

# LA FISICA A GARDALAND

Valter Giuliani, Irma Battagliese, Loredana Villa  
*Istituto Tecnico Commerciale Sperimentale "A.Greppi" Monticello Brianza (LC)*

## Abstract

We stress the fact that the attractions of a fun fair give, with the help of data collection equipment, the opportunity to study physical phenomena to a group of a High School students. Here are measurements obtained with an accelerometer and barometer related to some of the most extraordinary attractions in *Gardaland*. The system allows to analyse, for example, the speedy dive of the 'Space Vertigo' whose acceleration is very close to the gravity one, with consequent apparent weightlessness. The whole data collected has provided teaching aids for an exciting discussion at school.

## 1. Introduzione

In un parco divertimenti, come Gardaland, ci sono attrazioni che, oltre a procurare forti emozioni ai partecipanti, permettono di eseguire la verifica di leggi e l'analisi di fenomeni fisici. Il contesto è quello di un gigantesco laboratorio di fisica dove lo sperimentatore vive l'esperimento direttamente, piacevolmente e in modo divertente, addirittura con un pò di brivido.

Negli ultimi anni si è assistito ad un significativo incremento di gite a parchi di divertimento per lo studio "sul campo" della fisica. Articoli a riguardo si possono trovare su riviste come *The Physics Teacher*, editoriale dell'AAPT (American Association of Physics Teachers) la quale ha pubblicato uno specifico testo sull'argomento, *Amusement Park Physics*.

Tuttavia, senza l'utilizzo dei sistemi di acquisizione dati portatili *online*, l'esecuzione di misure fisiche sulle attrazioni, soprattutto su quelle più spettacolari, è difficoltosa e imprecisa. Il testo sopraindicato suggerisce, ad esempio, che in assenza dei sistemi di misura automatici, la determinazione dell'accelerazione possa essere eseguita con un semplice accelerometro autocostruito o reperibile presso le ditte di materiale didattico, il quale altro non è che un dinamometro a molla che, previa applicazione di una massa di valore noto permette la lettura, su una opportuna scala, dell'accelerazione. In realtà, un tale dispositivo non è preciso ed è poco pratico da utilizzare, soprattutto sulle attrazioni caratterizzate da brusche variazioni della velocità. I sistemi di misura *online*, raccogliendo automaticamente, rapidamente e con precisione i dati, permettono di passare da una trattazione semi-qualitativa ad una quantitativa anche in situazioni di rapido mutamento, rendendo possibile che una attività di carattere ludico assuma connotazioni di carattere scientifico.

## 2. Motivazioni didattiche

Nella nostra scuola da tre anni i docenti di fisica propongono agli studenti del secondo anno degli indirizzi tecnici e del quarto anno dell'indirizzo umanistico una uscita didattica a *Gardaland*. Con essa si intende condurre gli studenti ad una maggior comprensione dei fenomeni della meccanica, che è parte fondamentale del curriculum di queste classi, non solo attraverso modelli esplicativi o con esperimenti eseguiti in laboratorio ma anche con l'esperienza diretta. Quest'anno si è voluto arricchire la visita al parco giochi più famoso d'Italia con la strumentazione di misura *online* che da poco tempo è entrata a far parte dell'attrezzatura del laboratorio di fisica.

### 3. La strumentazione



Per la conduzione dell'esperimento sono stati utilizzati:

- accelerometro monoassiale "5 g" Vernier (LGA-BTA)
- sensore barometrico Vernier (BAR-BTA)
- interfaccia LabPro della Vernier
- calcolatrice grafico-simbolica TI-89 con installato il programma DataMate .

Durante le misure sulle attrazioni i sensori e l'interfaccia devono essere saldamente fissati allo sperimentatore; un giubbotto da pescatore si è rivelato ideale per questo scopo, poiché, essendo dotato di molte tasche di diverse dimensioni, ha permesso l'alloggiamento della strumentazione, come mostra la figura 1. La calcolatrice grafica serve per impostare i tempi di campionamento e la durata della registrazione e, una volta effettuata la misurazione, permette di effettuare una prima valutazione dei dati raccolti

Figura 1.

### 4. *Flying Island* , *Space Vertigo* e *Magic Mountain*

Le misure sono state eseguite su tre delle più spettacolari attrazioni di Gardaland: *Flying Island*, *Space Vertigo* e *Magic Mountain*. Nell'attrazione *Flying Island* i viaggiatori trovano posto su una piattaforma panoramica circolare che viene sollevata sino ad una altezza di circa 50 metri dal suolo grazie ad un lungo braccio meccanico che la solleva lateralmente, facendole compiere un arco di quasi 90 gradi nell'aria (vedi fig.2). Questa attrazione, pur spettacolare, perché permette di osservare dall'alto il parco divertimenti e le bellezze del lago di Garda, non è particolarmente emozionante poiché sia la salita che la successiva discesa sono lente. Tuttavia rappresenta un ottimo banco di prova per la strumentazione.

*Space Vertigo* è invece un'attrazione da brivido. Si tratta di una torre con vagoncini che la circondano sui quali trovano posto i passeggeri (vedi fig.3).



