

## FISICA e TI-*nspire*™

Clementina D'Amico, MariaGrazia Rubino, Domenico Cariello  
Liceo Scientifico "G. da Procida" – Salerno

### PREMESSA

Da qualche anno il nostro obiettivo è proporre percorsi formativi per rinnovare metodi e contenuti nell'insegnamento della Fisica, avendo come riferimento le strategie e gli obiettivi fissati dalle istituzioni europee a partire dal Consiglio d'Europa di Lisbona nel 2000, dove è stato ribadito che una delle priorità in campo educativo per tutti i Paesi europei è la crescita di una educazione scientifica e tecnologica di qualità.

La Strategia di Lisbona<sup>1</sup> è stata pensata come uno strumento programmatico per trasformare l'Europa in un'avanzata società della conoscenza, competitiva e dinamica, obiettivo da raggiungere entro il 2010.

E' stato concordato, a questo scopo, un programma di lavoro molto articolato, chiamato "Education and Training 2010"<sup>2</sup>; in questo contesto sono stati esplicitati i punti nodali per il raggiungimento di tali obiettivi ribadendo che: "... la globalizzazione continua a porre l'Unione europea di fronte a nuove sfide, ciascun cittadino dovrà disporre di un'ampia gamma di competenze chiave per adattarsi in modo flessibile a un mondo in rapido mutamento e caratterizzato da forte interconnessione." È stato esplicitato altresì che "Le competenze sono definite in questa sede alla stregua di una combinazione di conoscenze, abilità e attitudini appropriate al contesto." e che "La competenza in campo scientifico si riferisce alla capacità e alla disponibilità a usare l'insieme delle conoscenze e delle metodologie possedute per spiegare il mondo che ci circonda".

L'alunno, dunque è un cittadino che deve interagire con una società tecnologicamente avanzata dove i ritmi di trasformazione rendono necessaria la cultura dell'immediatezza e dell'ubiquità.

Le nuove tecnologie sono uno strumento essenziale per rendere facile e continua la comunicazione e la collaborazione tra alunni e docenti.

Le attività formative proposte hanno perseguito e raggiunto l'obiettivo di fornire agli alunni conoscenze e competenze nel risolvere problemi in un ambiente, il laboratorio, attrezzato con tecnologie di nuova generazione.

### IL LAVORO SPERIMENTALE E IL SISTEMA TI-*nspire*™ CAS

Lo studio della Fisica, nell'accezione più galileiana del termine, impone un lavoro di tipo sperimentale costituito da più fasi che si possono sintetizzare in due parti principali: la *raccolta dei dati sperimentali* e la loro *analisi*.



Il nostro obiettivo consiste nell'effettuare esperimenti seguendo tutte le fasi con l'ausilio del sistema integrato TI-*nspire*™ CAS che ci consente di seguire percorsi speculativi sia di tipo fisico che matematico. La prassi ormai consolidata dell'insegnamento della Fisica con le nuove tecnologie prevede come passaggi quasi obbligati l'uso di sensori e i diversi ambienti dei CAS che ci forniscono potenti mezzi matematici e grafico-simbolici, che facilitano e accelerano i procedimenti. Nelle attività proposte abbiamo utilizzato la tecnologia disponibile per riprendere operazioni di solito abbandonate perché lunghe e

laboriose. Abbiamo cioè dato spazio ed attenzione anche a metodi empirici di analisi dei dati, a

<sup>1</sup> European Council, 2000, Presidency Conclusions of Lisbon European Council, 23 and 24 March 2000, [http://www.europarl.eu.int/summits/lis1\\_en.htm](http://www.europarl.eu.int/summits/lis1_en.htm)

<sup>2</sup> [http://europa.eu.int/comm/education/policies/2010/et\\_2010\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/education/policies/2010/et_2010_en.html)

tecniche ‘per tentativi’ che non sono rigorosissimi e non danno sempre risultati soddisfacenti ma sono utili perchè aprono la mente gradualmente sui vari passi del ragionamento scientifico e sull’approccio più intuitivo delle formule matematiche.

In questo contesto si inserisce lo studio delle relazioni sia empiriche sia analitiche tra le grandezze fisiche che il mondo reale propone quotidianamente dove l’utilizzo di TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS consente di ottimizzare i tempi e i modi. La nostra attenzione è rivolta alle relazioni di tipo analitico e alla ricerca della legge fisica che lega le grandezze misurabili seguendo le classiche fasi del lavoro sperimentale, dalla raccolta dei dati alla loro elaborazione. L’utilizzo dei vari ambienti presenti ci fornisce gli strumenti necessari, quali la tabella, il grafico, per poi procedere all’analisi dei dati, all’individuazione di un modello, alla formulazione delle leggi fisico-matematiche ed infine alla pubblicizzazione dei risultati. Il lavoro di laboratorio scientifico si scontra, però, con i limiti di tempo e con la necessità di acquisire dati di buona qualità con un’analisi ripetuta e sofisticata. In questa fase assume un ruolo fondamentale l’identificazione del modello in grado di adattarsi ai dati sperimentali. Nelle esperienze del laboratorio didattico da noi proposto sono stati individuati legami tra le grandezze fisiche, di proporzionalità diretta, inversa, quadratica o radicale.

Una delle finalità dell’insegnamento scientifico, a tutti i livelli, secondo noi, è quella di educare gli allievi a costruire modelli, ovvero delle rappresentazioni della realtà che possano descrivere e spiegare i fenomeni naturali e fare previsioni nel loro ambito di applicabilità. La costruzione di modelli risulta essere un’attività didatticamente molto formativa, in quanto consente di formulare analogie e differenze tra fenomeni del vissuto quotidiano e, nell’ottica di un’innovazione del processo di insegnamento-apprendimento che abbia come punto centrale l’interazione tra mondo reale e mondo matematico, mostra una visione unitaria delle scienze sperimentali.

Il processo di modellizzazione comporta una comprensione completa ed approfondita del fenomeno osservato e risulta senz’altro più formativo della semplice applicazione di formule e risoluzione di equazioni. Un modello consente di fare previsioni ed ha un campo di validità.

Importante è abituare gli allievi a procedere per approssimazioni e semplificazioni, dall’analisi del fenomeno alla costruzione di un modello interpretativo, distinguendo con chiarezza i diversi livelli di descrizione del fenomeno stesso, individuando le variabili che possono essere rilevanti nella sua descrizione, del suo modello fisico semplificato, del modello matematico che se ne deduce ed, eventualmente, delle approssimazioni di calcolo con il quale quest’ultimo si risolve.

Nell’affrontare il problema della modellizzazione, l’allievo si rende conto che ogni modello teorico contiene uno o più parametri che occorre determinare nel miglior modo possibile, per adattarlo ai dati sperimentali affetti da inevitabili incertezze.

1.1	1.2	1.3	RAD. APPROX. REALE				
A <sub>x</sub>	B <sub>t</sub>	C <sub>tt</sub>	D <sub>k</sub>	E	F	G	H
1	1.	.43	.1849	5.40...			
2	2.	.63	.3969	5.03...			
3	3.	.8	.64	4.68...			
4	5.1	.92	.8464	6.02...			
5	6.9	1.13	1.27...	5.40...			
$D1 = \frac{aI}{cI}$							

1.1	1.2	1.3	RAD. APPROX. REALE				
	B <sub>t</sub>	C <sub>tt</sub>	D <sub>k</sub>	E	F	G	H
							=One
1	1.	.43	.1849	5.40...		Tito...	Stati...
2	2.	.63	.3969	5.03...		$\bar{x}$	5.08...
3	3.	.8	.64	4.68...		$\Sigma x$	35.58
4	1	.92	.8464	6.02...		$\Sigma x^2$	182....
5	9	1.13	1.27...	5.40...		$\Sigma x^3$	.568...
6	4	1.46	2.13	4.40...		$\Sigma x^4$	5.25
H1 = "Statistiche a una variabile"							

In particolare, nel caso di una dipendenza lineare, il calcolo dei valori del parametro corrispondente a ciascuna coppia di dati sperimentali, pur rilevando un rapporto non costante, ma con oscillazioni che non evidenziano una chiara tendenza all’aumento o alla diminuzione, autorizza, quindi, a considerare la media dei valori calcolati, come stima del parametro.

