti del righello ai quali era fissato il filo.

La scelta come pendolo di un'audiocassetta – oggetto poco compatto – è stata dettata dalla necessità che il sonar riesca a 'vedere' il pendolo e non altri oggetti della stanza. Ciò introduce anche dei fattori perturbanti: la cassetta nel suo moto tende a torcersi; il moto, rettilineo solo approssimativamente (le oscillazioni erano piuttosto piccole), diventa più complesso; l'incidenza delle forze passive è consistente, cosa che ha comunque il vantaggio di rendere più evidente lo smorzamento del moto.

### Analisi dei dati

Ho proceduto analogamente a quanto indicato nel precedente esperimento.

Si sono anche qui ottenuti i grafici, in funzione del tempo, della distanza, della velocità e dell'accelerazione (figg. 6-8). Dall'esame dei grafici si nota bene lo smorzamento delle oscillazioni pendolari. Ancora il grafico più 'pulito' è il primo: evidentemente, derivando una prima ed una seconda volta, si introducono approssimazioni di calcolo che evidenziano la presenza di un certo 'rumore'. Teniamo sempre presente la complicazione dovuta alle indicate perturbazioni del moto.

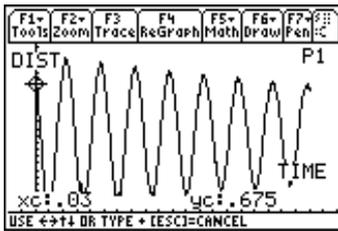


figura 6

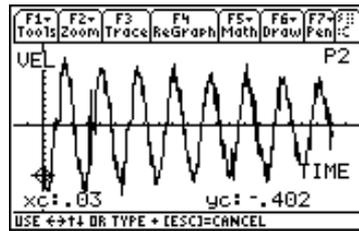


figura 7

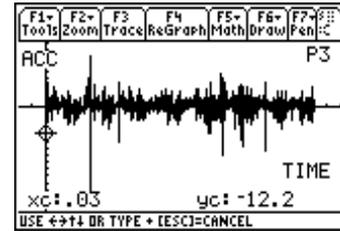


figura 8

Anche in questo esperimento ho considerato un intervallo temporale, tra due rilevazioni successive, di 0,03 s , per 500 rilevazioni in tutto (durata complessiva 15 s ).

## OSCILLAZIONI SMORZATE IN UN SISTEMA MASSA-MOLLA

### Scopo

Ho eseguito l'esperimento con l'intento di studiare il moto di un sistema massa-molla recante oggetti appesi che offrirono all'aria differenti superfici (tali cioè da evidenziare in modo diverso lo smorzamento del moto), raccogliendo e analizzando i dati con un dispositivo on-line.

### Materiali usati

- Un libro 'compatto' ed uno 'esteso', usati come masse oscillanti
- Molla abbastanza tenera agganciata ad un estremo al libro con lo spago
- Cavalletto (o stativo) per macchina fotografica
- Morsetto e mestolo da cucina cui fissare l'altro estremo della molla
- Bilancia da cucina
- CBR appoggiato la pavimento, col sonar affacciato alla faccia inferiore del libro
- CBL
- Calcolatrice TI-89 con programma "Physics"
- PC con implementato programma TI-Graph Link 89
- Cavi di connessione CBR-CBL, CBL-TI89, PC-TI89 (cavo Graph Link)

### Esecuzione

Le connessioni tra TI-89 , CBL e CBR sono eseguite come nei precedenti esperimenti.

Ho legato lo spago attorno al libro in modo che, una volta agganciato alla molla, esso potesse restare il più possibile orizzontale. L'altro estremo della molla era fissato ad un mestolo che, a sua volta, era bloccato con un morsetto al piattello del cavalletto, in modo che il sistema massa-molla potesse oscillare liberamente senza toccare le gambe del cavalletto. Sollevato il sistema libro-molla dalla posizione di equilibrio, l'ho lasciato andare permettendogli di oscillare liberamente. Poco dopo l'inizio del moto ho fatto partire il sistema di acquisizione dei dati che ha funzionato per la durata programmata. La massa del libro era  $(640 \pm 5)g$  , le sue dimensioni: 17,0 cm (lunghezza), 11,0 cm (larghezza), 4,7 cm (spessore).