*Figura 2*



*Figura 3*

Si viene trainati in cima alla torre, quindi, dopo un attimo di sosta, i supporti che trattengono i vagoncini vengono tolti di colpo e i passeggeri precipitano in caduta pressoché libera fino a pochi metri dal suolo, dopo di che si viene rallentati fino all'arresto.

*Magic Mountain* è un percorso di montagne russe molto emozionante caratterizzato da una discesa iniziale che fornisce un forte senso di “vuoto d’aria” ai partecipanti, due giri della morte e da due avvitamenti (vedi fig. 4).



*Figura 4*

## **5. Dati acquisiti e loro elaborazione**

Eseguita l’acquisizione dei dati si è operata una prima valutazione delle misure in loco attraverso le opzioni che il programma *DataMate* [1] della calcolatrice grafica TI-89 mette a disposizione.

Una analisi più approfondita è stata effettuata nei giorni successivi in classe sia con l’ausilio degli strumenti di elaborazione della calcolatrice grafica sia del foglio elettronico Excel [2]. E’ opzionale l’uso di Excel; per scelta si è voluto verificare la possibilità di esportare i dati e utilizzarli, su un computer, con un altro programma.

## Flying Island

Era stato precedentemente impostato il programma DataMate sulla TI 89 per una lettura della pressione atmosferica e della accelerazione a intervalli di 0.5 secondi, per un tempo complessivo di 3 minuti e mezzo, che è la durata dell'attrazione. I grafici ottenuti sono riportati nelle figure 5 e 6.

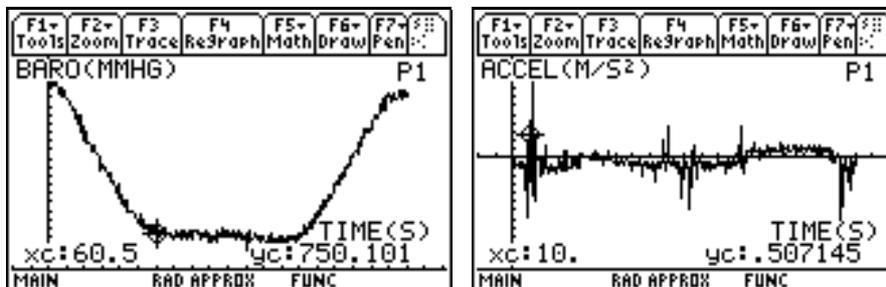
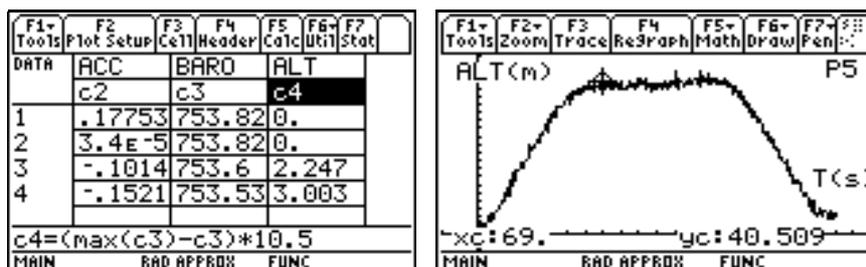


Fig.5 e 6 – Valori della pressione atmosferica e dell'accelerazione in funzione del tempo.

Il primo grafico (fig.5) mette ben in evidenza la diminuzione della pressione atmosferica con l'altitudine che, dal valore iniziale di 753.8 mmHg, scende di oltre 3 mmHg quando la piattaforma raggiunge, dopo un minuto, la massima altezza. Poiché la variazione di pressione di 1mmHg corrisponde a un dislivello di circa 10.5 metri [3] è possibile costruire una specie di profilo altimetrico del percorso effettuato da Flying Island. Per fare ciò si può utilizzare un foglio elettronico, come l'ambiente Data/Matrix Editor della calcolatrice, richiamando i dati raccolti nelle colonne c1(tempo), c2(accelerazione) e c3 (pressione atmosferica). Essendo massima la pressione a livello del suolo, le altezze successive, in metri, sono ottenibili muovendo il cursore nella cella di intestazione della colonna c4 ed inserendo, come mostrato nella figura 7, la seguente formula:

$$\text{altezza} = (\max(c3) - c3) * 10.5$$



prescindendo dalla rumorosità del segnale, i viaggiatori della piattaforma panoramica sono stati sottoposti ad una accelerazione risultante nella direzione verticale che non si discosta molto dallo zero (il valore massimo registrato è  $0.5 \text{ m/s}^2$ ). Alla partenza, al raggiungimento della massima altezza e al termine della discesa si registrano gli scostamenti più significativi.

### Space Vertigo

Mentre il moto su Flying Island si è svolto senza brusche variazioni della velocità, i passeggeri di Space Vertigo, un'altra attrazione caratterizzata da una salita ed una discesa, sono stati sottoposti, anche se per breve tempo, ad intense accelerazioni, come evidenziato nei sottostanti grafici di figura 9 e 10, ottenuti con un tempo di campionamento di 0.1 secondi per una durata di registrazione complessiva di 30 secondi.