Viene realizzata con TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS la tabella *del test di verifica* che rappresenta un passo importante per controllare la bontà del modello ipotizzato ed è anche un passaggio necessario per

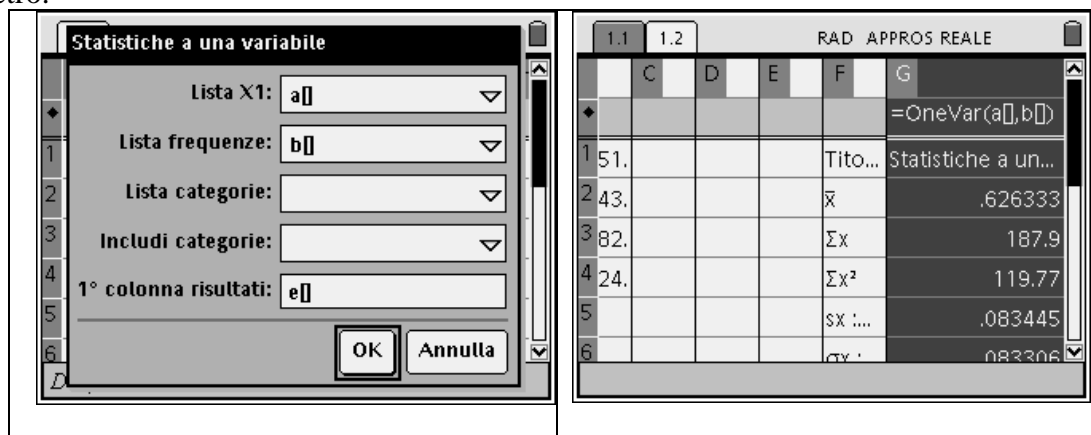
proseguire con l'elaborazione dei dati sperimentali. Ciò che giudichiamo significativo dal punto di vista didattico, è arrivare per approssimazioni al valore migliore da attribuire al parametro.

Dopo aver introdotto il concetto di minimizzazione del quadrato degli scarti, si utilizza il metodo “per tentativi” che richiede un'enorme quantità di calcoli, pertanto l'ambiente “Foglio elettronico” di TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS, risulta utile allo scopo.

Questa tecnica per tentativi non richiede calcoli complicati ma solo un pò di dimestichezza con l'ambiente integrato.

Le tecniche utilizzate sono estese senza troppe difficoltà a tutti i tipi di proporzionalità, operando un cambiamento di variabile che determina la linearizzazione o anche scegliendo direttamente una curva di regressione adatta.

Un altro problema che s'incontra nell'analisi dei dati è la valutazione dell'incertezza associata al parametro.



Anche in questo caso gli ambienti di TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS ci consentono di fare un confronto e un'analisi contemporanea di tabelle e grafici in modo che l'allievo possa valutare i punti critici e quelli di forza dei metodi più prettamente empirici e quelli che fanno uso di formule. E' chiaro che per i modelli a più parametri come la dipendenza lineare l'unica possibilità è l'uso di opportune formule.

L'utilizzo del sistema TI-*nspire*<sup>TM</sup> ci ha consentito di utilizzare i diversi metodi e di riflettere sulla bontà della loro applicazione.

### ATTIVITA' DIDATTICA

L'attività didattica proposta è rivolta ad una classe terza di liceo scientifico.

Si è partiti dallo studio fatto da Galileo sui corpi in caduta libera fino ad arrivare a situazioni in cui non è possibile trascurare gli effetti del mezzo sul moto di un corpo, come il moto di una goccia d'acqua in olio<sup>3</sup>, ma anzi è essenziale tenerne conto.

Si sono effettuate prove sperimentali con corpi di natura e forma diverse e analisi dei dati e sviluppo di modelli matematici.

Ogni volta il fenomeno è stato studiato nelle sue varianti più o meno complesse; gli allievi hanno proposto un modello utilizzando metodi analitico - algebrici e numerici, discutendo, verificandone i limiti e la sua validità di applicazione.

La raccolta dati con il CBR2 collegato al TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS, fatta in alcuni casi, ha facilitato l'osservazione dei fenomeni così come si verificano nella realtà consentendo un legame solido fra ipotesi teoriche ed esperimento in laboratorio.

L'utilizzo di TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS ha permesso di risolvere situazioni problematiche realistiche e di introdurre quesiti finalizzati alla costruzione di tecniche utili a risolvere problemi di varia natura sul moto dei corpi.

L'attività di laboratorio ha messo gli allievi in grado di misurarsi da soli, ognuno secondo le proprie capacità, con le leggi fisiche affrontate. Gli studenti hanno “indagato” i fenomeni fisici piuttosto che

<sup>3</sup> U. Amaldi, Temi e Immagini della Fisica, Laboratorio, Zanichelli, 1996, pag.F65

limitarsi a verificare conclusioni note, avendo la sensazione di “scoprire” personalmente la scienza e tutto quello che hanno fatto ha acquistato un significato più concreto.

<b>PREREQUISITI</b>	
Conoscenze	Abilità
Unità di misura delle grandezze fisiche. Concetti fondamentali per descrivere il moto di un corpo. Velocità media, velocità istantanea Accelerazione. Moto uniforme, moto vario.	Conoscere e usare il SI Descrivere le traiettorie di uno stesso moto visto da riferimenti spaziali diversi.  Rappresentare in grafici (s,t) e (v,t) diversi tipi di moto osservati.

<b>OBIETTIVI</b>	
Conoscenze	Abilità
Il problema della caduta libera e l'opera di Galileo  Caduta libera.  La caduta nell'aria e in un fluido viscoso  Modelli descrittivi ed interpretativi, limiti e validità di un modello.	Effettuare esperimenti per ricavare relazioni tra le grandezze fisiche coinvolte, utilizzando gli strumenti di misura più idonei. Analizzare criticamente dati sperimentali. Utilizzare modelli matematici per descrivere le relazioni tra le variabili coinvolte nel moto di caduta di un corpo  Risolvere problemi utilizzando un linguaggio algebrico e grafico appropriato ed esprimendo i risultati nelle corrette unità di misura. Applicare le conoscenze acquisite al mondo reale

Durante il percorso, sono state proposte schede di lavoro nelle quali si sono poste domande e, spesso, si sono avviate attività, individuali o di gruppo, per la risoluzione di problemi che portano all'acquisizione di competenze.

La valutazione finale è avvenuta attraverso test, relazioni e colloqui.

L'attività di laboratorio è stata prevalentemente svolta con gli allievi divisi in gruppo. I materiali usati per le esperienze di laboratorio sono tutti di facile reperibilità.

### CADUTA DI UN CORPO

Per studiare le caratteristiche del moto di caduta di un corpo, gli allievi lasciano cadere liberamente, sotto l'azione della forza peso, una pallina e misurano il tempo con cui compie il suo percorso verticale. I materiali occorrenti sono di facile reperibilità: Una pallina. Un cronometro. Un metro a



nastro, da fissare ad una superficie verticale. Usando un comune metro a nastro si può misurare la lunghezza del percorso con una precisione prossima al millimetro.

Per misurare il tempo  $t$  impiegato nella caduta, anche avendo a disposizione un cronometro con sensibilità al centesimo di secondo, la precisione ottenibile nella misura del tempo di caduta sarebbe comunque dell'ordine dei decimi di secondo, a causa del tempo di reazione dell'operatore, stimato intorno a 0.3s.

Vengono eseguite complessivamente da tutta la classe 300 misure.

Con i risultati ottenuti, riportati in una tabella, si calcolano le frequenze assolute dei valori del tempo misurati.

Per ogni altezza, gli allievi fanno un istogramma rappresentativo della misura, calcolano il valore medio del tempo di caduta e il suo scarto quadratico medio.