Ho ripetuto l'esperienza con un secondo libro di massa  $(550 \pm 5)g$  , di dimensioni: 27,7 cm (lunghezza), 19,6 cm (larghezza) , 1,5 cm (spessore).

Come si vede, l'intento era quello di ottenere due prove sperimentali con oscillazioni diversamente smorzate a seconda della superficie esposta all'aria.

In entrambi i casi il moto oscillatorio non è stato del tutto lineare: nell'oscillare, il sistema massa-molla subiva delle torsioni che potevano in qualche modo influenzare i rilievi del sistema on-line.

### Analisi dei dati

Nelle figure 9, 10 e 11 sono riportati i grafici distanza-tempo, velocità-tempo, accelerazione-tempo così come elaborati dalla TI-89, nel caso del libro più 'compatto'. I primi due grafici presentano un

andamento regolare di moto oscillatorio con lieve smorzamento; il terzo ha andamento ancora oscillatorio, ma appaiono delle fluttuazioni abbastanza accentuate in alcuni istanti.

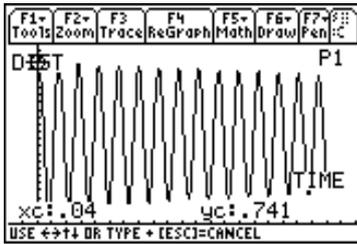


figura 9

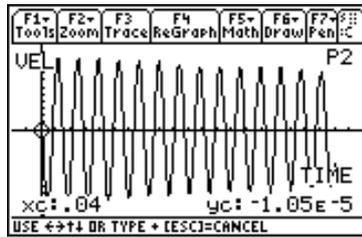


figura 10

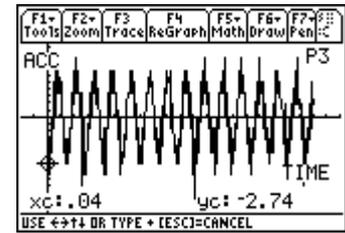


figura 11

Del tutto analoga la situazione relativa alla seconda prova (libro più 'esteso'), con una consistente accentuazione dello smorzamento, come previsto. Qualche maggiore irregolarità è presente nel grafico dell'accelerazione.

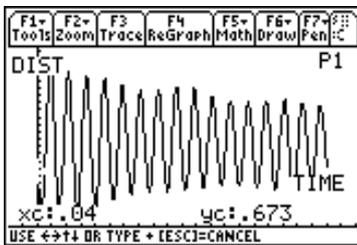


figura 12

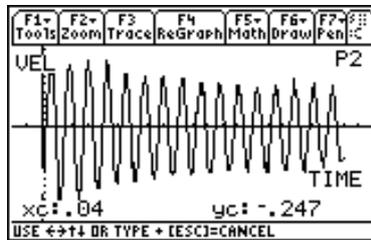


figura 13

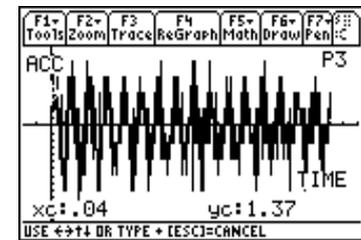


figura 14

In entrambe le esperienze ho considerato un intervallo temporale, tra due rilevazioni successive, di 0,04 s , per 500 rilievi in tutto (durata complessiva 20 s ).

Scorrendo col cursore, sullo schermo della TI-89, i grafici spostamento-tempo (figg. 9 e 12) si può verificare che entrambi i moti analizzati sono periodici; si possono quindi ricavare i rispettivi periodi di oscillazione che sono:  $T_1=(1,38\pm 0,02)s$  per il primo moto,  $T_2=(1,24\pm 0,02)s$  per il secondo.

Ho misurato, sempre con strumenti 'casalinghi', la costante di elasticità della molla usata, appendendo al suo estremo libero una confezione da 500 g di pasta e poi un'altra da 1000 g e valutando i rispettivi allungamenti:  $(33,6\pm 0,5)cm$  e  $(68,9\pm 0,5)cm$  . Da una breve analisi di questi dati ho ottenuto per la costante elastica  $k$  il valore:  $(14,3\pm 0,3)N/m$  .