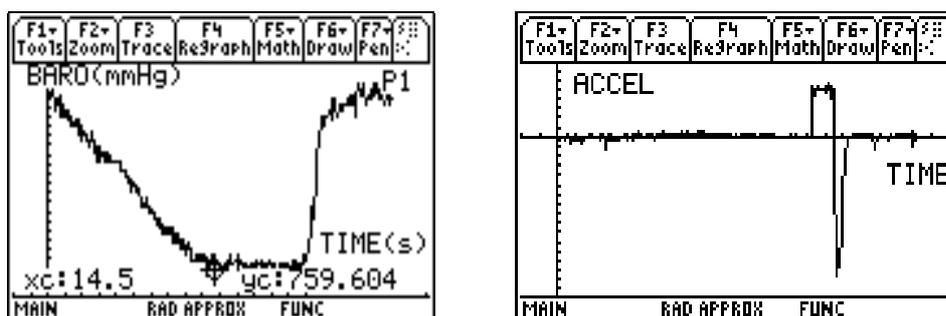


Fig.9 e 10 – Valori della pressione atmosferica e dell'accelerazione in funzione del tempo sullo "Space Vertigo"

Il grafico dell'andamento della pressione atmosferica di figura 9 mette subito in evidenza come la discesa dalla torre sia avvenuta in tempi molto più brevi della salita. I passeggeri scendono verso il suolo con un'accelerazione il cui valore è prossimo a quella di gravità, come si evince dal grafico delle figure 10 e 11.

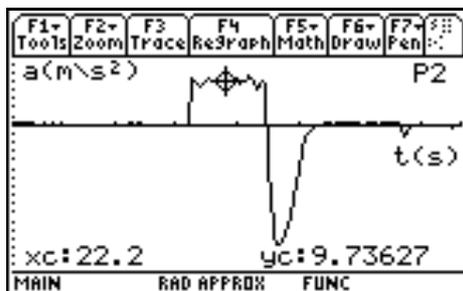


Fig.11 – L'andamento dell'accelerazione verso il tempo dopo un ZoomBox sul grafico di figura 10.

Per meglio mettere in evidenza le varie fasi che caratterizzano l'attrazione, i dati sono stati importati, mediante il software TI-Graph Link, nel foglio elettronico Excel. E' stata ottenuta la rappresentazione grafica dell'andamento dell'altezza dal suolo e dell'accelerazione in funzione del tempo ottenendo il seguente grafico (figura 12):

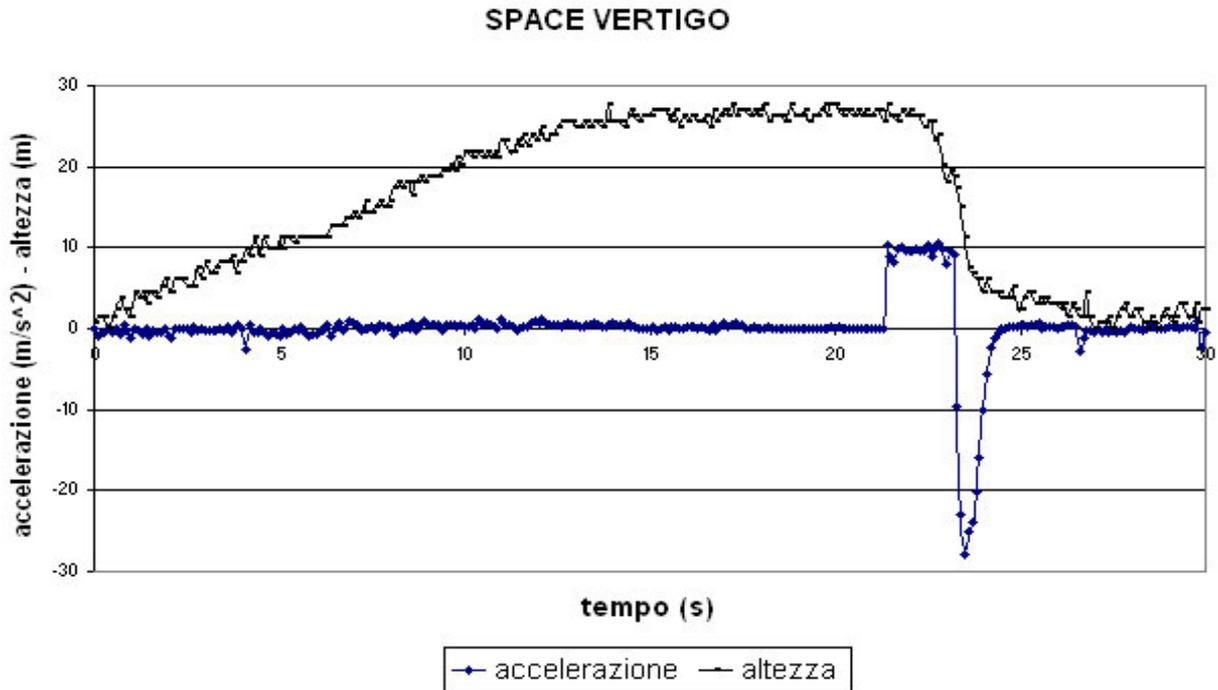


Fig. 13 – Andamento dell'altezza dal suolo e dell'accelerazione in funzione del tempo ottenuta con Excel