La tabella delle frequenze viene inserita in un foglio per farne l'analisi statistica:

The first screenshot shows a spreadsheet with columns A through H. Column A contains time values (t) and column B contains frequency values (f). The data is as follows:

	A t	B f	C	D	E	F	G	H
1	.3	39.						
2	.4	154.						
3	.5	93.						
4	.6	14.						
5								
6								

The second screenshot shows the same spreadsheet with a menu open for statistical analysis. The menu options are:

- 1: Azioni
- 2: Inserisci
- 3: Dati
- 4: Statistiche
- 5: Tabella funzioni

The third screenshot shows the same spreadsheet with a menu open for statistical analysis. The menu options are:

- 1: Statistiche a una variabile
- 2: Statistiche a due variabili
- 3: Regressione lineare (mx+b)
- 4: Regressione lineare (a+bx)
- 5: Linea mediana-mediana
- 6: Regressione quadratica
- 7: Regressione cubica
- 8: Regressione quartica
- 9: Regressione su potenza
- A: Regressione esponenziale
- B: Regressione logaritmica
- C: Regressione sinusoidale
- D: Regressione logistica (d=0)

The fourth screenshot shows the same spreadsheet with the following data in column F:

	A t	B f	C	D	E	F	G	H
1	.3	39.				=OneVar(a,b)		
2	.4	154.				Tit...	Statistiche a un...	
3	.5	93.				$\bar{x}$	.427333	
4	.6	14.				$\Sigma x$	128.2	
5						$\Sigma x^2$	56.44	
6						$s_x$ ...	.074418	
7						$s_x$ ...	.074294	

Il tempo medio di caduta dall'altezza di 1m è  $(0.43 \pm 0.07)s$

Si ripete lo stesso procedimento per una pallina che cade da  $h=2m$  e si ottiene il valore

$t = (0.63 \pm 0.08)s$

1.1	1.2	RAD APPROS REALE				
		C	D	E	F	G
1	51.				Tit...	Statistiche a un...
2	43.				$\bar{x}$	.626333
3	82.				$\Sigma x$	187.9
4	24.				$\Sigma x^2$	119.77
5					$s_x$ ...	.083445
6					$s_x$ ...	.083306

In questo l'esperimento, finché la velocità della pallina rimane piccola (inferiore ad una decina di metri al secondo) l'effetto di frenamento opposto dall'aria resta infatti trascurabile rispetto al peso.

Ripetiamo l'esperimento con altezze di caduta diverse. Per far questo, ci serviamo di una corda lunga 15m lungo la quale dei bulloni sono fissati a distanze precise. La si lascia cadere su una piattaforma metallica che amplifica il rumore d'impatto dei bulloni. Si procede alla rilevazione dei tempi di caduta fermando il cronometro in corrispondenza del rumore di impatto del singolo bullone. Naturalmente, anche in questo caso la misura viene ripetuta più volte e se ne considera la media come valore vero.

Usando la relazione che esprime la velocità media in termini dello spazio percorso e del tempo  $t$  impiegato a percorrerlo, gli studenti calcolano anche il valore della velocità media di caduta con la sua incertezza.



Le posizioni dei bulloni sono distanziate di almeno un metro per poter apprezzare le differenze nei tempi di caduta. Riportando i dati in un grafico, gli allievi si rendono conto che il tempo di caduta aumenta all'aumentare dell'altezza di caduta: il problema è trovare la curva interpolante. Anche questo problema viene facilmente risolto con TI-*nspire*™ CAS.

Si inseriscono i dati in un foglio, nella colonna A l'altezza di caduta, in B il tempo medio di caduta, in C il quadrato del tempo, nella colonna D il rapporto altezza/tempo<sup>2</sup>

1.1	1.2	1.3	RAD APPROS REALE					
A x	B t	C	D	E	F	G	H	
1	1.	.43						
2	2.	.63						
3	3.	.8						
4	5.1	.92						
5	6.9	1.13						
6	9.4	1.46						
B1   .43								

1.1	1.2	1.3	RAD APPROS REALE					
A x	B t	C tt	D	E	F	G	H	
1	1.	.43	$b t^2$					
2	2.	.63						
3	3.	.8						
4	5.1	.92						
5	6.9	1.13						
$= b t^2$								

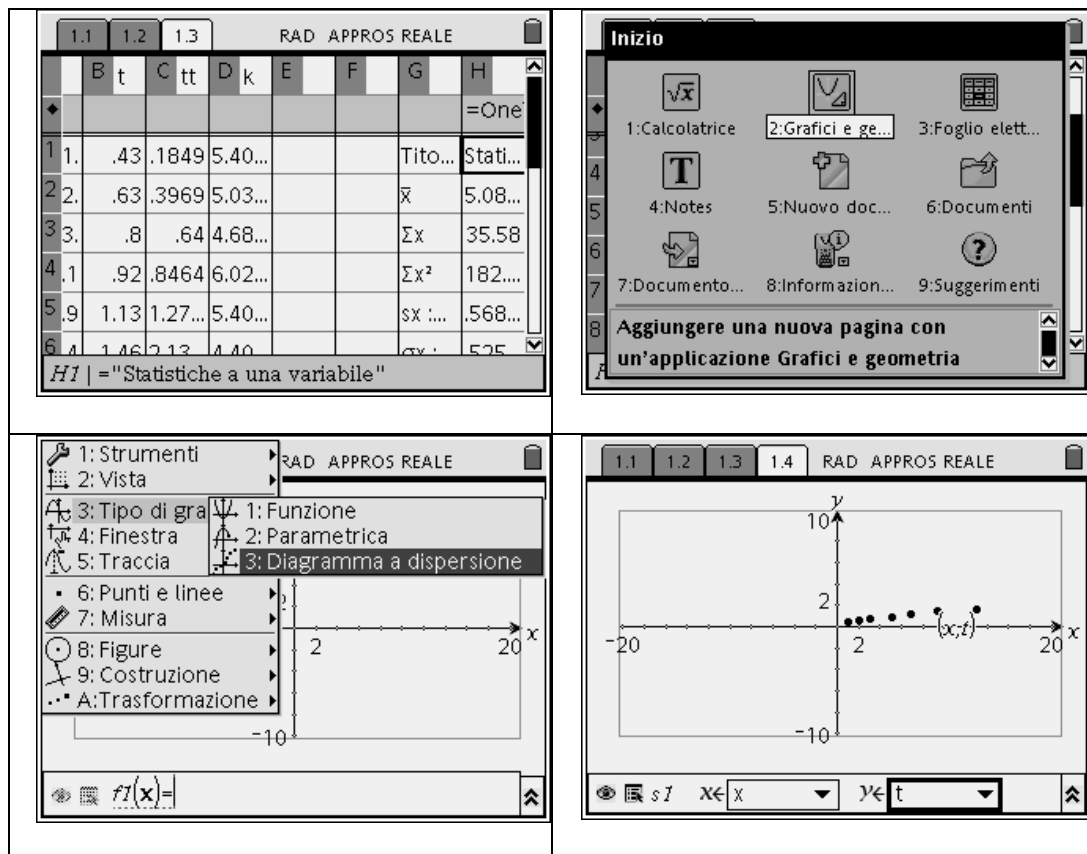
1.1	1.2	1.3	RAD APPROS REALE					
A x	B t	C tt	D k	E	F	G	H	
1	1.	.43	.1849	5.40...				
2	2.	.63	.3969	5.03...				
3	3.	.8	.64	4.68...				
4	5.1	.92	.8464	6.02...				
5	6.9	1.13	1.27...	5.40...				
$= b t^2$								