Ricorrendo alla nota legge dell'isocronismo di un sistema massa-molla si ottengono i valori dei periodi delle due prove sperimentali:

$$T_1=2\pi(m_1/k)^{1/2} = (1,33\pm 0,02)s \text{ , per la prima massa } m_1=(640\pm 5)g ;$$

$$T_2=2\pi(m_2/k)^{1/2} = (1,23\pm 0,02)s \text{ , per la seconda massa } m_2=(550\pm 5)g .$$

Come si vede, benché alcune misure siano state prese in modo rudimentale, i risultati sperimentali sono sostanzialmente coerenti, entro gli errori di misura, con le previsioni teoriche.

## ROTOLOAMENTO SMORZATO DI UN CILINDRO

### Scopo

Ho voluto studiare come viene smorzato il moto di rotolamento di un cilindro su una superficie non levigata, raccogliendo e analizzando i dati con un dispositivo on-line.

### Materiali usati

- Tavolo orizzontale ricoperto con un panno
- Cilindro di legno: diametro  $(5,0\pm 0,1)cm$  ; altezza  $(8,0\pm 0,1)cm$  ; massa  $(100\pm 1)g$
- CBR appoggiato al tavolo, col sonar su un piano ortogonale a quello del tavolo

- CBL
- Calcolatrice TI-89 con programma "Physics"
- PC con implementato programma TI-Graph Link 89
- Cavi di connessione CBR-CBL, CBL-TI89, PC-TI89 (cavo Graph Link)

### Esecuzione

Le connessioni tra TI-89 , CBL e CBR sono eseguite come nei precedenti esperimenti. Il lancio del cilindro sul tavolo ricoperto da un panno è avvenuto cercando di non imprimere una gran velocità iniziale in modo che lo smorzamento risultasse evidente anche nel breve tratto analizzato.

### Analisi dei dati

Nelle figure 15, 16 e 17 sono riportati i grafici distanza-tempo, velocità-tempo, accelerazione-tempo così come elaborati dalla TI-89. Nel grafico dello spostamento si nota l'incurvamento dovuto agli attriti: il moto risulta ritardato, probabilmente in modo uniforme come sembra suggerire il grafico della velocità (andamento abbastanza rettilineo con pendenza negativa). Non si trova conferma di ciò nel terzo grafico nel quale le solite fluttuazioni dell'accelerazione sembrano assestarsi intorno ad un valore nullo o quasi. Effettivamente il valore medio dell'accelerazione dev'essere stato vicino allo zero, ma non certamente nullo. Anche qui occorrerebbe ripetere l'esperienza, in varie condizioni di attrito.

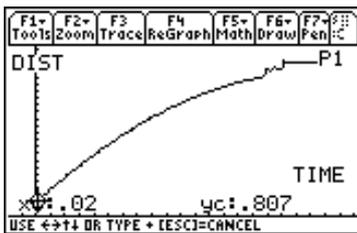


figura 15

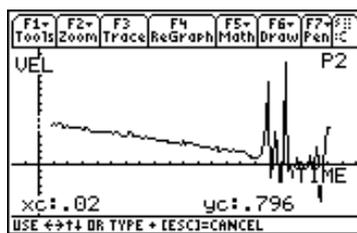


figura 16

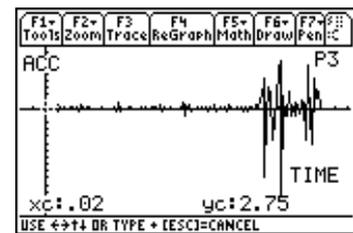


figura 17

La parte finale di ciascun grafico registra lo smorzamento, dovuto alla persona che fermava il cilindro a fine corsa. Come si nota, irregolarità e fluttuazioni sono qui molto più accentuate per l'intervento di forze esterne al sistema.

La corsa del cilindro, desumibile dal grafico dello spostamento, è di  $(1,31 \pm 0,01)m$  . I rilievi temporali sono stati eseguiti ogni  $0,02s$  .