Dal grafico si può osservare che la sommità della torre viene raggiunta dopo circa 17 secondi. Poiché la salita è avvenuta a velocità pressoché costante l'accelerazione, salvo piccole oscillazioni, si discosta poco dallo zero. La fase della sosta alla massima quota, ben evidente nel “grafico altimetrico”, della durata di circa 4 secondi, è caratterizzata da un'accelerazione nulla come mostrato nel diagramma dell'accelerazione. Successivamente i vagoncini con i passeggeri vengono lasciati cadere liberamente con un'accelerazione che ha un andamento rettilineo pressoché orizzontale, di valore prossimo a quello di gravità, e quindi sono, per circa due secondi, in uno stato di *caduta libera* e quindi di *imponderabilità*, o in "assenza di peso" [4]. Dopo la caduta libera si osserva il brusco rallentamento fino all'arresto caratterizzato da una decelerazione ben più intensa di quella di gravità, che riporta il passeggero nello stato di quiete.

Dopo l'analisi dei grafici si è studiato il moto di caduta libera da un punto di vista cinematico ed energetico. Si è voluto verificare se i dati raccolti rispecchiano le leggi di un moto uniformemente accelerato, ed infine esaminare come cambiano durante il moto l'energia cinetica e l'energia potenziale. Per fare ciò è stato utilizzato l'ambiente Data/Matrix Editor della TI 89.

Per avere una conferma che il moto sia effettivamente uniformemente accelerato si è costruito il diagramma delle velocità e il diagramma orario dei dati relativi alla sola fase di caduta libera. Poiché l'accelerazione è stata misurata in modo discreto in tempi  $t_k$  separati tra loro dall'intervallo  $\Delta t = 0.1s$ , si può ottenere la velocità  $v_k(t_k)$  in quegli istanti calcolando l'area sottesa dal diagramma accelerazione-tempo mediante la formula  $v_k = \Delta t \sum_{i=1,k} (a_i)$ . Analogamente, ricordando che l'area sottesa dal diagramma velocità-tempo è lo spazio percorso, la determinazione dello spostamento  $s_k$  compiuto dall'inizio del moto di caduta libera fino all'istante  $t_k$  è definito dalla relazione  $s_k = \Delta t \sum_{i=1,k} (v_i)$ . Nell'ambiente Data/Matrix Editor è possibile calcolare le liste con i valori di  $v_k$  e  $s_k$  utilizzando il comando *cum.Sum()*, come mostrato in figura 14 e 15.

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell	F4+ Header	F5+ Calc	F6+ Util	F7+ Stat
DATA	ACCE	BARO	VELOC			
	c2	c3	c4			
1	10.221	759.53	1.0221			
2	8.9716	759.68	1.9192			
3	8.1306	759.68	2.7323			
4	9.7363	759.75	3.7059			
c4=.1*cumSum(c2)						
MAIN	RAD	APPROX	FUNC			

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell	F4+ Header	F5+ Calc	F6+ Util	F7+ Stat
DATA	BARO	VELOC	DIST			
	c3	c4	c5			
1	759.53	1.0221	.10221			
2	759.68	1.9192	.29413			
3	759.68	2.7323	.56735			
4	759.75	3.7059	.93794			
c5=.1*cumSum(c4)						
MAIN	RAD	APPROX	FUNC			

Fig. 14 e 15- Calcolo della velocità in m/s e dello spazio percorso in metri.

Ridefinendo i tempi in modo che la fase di caduta libera inizi a  $t = 0$  si ottengono i seguenti grafici:

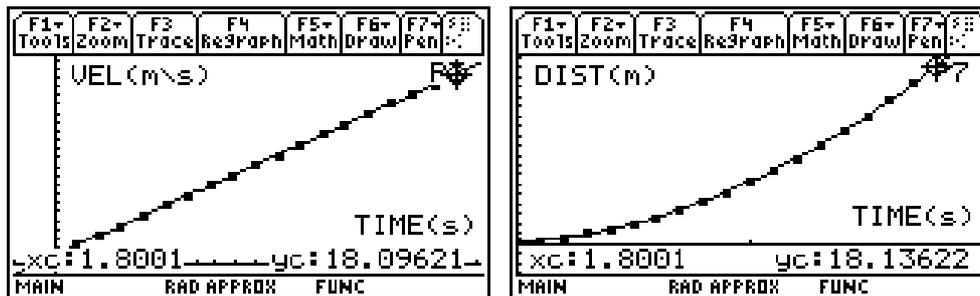


Fig.16 e 17 - Grafico della velocità e dello spazio percorso in funzione del il tempo durante la caduta libera.