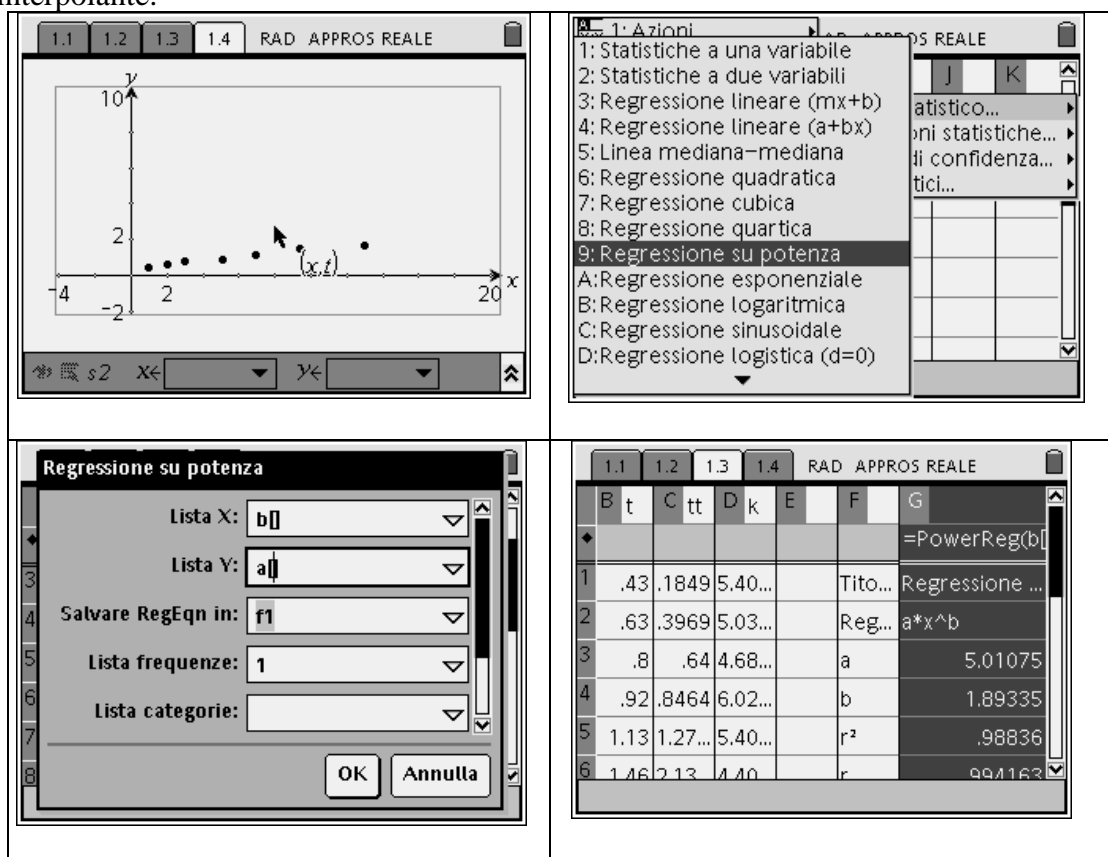
1.1	1.2	1.3	RAD APPROS REALE					
A x	B t	C tt	D k	E	F	G	H	
1	1.	.43	.1849	5.40...				
2	2.	.63	.3969	5.03...				
3	3.	.8	.64	4.68...				
4	5.1	.92	.8464	6.02...				
5	6.9	1.13	1.27...	5.40...				
$= b t^2$								

Si discutono i valori ottenuti e se ne fa l'analisi statistica  $K = (5.08 \pm 0.53) \text{ m/s}^2$

Si può inserire un grafico del tipo a dispersione, per valutare la relazione tra le grandezze coinvolte.



Si discute del grafico ottenuto, si modifica a piacere la finestra grafica e si aggiunge una possibile curva interpolante:



Si può anche linearizzare la relazione provando la regressione lineare tra  $x$  e  $t^2$

Left screenshot: 'STAT' menu with '4: Regression line (a+bx)' selected.

Right screenshot: 'STAT' table with columns C, D, E, F, G and rows 1 through 6. The formula bar shows '=LinRegBx(c[],a[],1)'.

Si passa poi a discutere la relazione velocità media/altezza:

Top-left screenshot: 'STAT' table with columns A, B, C, D, E, F, G and rows 1 through 5. The formula bar shows  $C1 = \frac{a1}{b1}$ .

Top-right screenshot: Scatter plot of y vs x with data points (h, v). The x-axis is labeled 'x' and the y-axis is labeled 'y'.

Bottom-left screenshot: Scatter plot of y vs x with data points (h, v). The x-axis is labeled 'x' and the y-axis is labeled 'y'.

Bottom-right screenshot: 'STAT' table with columns A, B, C, D, E, F, G and rows 1 through 5. The formula bar shows  $F1 = \frac{d1}{a1}$ .

È evidente la non linearità! Per trovare la relazione tra v e h, continuano i tentativi:

Left screenshot: 'STAT' menu with '9: Regression su potenza' selected.

Right screenshot: 'Regresione su potenza' dialog box with 'Lista X: a[]', 'Lista Y: c[]', 'Salvare RegEqn in: f1', 'Lista frequenze: 1', and 'Lista categorie:'.



1.1		1.2		1.3		RAD APPROS REALE	
√	E	k	F	kk	G	H	I
◆							=PowerReg(a[],c[],
1	...	2.32...	5.40...		Tito...	Regressione su ...	
2	...	1.58...	5.03...		Reg...	$a \cdot x^b$	
3	...	1.25	4.68...		a	2.32161	
4	...	1.08...	6.02...		b	.477984	
5	...	.884...	5.40...		$r^2$	.986148	
6	...	.684	4.40		r	.99305	

Per studiare la caduta da un'altezza inferiore a 1m, usiamo un dispositivo elettromagnetico per lo studio del moto di caduta libera.

Una pallina di metallo cade all'interno di un tubo trasparente con un dispositivo elettromagnetico che registra il tempo che la pallina impiega a percorrere lo spazio fra due traguardi segnati da fotocellule. Il tubo è lungo un metro. Il cronometro, azionato da un segnale elettromagnetico, consente una maggiore precisione nelle misure di tempo. Si effettuano, in ogni caso, più misure di tempo per una stessa lunghezza e si riportano in tabella i valori medi. Si discutono i risultati ottenuti. E' evidente la costanza del rapporto  $h/t^2$ !!!! Ne calcoliamo la media e lo scarto, i risultati sono:  $k = (4.30 \pm 0.08) \text{ m/s}^2$

1.1	RAD APPROS REALE						
A h	B t	C tt	D k	E	F	G	H
1	.4	.31	.0961	4.16...			
2	.6	.37	.1369	4.38...			
3	.8	.43	.1849	4.32...			
4	1.	.48	.2304	4.34...			
5							
$Dt = \frac{a t^2}{c t^2}$							

1.1	RAD APPROS REALE						
	C tt	D k	E	F	G		
1	.0961	4.16...			Tito...	Statistiche a un...	
2	.1369	4.38...			$\bar{x}$	4.30301	
3	.1849	4.32...			$\Sigma x$	17.212	
4	.2304	4.34...			$\Sigma x^2$	74.0916	
5					$s_x$ ...	.09678	
6					$s_y$ ...	.083814	

1.1	RAD APPROS REALE						
	C tt	D k	E	F	G		
1	.0961	4.16...			Tito...	Regressione su ...	
2	.1369	4.38...			Reg...	$a \cdot x^b$	
3	.1849	4.32...			a	4.65094	
4	.2304	4.34...			b	2.08329	
5					$r^2$	.998302	
6					r	.999151	

1.1	RAD APPROS REALE						
	C tt	D k	E	F	G		
1	.0961	4.16...			Tito...	Regressione su ...	
2	.1369	4.38...			Reg...	$a \cdot x^b$	
3	.1849	4.32...			a	4.65094	
4	.2304	4.34...			b	2.08329	
5					$r^2$	.998302	
6					r	.999151	

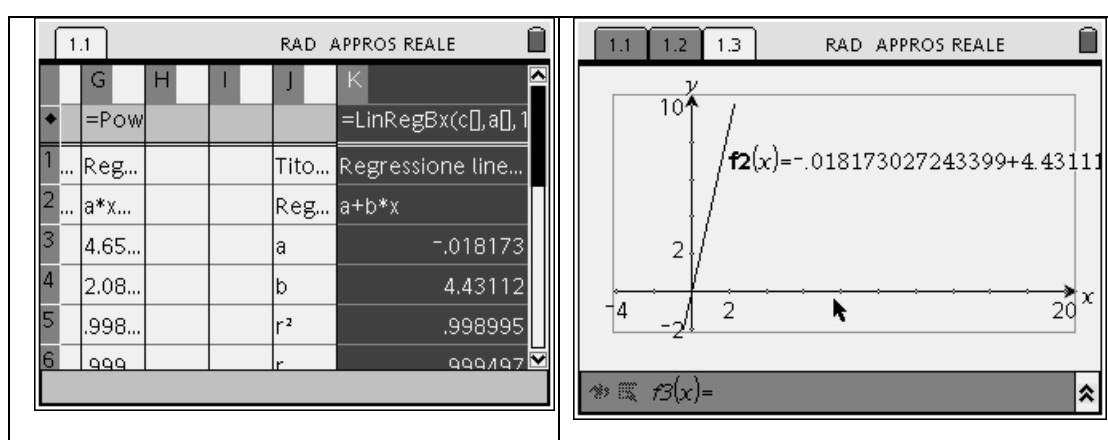
Con la regressione su potenza, si ottiene:  $s = 4.65 t^{2.08}$

I risultati sono in buon accordo con quelli teorici e consentono agli allievi di determinare anche il valore dell'accelerazione di gravità.