Sul grafico velocità-tempo è possibile selezionare una regione, quella dove i dati sono più regolari, precisamente da  $0$  a  $2,14 s$  . Ciò può essere realizzato scegliendo da main menu il percorso:

3: analyze

5: select region

first bound  $0$  <enter>

second bound  $2.14$  <enter>

6: view graph

Appare il grafico velocità-tempo solo da  $0$  a  $2,14 s$  , cioè privato dell'ultimo tratto, quello relativo alla frenata (fig. 18).

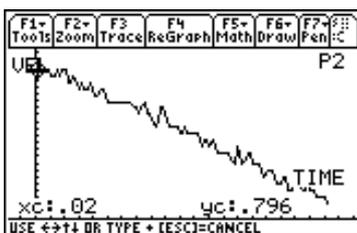


figura 18

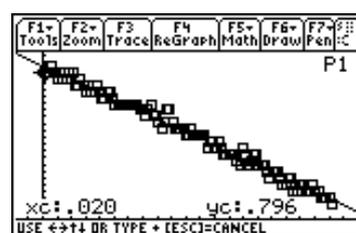


figura 19

Quindi, volendo trovare la retta di regressione, si segue il percorso:

3: analyze

1: curve fit

3: linear L1,L5

Appare sul visore della TI-89 :

$$Y = A * X + B$$

$$A = - .277$$

$$B = .829$$

$$R = - .993$$

Digitando <enter> appare il grafico precedente con in più la retta di regressione (fig. 19).

E' chiaro il significato fisico dei coefficienti A e B : A è l'accelerazione  $a = -0,277 \text{ m/s}^2$  ; mentre B rappresenta la velocità iniziale  $v_0 = 0,829 \text{ m/s}$  (naturalmente le variabili X e Y sono rispettivamente il tempo t e la velocità istantanea v dell'oggetto). Il coefficiente R è invece il coefficiente di correlazione lineare che, essendo molto prossimo al valore -1 , ci dice che le due grandezze X e Y (cioè t e v ) sono inversamente correlate.

Dunque il moto del cilindro si può ritenere, entro buona approssimazione, uniformemente ritardato con accelerazione di circa  $-0,28 \text{ m/s}^2$  .

## OSCILLAZIONI PERSISTENTI IN UN SISTEMA MASSA-MOLLA

### Scopo

Studio di oscillazioni persistenti in relazione alla forza applicata

### Materiali usati

- Un oggetto compatto usato come massa oscillante
- Molla abbastanza tenera agganciata ad un estremo dell'oggetto con lo spago
- Sensore di forza con asta piccola con attaccato morsetto di CBR fissato ad una mensola
- Bilancia da cucina
- CBR appoggiato la pavimento, col sonar affacciato alla faccia inferiore dell'oggetto
- CBL
- Calcolatrice TI-89 con programma "Physics"
- PC con implementati programmi TI-Graph Link 89 e Graphical Analysis
- Cavi di connessione CBR-CBL, CBL-TI89, PC-TI89 (cavo Graph Link grigio)

### Esecuzione

Simile a quella del precedente esperimento col sistema massa-molla, con la variante dell'introduzione della sonda di forza (scala fino a 10 N) oltre a quella di posizione (sonar). Quindi nell'impostazione occorre dichiarare che le sonde sono due.

### Analisi dei dati

Come nell'esperimento precedente, salvo avere in più il grafico della forza (vd figg. 20, 21, 22, 23).

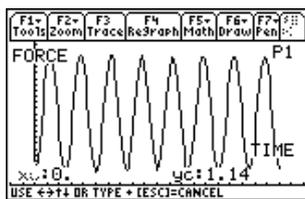


figura 20

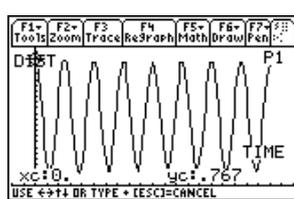


figura 21

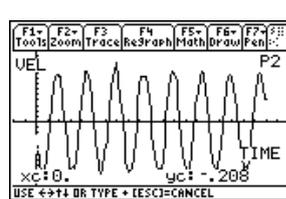


figura 22

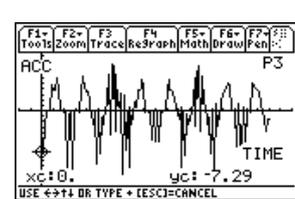


figura 23

Con l'uso di Graphical Analysis si possono elaborare i dati importati su PC .