Dal grafico di figura 16 appare più che plausibile l'ipotesi di una proporzionalità diretta tra velocità e tempo. Richiedendo dall'ambiente Data/Matrix Editor una interpolazione lineare del grafico per ricavare l'accelerazione come pendenza della retta che meglio interpola i dati, si è ottenuto per l'accelerazione il valore  $9.59 \text{ m/s}^2$  che è leggermente inferiore al valore di  $9.8 \text{ m/s}^2$  che rappresenta l'accelerazione di gravità per un corpo in caduta libera in prossimità della superficie terrestre e nel vuoto; ciò significa che gli attriti non erano eccessivi. Il successivo grafico di figura 17, che evidenzia la dipendenza quadratica tra distanza percorsa e tempo, permette di classificare il moto come uniformemente accelerato. Dai precedenti grafici o dalle relative tabelle si ricava la massima velocità raggiunta al termine della caduta libera,  $18.1 \text{ m/s} = 65 \text{ Km/h}$  (!), e lo spazio percorso durante questa fase: circa  $18 \text{ m}$ . Tenendo presente che la caduta è iniziata da un'altezza di  $27 \text{ m}$  si ricava lo spazio di frenata, quantificabile in  $9 \text{ m}$ . Essendo nulla la velocità finale e di circa  $1 \text{ s}$  il tempo di arresto, si ottiene un valore previsto per la decelerazione, se il moto fosse stato uniformemente decelerato, di  $a=vi/t=18 \text{ m/s}^2$ , valore in accordo con quanto rilevato dall'accelerometro.

Con le liste dei valori delle velocità e degli spostamenti è possibile analizzare il moto dal punto di vista energetico e verificare il principio di conservazione dell'energia. Nell'ambiente DataMatrix Editor si sono costruite le liste delle energie potenziali e cinetiche per un passeggero di massa pari a  $60 \text{ Kg}$ , come mostra la figura 18.

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell	F4+ Header	F5+ Calc	F6+ Util	F7+ Stat
DATA	Ecin	Epot	Etot			
	c7	c8	c9			
1	31.338	-60.16	-28.82			
2	110.5	-173.1	-62.62			
3	223.96	-333.9	-110.			
4	412.01	-552.1	-140.1			
c7=.5*60*c4^2						
MAIN	RAD	APPROX	FUNC			

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell	F4+ Header	F5+ Calc	F6+ Util	F7+ Stat
DATA	Ecin	Epot	Etot			
	c7	c8	c9			
1	31.338	-60.16	-28.82			
2	110.5	-173.1	-62.62			
3	223.96	-333.9	-110.			
4	412.01	-552.1	-140.1			
c8=60*9.81*c5						
MAIN	RAD	APPROX	FUNC			

F1+ Tools	F2+ Plot Setup	F3+ Cell	F4+ Header	F5+ Calc	F6+ Util	F7+ Stat
DATA	Ecin	Epot	Etot			
	c7	c8	c9			
1	31.338	-60.16	-28.82			
2	110.5	-173.1	-62.62			
3	223.96	-333.9	-110.			
4	412.01	-552.1	-140.1			
c9=c7+c8						
MAIN	RAD	APPROX	FUNC			

Fig.18 - Valori in Joule dell'energia cinetica(a sinistra), potenziale(al centro) e totale (a destra) per un passeggero di massa  $60 \text{ Kg}$  in caduta libera su Space Vertigo. I valori dell'energia potenziale sono negativi perché si è assunta, come quota di riferimento, l'altezza massima raggiunta dal passeggero.

Come si può notare dalle tabelle precedenti e dai grafici seguenti di figura 19 e 20, ad un aumento dell'energia cinetica corrisponde una diminuzione dell'energia potenziale che dà luogo ad un'energia totale che assume valori sempre più negativi.

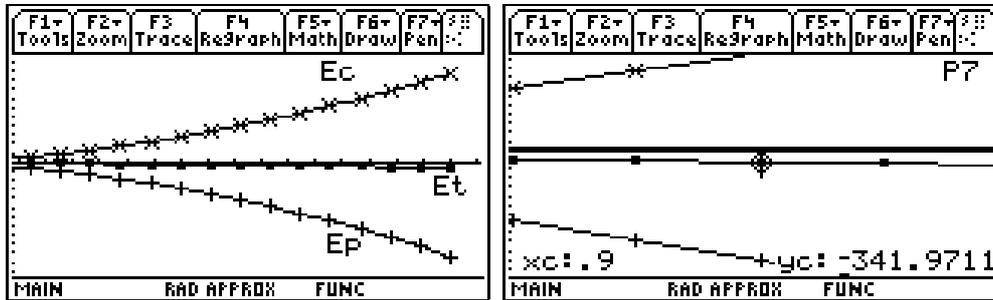


Fig 19 Rappresentazione dei valori dell'energia cinetica  $E_c(x)$ , dell'energia potenziale gravitazionale  $E_p(+)$  e dell'energia totale  $E_t(\square)$  del passeggero di Space Vertigo durante la fase di caduta libera.

Fig 20 Ingrandimento, ottenuto con il comando ZoomIn, della parte centrale della figura 19 per mettere in evidenza l'andamento dell'energia totale

Questo fatto risulta coerente con l'ipotesi che oltre alla forza peso che determina la caduta del passeggero verso il basso agiscano delle forze di attrito, opposte al moto stesso che riducono in parte l'energia cinetica che il corpo avrebbe acquistato in loro assenza; i valori negativi dell'energia totale, ovvero la perdita di energia cinetica, rappresentano il lavoro di tali forze.

E' stato interessante rilevare che, se per la determinazione dell'energia potenziale si utilizzano le altezze dedotte dalle misure della pressione atmosferica, invece di quelle ottenute con il processo di integrazione delle velocità, si ottiene, come mostrato nella figura 21, che l'energia totale è positiva: un risultato evidentemente assurdo [5].