Dalle relazioni degli allievi:

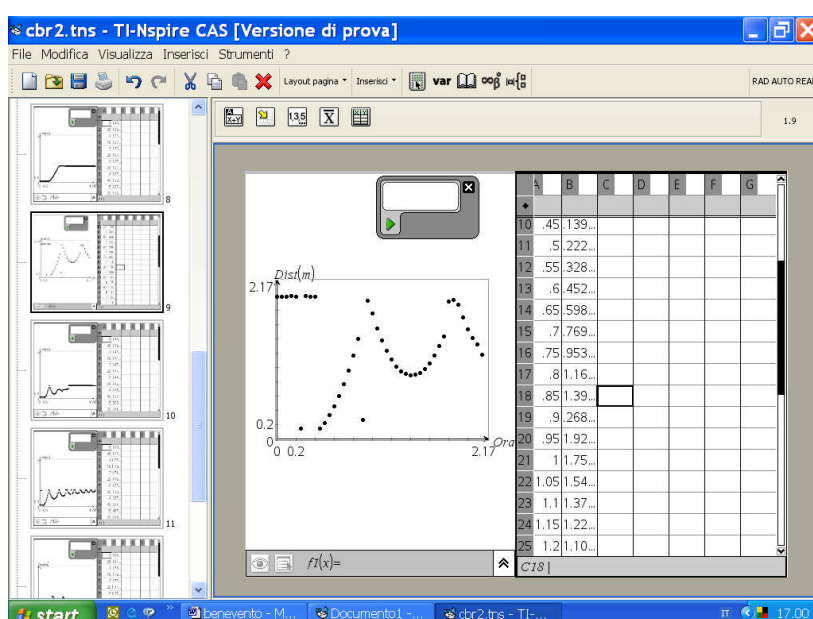


Con la regressione lineare tra  $s$  e  $t^2$ , invece si ottiene  $s = -0.018 + 4.431 t^2$

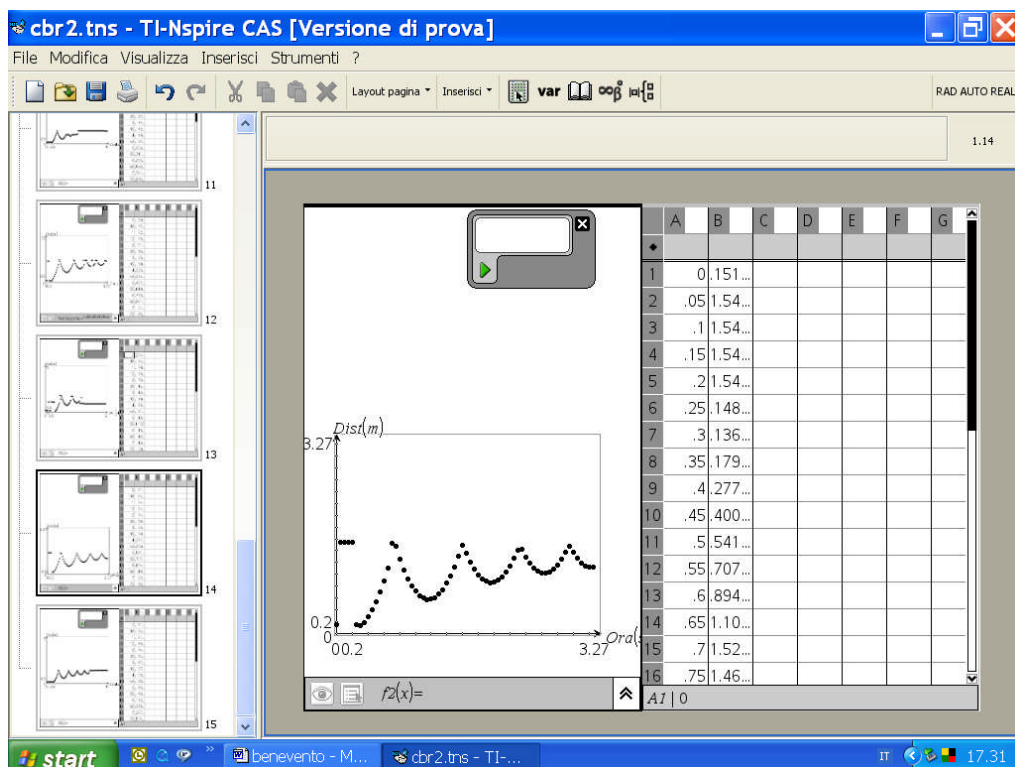


Una domanda di uno studente: come poter misurare la velocità della pallina nell'istante del suo impatto con il suolo? O meglio: come misurare la velocità istantanea della pallina?

Risposta: Acquisizione dati con il CBR e discussione dei dati.



Si discutono i grafici ottenuti, si individuano le caratteristiche del moto rappresentato e ci si pone il problema di caratterizzare anche il moto di rimbalzo della pallina, ma questa sarà un'altra lezione.



L'analisi dei dati effettuata e la loro interpretazione in termini della formulazione di una legge espressa in forma matematica rappresenta un esempio di applicazione del metodo sperimentale.



La legge che descrive la caduta libera è verificata con buone approssimazioni fino a che rimane trascurabile l'effetto di frenamento dovuto alla resistenza dell'aria.

Lo sviluppo del processo di analisi e di riflessione dei dati che gli allievi hanno modellizzato prosegue con lo studio della caduta di oggetti un po' particolari. Gli oggetti in questione sono contenitori per paste, noti come pirottini, i quali, leggeri come sono, risentono moltissimo della resistenza dell'aria. Essi, grazie alla loro forma, scendono senza svolazzare come fanno invece i fogli di carta<sup>4</sup>.

Si propone agli allievi una scheda di lavoro che è una riduzione dell'attività proposta dai giochi di Anacleto<sup>5</sup>

L'esperienza si articola in due fasi:

1. Lasciar cadere sempre dalla stessa altezza prima uno, poi due, poi tre, ... pirottini inseriti l'uno nell'altro e misurare i tempi di caduta;
2. Trovare la relazione tra il numero di pirottini e il corrispondente tempo  $t$  di caduta.

I pirottini vanno lasciati cadere da un'altezza di almeno 2 m, altrimenti i tempi di discesa sono troppo brevi per poter essere misurati agevolmente e con precisione, inoltre il tempo in cui si portano alla velocità di regime può non essere trascurabile rispetto ai tempi misurati.

Vanno tenuti con la concavità in alto e lasciati cadere possibilmente senza spinte; contemporaneamente si misura con il cronometro il tempo che impiegano per arrivare al pavimento.

<sup>4</sup> Falling Down, Adventures in Data Collection with TI-73, n.5, 2006 Texas Instruments