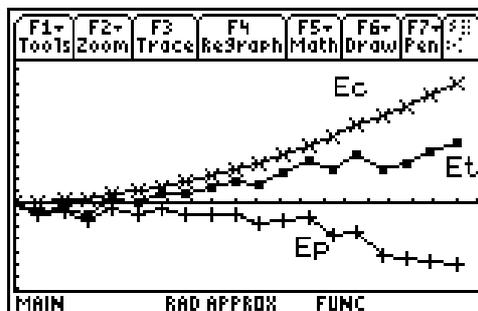


Fig.21 - Rappresentazione dei valori dell'energia cinetica, potenziale gravitazionale e totale del passeggero dello Space Vertigo ricavati considerando le altezze ottenute dalle misure della pressione atmosferica. E' evidente l'andamento inatteso dell'energia totale.

### Magic Mountain

Con un intervallo tra i campionamenti di 0.1 s ed una durata complessiva della registrazione di 80 s si sono ottenuti i grafici di figura 22 che mostrano l'andamento dell'altezza dal suolo e dell'accelerazione sulle montagne russe:

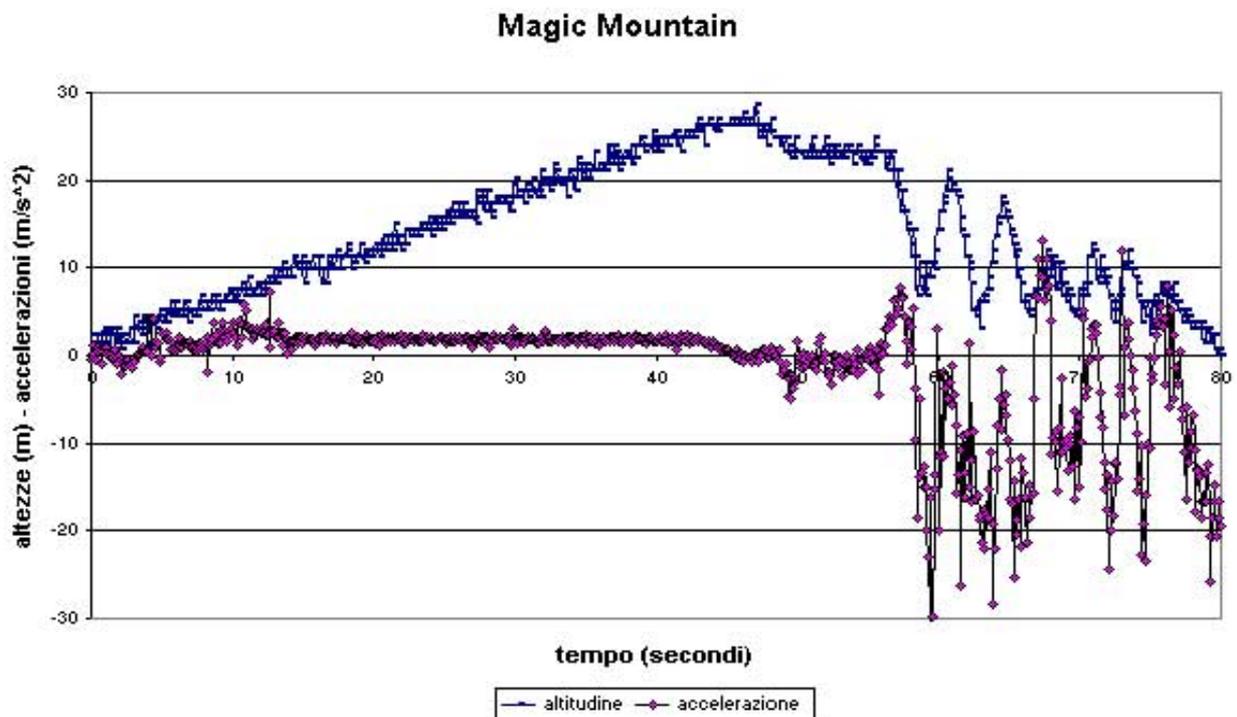


Fig.22 – Andamento della pressione atmosferica e dell’accelerazione ottenuta con Excel

Del percorso molto articolato di questa attrazione si intende presentare l’analisi eseguita sulla prima parte del tracciato. I vagoncini con i passeggeri dopo essere stati sollevati fino ad una altezza di circa 27 metri e dopo aver acquisito una certa velocità, grazie ad una piccola discesa iniziale, ne affrontano una seconda ben più impegnativa. Si è voluto stabilire se tale discesa ha, almeno inizialmente, un andamento di tipo parabolico. In tal caso, in quel tratto del percorso, i passeggeri, così come avviene per un proiettile lanciato orizzontalmente da una certa altezza, verrebbero sottoposti ad un’accelerazione verticale di valore pari a quella di gravità e quindi si troverebbero in caduta libera.

Le misure fornite dall’accelerometro devono essere valutate con attenzione poiché il sensore durante la discesa non mantiene la corretta posizione di funzionamento [6]. Pertanto, per verificare le ipotesi fatte, si è preferito confrontare il profilo della rotaia con l’equazione della traiettoria che percorrerebbe un corpo dotato di una velocità iniziale pari a quella posseduta dai passeggeri prima della caduta.



Con il programma *Microsoft Image Composer* è stato facile, utilizzando la seguente immagine (figura 23) dell’attrazione scattata con una fotocamera digitale, posizionare il puntatore del mouse lungo il profilo della rotaia e leggere le corrispondenti coordinate X,Y sullo schermo del computer.

Figura 23

La traiettoria teorica prevista, ricavabile dalle equazioni dei due moti che avvengono simultaneamente, orizzontale (rettilineo uniforme) e verticale (uniformemente accelerato), è:

$$y = h - \frac{g}{2v^2} x^2$$

dove  $h$  è l'altezza del tratto di discesa analizzato e  $v$  è la velocità orizzontale iniziale, il cui valore di 8 m/s è ricavabile applicando il principio di conservazione dell'energia tra l'inizio e la fine della piccola discesa iniziale. Con un'opportuna trasformazione di coordinate eseguita nell'ambiente Data/Matrix Editor, è stato possibile ridurre alla stessa scala la traiettoria effettivamente percorsa e quella prevista teoricamente. I risultati, mostrati nelle seguenti figure 24 e 25, mostrano che la discesa non viene affrontata nelle condizioni di caduta libera.

F1+ Tools	F2 Plot Setup	F3 Cell	F4 Header	F5 Calc	F6+ Util	F7 Stat
DATA	Xmis	Ymis	Yteo			
	c1	c2	c3			
1	0.	12.52	12.52			
2	.72	12.48	12.48			
3	1.4	12.4	12.369			
4	2.12	12.36	12.174			
c3=12.52-.077*c1^2						
MAIN	RAD APPROX		FUNC			

Fig. 24 – Calcolo della traiettoria seguita dal trenino delle montagne russe ( $X_{mis}$ ,  $Y_{mis}$ ) e della traiettoria parabolica teorica.

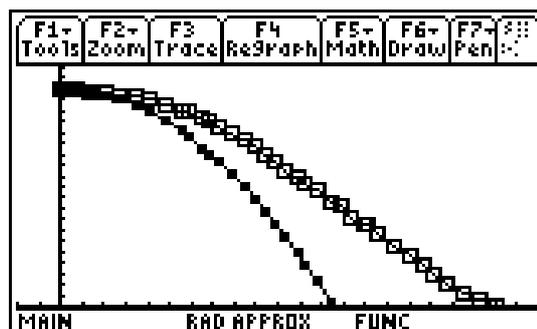


Fig. 25 - Traiettoria parabolica di un corpo lanciato orizzontalmente con velocità uguale a  $v=8$  m/s (quadrato nero) e traiettoria seguita dal trenino delle montagne russe durante la ripida discesa (quadrato bianco) .

## 6. Considerazioni finali

Accanto all'aspetto indubbiamente ludico del contesto in cui avviene la raccolta dati, le successive fasi di rielaborazione e sistematizzazione dei medesimi si rivelano uno strumento didattico efficace che può trovare una sua collocazione nella programmazione disciplinare, affiancando le più tradizionali e collaudate metodologie di insegnamento della Fisica.

Tale lavoro permette di conseguire altre finalità, certamente non trascurabili: la consapevolezza della possibilità di descrivere in termini di leggi e trasformazioni fisiche molti eventi osservabili al di fuori dei laboratori scolastici, utilizzando tecniche di misura e strumenti elettronici per l'elaborazione dei dati, e la comprensione dell'utilità di formulare ipotesi teoriche nonché della necessità di valutarne il grado di attendibilità attraverso una verifica.

La discussione nata tra gli studenti, che ha coinvolto anche quelli solitamente meno motivati, su alcuni contenuti ( "assenza di peso", energia e lavoro delle forze di attrito) e il successivo momento di lezione dialogata con la guida dell'insegnante che ne è scaturito, ha avuto una duplice finalità: la prima di tipo educativo, indirizzata al confronto di idee e all'organizzazione del lavoro, la seconda orientata al potenziamento di competenze e capacità specifiche, attraverso l'approfondimento ed il consolidamento dei principali contenuti di Meccanica.

### Appendice. Le procedure per la raccolta dei dati con LabPro e DataMate

Nella calcolatrice deve essere installato il gruppo di programmi DataMate. Accendere la calcolatrice ed il LabPro e collegarli con il cavetto apposito. Dopo aver connesso l'accelerometro al canale 1 e il barometro al canale 2 del LabPro , si avvia il programma DataMate digitando sulla riga di comando della calcolatrice: " DataMate()" e premere ENTER. Dopo la videata iniziale, compare