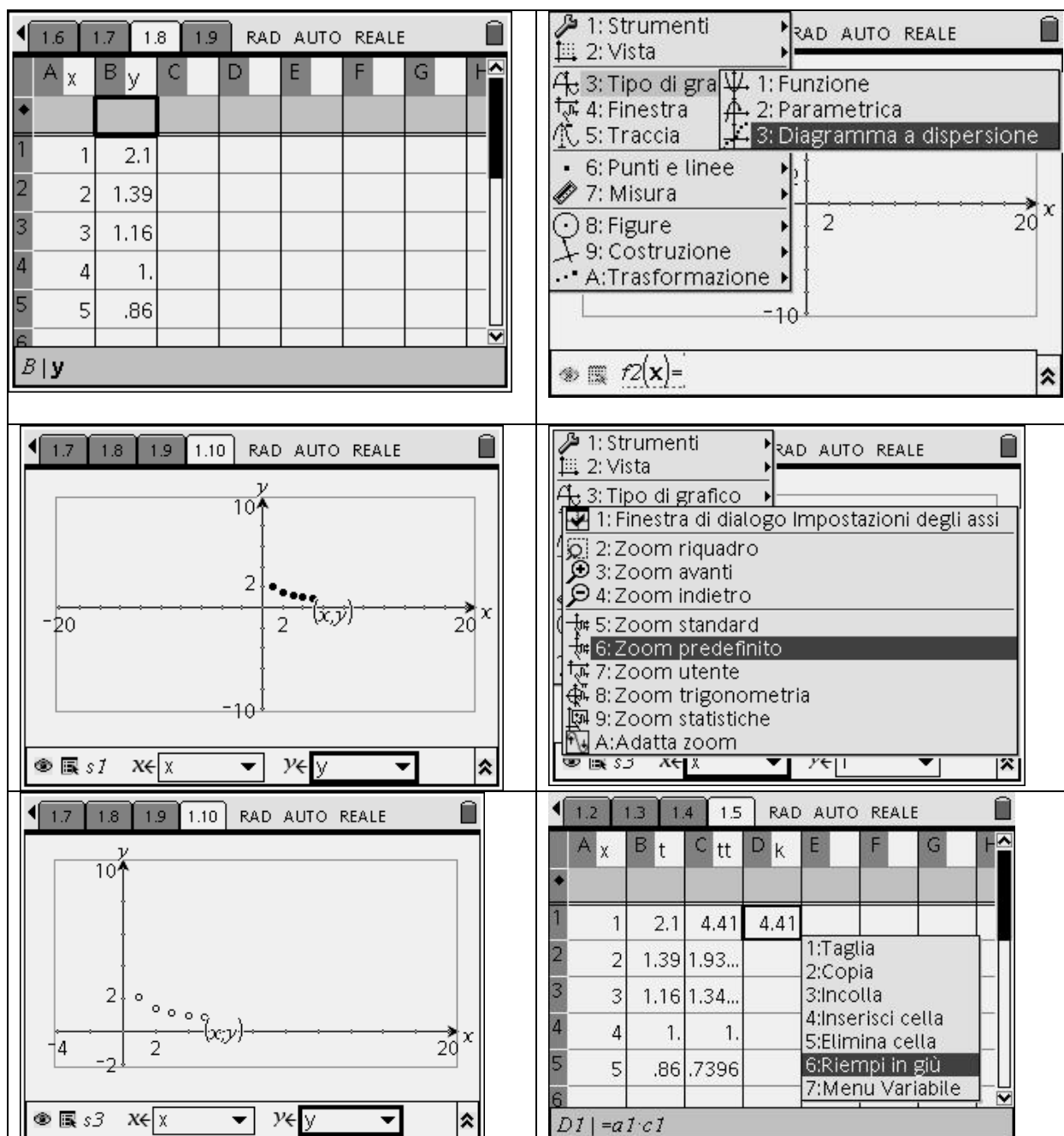
<sup>5</sup> Giochi di Anacleto 1999

La misurazione va ripetuta per almeno cinque volte allo scopo di ridurre l'errore nella misura e per almeno cinque pirottini. Il tempo  $t$  di caduta sarà la media dei valori di tempo ottenuti.

Per prendere le misure gli allievi lavorano in gruppo, l'elaborazione dei dati, invece, viene condotta singolarmente con la discussione collettiva dei risultati elaborati.

Di seguito alcune schermate del TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS per l'elaborazione dei dati della caduta dei pirottini.

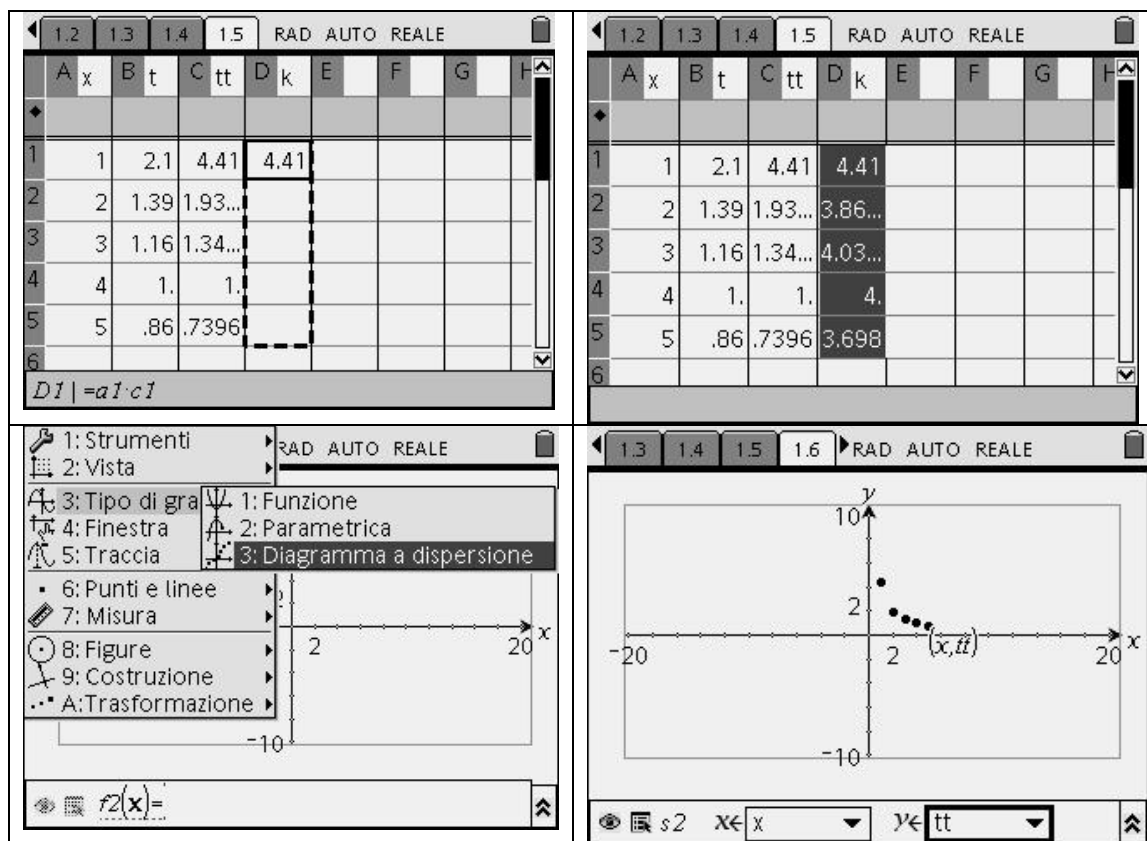
I dati ottenuti, inseriti in foglio elettronico, vengono rappresentati in un grafico con il tempo di caduta in funzione del numero  $n$  dei pirottini.



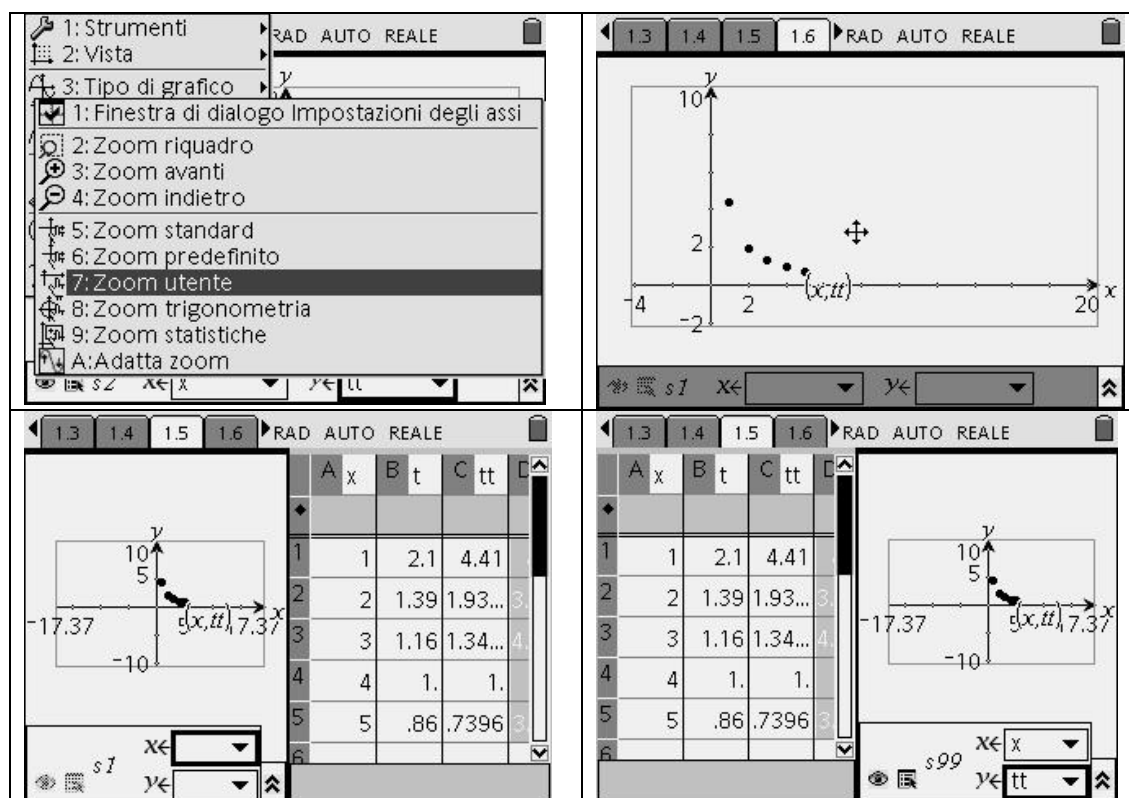
Gli allievi hanno la possibilità di scegliere la formula che, in base ai dati raccolti, rappresenta meglio la relazione tra il tempo  $t$  di caduta e il numero  $n$  di pirottini.

L'analisi dei dati continua con lo scopo di trovare la relazione tra  $n$  e  $t$ , in C vengono riportati i valori di  $t^2$ , nella colonna D il prodotto dei valori delle colonne A e C.

Si fa il diagramma del numero di pirottini in funzione di  $t^2$ .

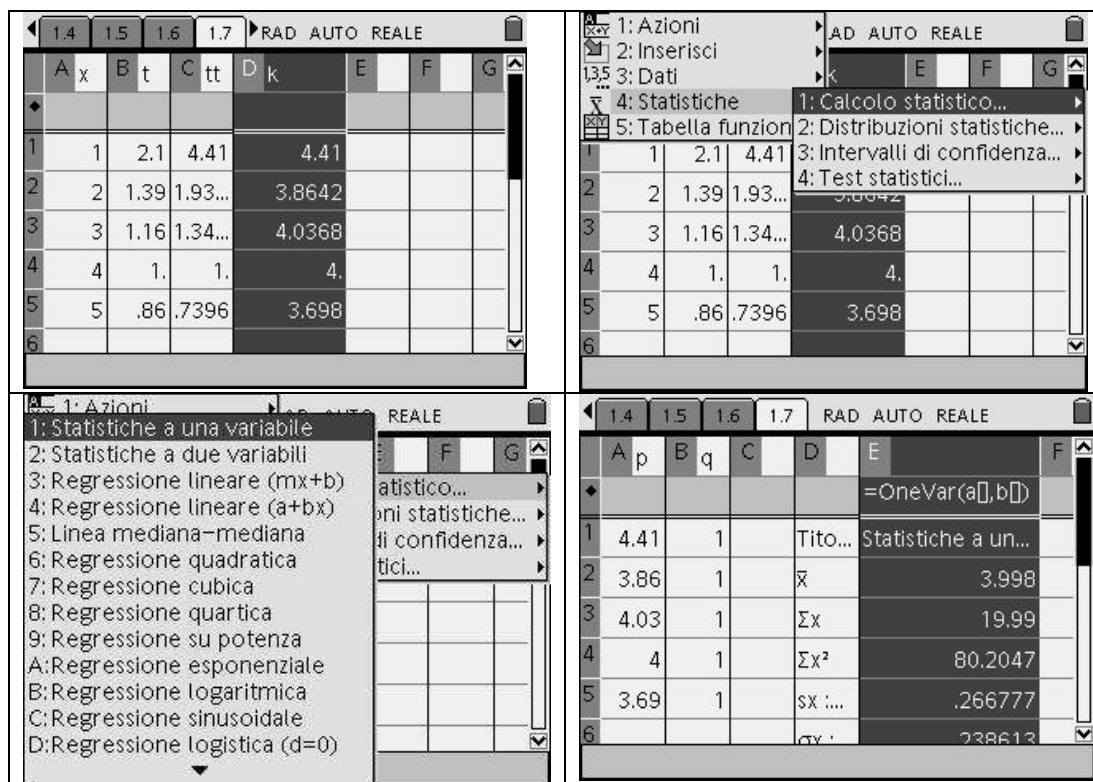


Qualche tentativo di zoom e impostazioni di layout pagina



e si fa l'analisi statistica del prodotto  $k = n \cdot t^2$ , e si calcola il suo valore





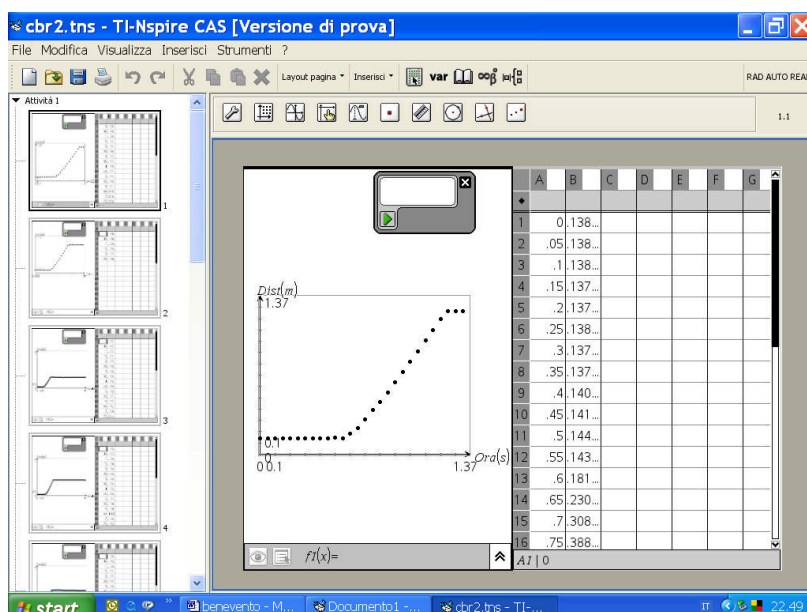
Si discutono i risultati: Quale formula è stata scelta? Come ci si è regolati per fare la scelta?

Si cerca di discutere quanto buona sia la corrispondenza tra i risultati delle misurazioni fatte e quelli ottenuti con la formula scelta.

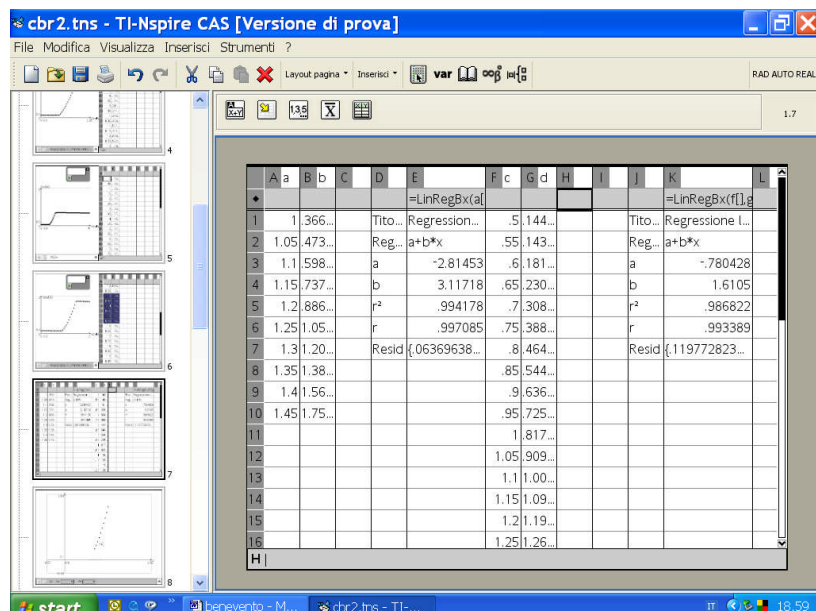
Il valore della costante trovato è  $k = (3,99 \pm 0,24)s^2$

Il modello migliore è proprio  $t^2 n = k$  che rappresenta la proporzionalità inversa tra  $n$  e  $t^2$ . Assumendo che il pirottino raggiunga la velocità limite in un tempo trascurabile, questa relazione implica la proporzionalità tra la resistenza dell'aria e il quadrato della velocità

L'esperimento di caduta viene fatto anche con il CBR<sub>2</sub> per verificare lo scostamento dalla caduta libera,



Si confrontano i dati relativi alla caduta di 1, 2,...pirottini, si discutono i risultati



Il percorso didattico proposto si conclude con un esperimento di caduta di una goccia d'acqua in olio, in questo modo si studia una situazione in cui non è possibile trascurare gli effetti del mezzo liquido: si tratta di un esempio di moto viscoso.