il MAIN MENU. Da MAIN MENU si preme il tasto numerico 1:SET UP. Questa scelta fa aprire una finestra che richiede di selezionare le sonde. Portarsi sul canale 1:CH 1 e premere ENTER; compare l'elenco delle sonde e da esso scegliere di utilizzare la sonda LOW G ACCELEROMETER. Per la calibrazione della sonda dalla finestra di SETUP premere il tasto numerico 2:CALIBRATE; premere nuovamente il tasto 2:CALIBRATE NOW. La calibrazione viene effettuata sfruttando l'accelerazione di gravità nel seguente modo [7]: posizionare l'accelerometro con la freccia marcata sull'involucro che punta verso il basso e quando il valore di tensione in corrispondenza del primo punto di calibrazione che compare sulla schermata è stabile premere ENTER e digitare il valore 0. Ruotare l'accelerometro in modo che la freccia ora punti verso l'alto; quando il valore di tensione in corrispondenza del secondo punto di calibrazione è stabile premere ENTER e digitare il valore numerico 19.6. Premendo 1:OK si ritorna alla videata di SETUP. Con il cursore portarsi sul secondo canale, CH 2. La sonda barometrica viene autoriconosciuta ma è necessario definire l'unità di misura della pressione: premere il tasto numerico 2 per scegliere, ad esempio, i mmHg. Non è necessaria per questa sonda la calibrazione perché viene eseguita dalla Ditta costruttrice. Ritornati al menù di SETUP con il cursore portarsi su MODE e premere prima ENTER e poi il tasto numerico 2:TIME GRAPH che permette di scegliere l'intervallo di tempo tra i successivi campionamenti ed il numero di dati da acquisire. Per modificare i valori riportati premere 2:CHANGE TIME SETTINGS ed inserire i nuovi valori. Per preparare il sistema alla misura senza l'ausilio della calcolatrice digitare il tasto numerico 3:ADVANCE, dalla videata del TIME GRAPH SETTING. Premere due volte il tasto numerico 3, per selezionare prima CHANGE TRIGGERING e poi MANUAL TRIGGER. Premere tre volte il tasto 1:OK e il tasto 2:START; il messaggio successivo chiede di premere il tasto START/STOP sul LabPro quando si è pronti per l'acquisizione. Uscire dal programma DataMate premendo prima ENTER poi il tasto numerico 6:QUIT ed infine F5. Scollegare la calcolatrice al LabPro: il sistema è pronto per l'acquisizione dei dati in modalità separata dalla calcolatrice. Per trasferire le misure effettuate ricollegare il LabPro alla calcolatrice e avviare il programma DataMate. Una schermata chiede di selezionare il menu 5:TOOLS e, successivamente, il menu 2:RETRIVE DATA. Con questi comandi si rendono disponibili i grafici creati dai dati raccolti.

### Note e riferimenti bibliografici

- [1] Si è utilizzato il programma DataMate perché, essendo incluso nel LabPro, è immediato il suo trasferimento sulla calcolatrice. In alternativa si può far uso di altri programmi che siano in grado di gestire le sonde, come *Physics*, disponibile gratuitamente sul sito della Vernier [www.vernier.com](http://www.vernier.com). In particolare la versione di questo programma sviluppata in Italia ha molte opzioni aggiuntive per la manipolazione ed analisi dei dati.
- [2] Le misure effettuate e le loro elaborazioni in formato Excel sono disponibili sul sito [www.fisicachimica.it](http://www.fisicachimica.it)
- [3] Per la legge che lega la pressione atmosferica all'altezza, e in generale sull'utilizzo di un sensore barometrico come altimetro, si veda l'articolo di G.Pezzi "*Fisica in vacanza* ", in IPOTESI anno 2, n.1 reperibile al sito [www.ti.com/calc/italia/ipotesi.html](http://www.ti.com/calc/italia/ipotesi.html)
- [4] In classe è sorto un interessante dibattito tra docente e studenti su cosa si intende per imponderabilità. Si è fatto notare che anche gli astronauti in orbita attorno alla Terra si trovano in queste condizioni poiché sono in caduta libera verso il centro del nostro pianeta. Tuttavia si è precisato che i passeggeri dello Space Vertigo si sono in realtà trovati in una "assenza di peso apparente" intendendo per peso apparente il peso che misurerebbe una bilancia posta tra il passeggero e il seggiolino. Durante la caduta libera il peso apparente si annulla poiché la bilancia e il passeggero cadrebbero insieme e quindi non potrebbero esercitare una forza l'uno contro l'altro. Invece il *peso vero* non si annulla poiché esso è la forza gravitazionale che Terra esercita su un corpo e tale forza non è nulla né sullo *Space Vertigo* né a bordo di un'astronave in orbita.

- [5] L'energia totale risulta positiva perché l'energia potenziale assume sistematicamente valori minori di quelli attesi. Il sensore barometrico potrebbe aver misurato una pressione atmosferica inferiore per i non più trascurabili effetti della cosiddetta "pressione dinamica", prevista dall'equazione di Bernoulli della fluidodinamica quando esiste un movimento relativo tra sensore e fluido.
- [6] L'accelerometro, essendo direzionale, deve essere sistemato in modo che la freccia rossa, marcata sul suo involucro, sia sempre orientata nella direzione e verso del moto da analizzare. Nelle misure eseguite l'accelerometro, essendo stato utilizzato per misurare accelerazioni nella direzione verticale, è stato posizionato in modo da rivolgere la freccia verso il basso.
- [7] Una descrizione del principio di funzionamento e dell'utilizzo dell'accelerometro la si trova in G.Torzo "*Velocità di decollo di un aereo misurata con CBL<sup>TM</sup>*", in IPOTESI anno 4, n.2 reperibile sul sito Internet [www.ti.com/calc/italia/ipotesi.html](http://www.ti.com/calc/italia/ipotesi.html)