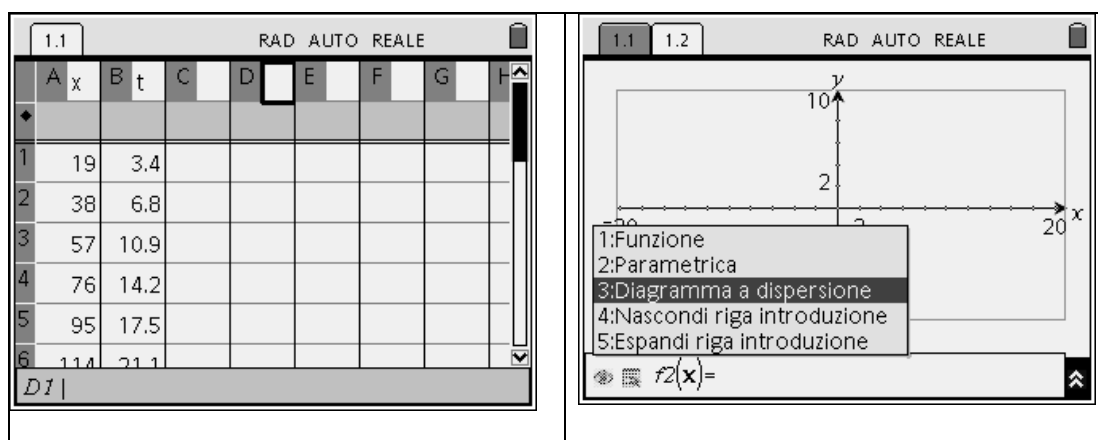
Gli effetti del mezzo diventano importanti quando la spinta di Archimede e la resistenza del mezzo non sono più trascurabili.

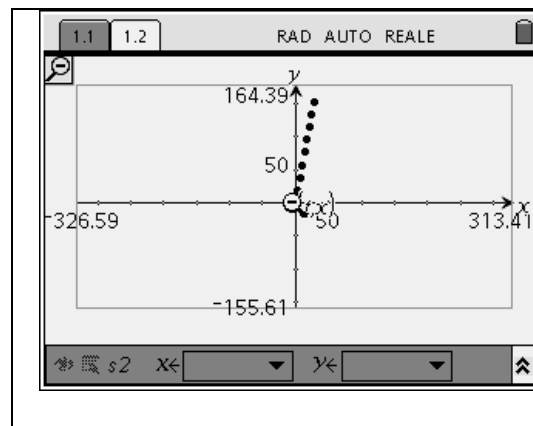
Materiali: olio, acqua, cilindro graduato (250ml di capacità), cronometro, metro, pipetta.

Si versa con cura l'olio nel cilindro graduato, cercando di non produrre bolle d'aria. Si deposita una goccia d'acqua sulla superficie dell'olio. Se la goccia è molto piccola e tende a galleggiare occorre spingerla sotto la superficie dell'olio. Poiché l'acqua è più densa dell'olio, la gocciolina comincia a scendere.

Si prende la prima delle tacche della graduazione del cilindro come riferimento e si fa partire il cronometro quando la goccia l'attraversa, lo si ferma quando la goccia sull'ultima tacca del cilindro. Le distanze tra le tacche del cilindro sono misurate con l'incertezza di 1mm (sensibilità del righello), l'errore nella misura degli istanti di tempo, tenendo conto del tempo di reazione dell'operatore, è di 0,3s.

I dati ottenuti per una singola goccia vengono riportati su foglio elettronico. Si riportano su un diagramma spazio-tempo le posizioni della goccia in funzione degli istanti di tempo e si discute il grafico che si ottiene.





Dal grafico si può calcolare la velocità della goccia d'acqua nell'olio come pendenza del grafico spazio-tempo. Nella colonna D si riporta il quoziente  $A1/B1$ :

	1.1	1.2	1.3	1.4	RAD AUTO REALE				
	A <sub>x</sub>	B <sub>t</sub>	C	D	E	F	G	H	
1	19	3.4		5.58...					
2	38	6.8							
3	57	10.9							
4	76	14.2							
5	95	17.5							
$D1 = \frac{a1}{b1}$									

	1.1	1.2	1.3	1.4	RAD AUTO REALE				
	A <sub>x</sub>	B <sub>t</sub>	C	D	E	F	G	H	
1	19	3.4		5.58...					
2	38	6.8							
3	57	10.9							
4	76	14.2							
5	95	17.5							
$D1 = \frac{a1}{b1}$									

1:Taglia  
2:Copia  
3:Incolla  
4:Inserisci cella  
5:Elimina cella  
6:Riempi in giù  
7:Menu Variabile

e si fa l'analisi statistica dei valori nella colonna D:

1.1	1.2	1.3	1.4	RAD AUTO REALE	
D	E	F	G	H	
				=OneVar(d[,1])	
1	5.58...	1	Tito...	Statistiche a una ...	
2	5.58...	1	$\bar{x}$	5.41903	
3	5.22...	1	$\Sigma x$	54.1903	
4	5.35...	1	$\Sigma x^2$	293.76	
5	5.42...	1	$sx$ ...	.105744	
6	5.40...	1	$sy$ ...	1.00317	
$D1 = \frac{a1}{b1}$					

1.1	1.2	1.3	1.4	RAD AUTO REALE			
A x	B t	C	D	E	F	G	H
1	19	3.4	5.58...				
2	38	6.8	5.58...				
3	57	10.9	5.22...				
4	76	14.2	5.35...				
5	95	17.5	5.42...				
$D1 = \frac{a1}{b1}$							

I valori ottenuti per la velocità della goccia d'acqua sono  $v = (5,41 \pm 0,10) \text{ mm/s}$

Il moto di un corpo in un fluido viscoso potrà essere continuato misurando la velocità della goccia d'acqua al variare del suo volume. Ripetendo l'esperimento con gocce di volume diverso, inoltre, nota l'area della sezione resistente della goccia, si potrà calcolare il numero di Reynold e verificare o meno la validità della legge di Stokes e il moto laminare della goccia.



## CONCLUSIONI

L'uso di strumenti tecnologicamente avanzati come TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS, che mettono a disposizione diversi ambienti integrati, consente di concentrarsi sugli aspetti concettuali e permette anche di affrontare problemi più complessi, più ricchi e, sicuramente, meno artificiosi di quelli che è possibile affrontare senza l'ausilio di un tale "strumento".

Le potenzialità disponibili su "palmari scientifici" hanno il vantaggio di poter essere utilizzati con molta flessibilità e agilità, sia per quel che riguarda gli spazi (utilizzo in classe), sia per quel che riguarda i tempi, anche quelli di trasferimento in laboratorio.

Nell'ambito dell'insegnamento della Fisica, si discute frequentemente sulle metodologie e sulle finalità. Accanto ad un'impostazione prettamente teorica, con applicazioni di formule in problemi più o meno complessi, noi crediamo che parte fondamentale dell'insegnamento di questa disciplina è il lavoro sperimentale che, oltre a formare la giusta mentalità speculativa, consente un'interazione più efficace con la realtà e l'esperienza quotidiana. L'utilizzo di strumenti tecnologicamente avanzati ci permette di seguire tutte le fasi delle attività senza rinunciare al piacere di osservare, sperimentare ed elaborare e soprattutto senza essere oberati da procedure laboriose. In questo contesto, abbiamo utilizzato entrambi gli elementi della famiglia TI-*nspire*<sup>TM</sup> CAS: il palmare e il software e il sensore di posizione per l'acquisizione dei dati.

L'operazione avviene in modo semplice e diretto perché i dati vengono immediatamente visualizzati sia su un grafico che in tabella e non richiede l'impostazione del campionamento dei tempi nel processo di acquisizione. La possibilità di applicare facilmente formule matematiche per l'elaborazione dei dati e la visualizzazione di più ambienti su una sola pagina, consente un rapido ed efficace confronto tra i vari metodi utilizzati per l'ottimizzazione del modello e quindi per la ricerca della legge fisica.

Visti i risultati ottenuti dopo un opportuno periodo di sperimentazione, riteniamo che l'uso delle nuove tecnologie nella didattica ottimizzi un processo di formazione utile per costruire una mentalità speculativa basata sulla capacità di astrazione e di correlazione dei dati che provengono dall'evidenza sperimentale. Siamo in una visione nuova e a largo spettro che riesce a seguire la scansione dei tempi accelerata dalle esigenze della società contemporanea, dove colui che fa e pensa la scienza è soprattutto un uomo e un cittadino che, senza rinnegare il passato, contribuisce al progresso morale e civile dell'umanità.