



# **Corso di Fisica: LABORATORIO e ANALISI DATI**

A.A. 2013-14

Daniele Bonacorsi, Federico Marulli  
(Università di Bologna)



# Introduzione generale

## Cosa faremo insieme?

- ◆ 3 esperienze di laboratorio e le relative analisi dei dati sperimentali
  - per ciascuna, 1 lezione introduttiva, 2 ore di laboratorio e 2 ore di analisi dati
- ◆ le esperienze sono: CINEMATICA, OTTICA, TERMOLOGIA
- ◆ la frequenza ai laboratori e all'analisi dati è **OBBLIGATORIA**
  - prenderemo firme di presenza

## Cosa devo fare come studente?

- ◆ è **OBBLIGATORIO** segnarsi a un “turno” su almaesami
- ◆ ogni turno consiste di 6 appuntamenti da 2 ore ciascuno
- ◆ se NON vi segnate prima dell'inizio dei laboratori (domani!) rischiate di arrivare a giugno senza avere le firme necessarie per poter dare l'esame



# Importante !

## **NON SONO PREVISTI RECUPERI**

(causa numero studenti, difficoltà con aule e breve durata del corso)

**Se vi siete già segnati in un turno e sapete che avrete difficoltà con una data e prevedete un'assenza, o se avremo già iniziato e avrete fatto un'assenza, **NON ASPETTATE SENZA FARE NULLA: mandate prima possibile un mail** e segnalate la vostra situazione**

- ✦ cognome A-L: Federico Marulli <[federico.marulli3@unibo.it](mailto:federico.marulli3@unibo.it)>
- ✦ cognome M-Z: Daniele Bonacorsi <[daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it)>

Cercheremo di venirvi incontro, ma se non vi segnate ai turni o se accumulate assenze e non ci contattate, non possiamo fare nulla per aiutarvi.



# Turni disponibili

## CINEMATICA:

intro **lun 10/3**

lab: **mar 11/3** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 14/3** (14-16 turno **C1**, 16-18 turno **C2**)

lab: **mar 18/3** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 21/3** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 25/3** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 28/3** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)

## OTTICA:

intro **lun 31/3**

lab: **mar 1/4** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 4/4** (14-16 turno **C1**, 16-16 turno **C2**)

lab: **mar 8/4** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 11/4** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 15/4** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 9/5** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)

## TERMOLOGIA:

intro **lun 5/5**

lab: **mar 6/5** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 16/5** (14-16 turno **C1**, 16-16 turno **C2**)

lab: **mar 13/5** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 23/5** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 20/5** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 30/5** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)

## Status delle iscrizioni (updated: Domenica 9 Marzo 2014, ore 13:00)

♦ Marulli **A1**: 24; **A2**: 8; **B1**: 15; **B2**: 0

♦ Bonacorsi **C1**: 24; **C2**: 16; **D1**: 24; **D2**: 6



# Corso di Fisica: LABORATORIO e ANALISI DATI Esperienza di CINEMATICA

A.A. 2013-14

Daniele Bonacorsi, Federico Marulli  
(Università di Bologna)



# La parte di **Laboratorio** (CINEMATICA)



Cosa faremo?

# Studio del movimento di una pallina che rimbalza

ovvero

Un modo semplice  
per ricavare

**l'accelerazione di gravità terrestre**



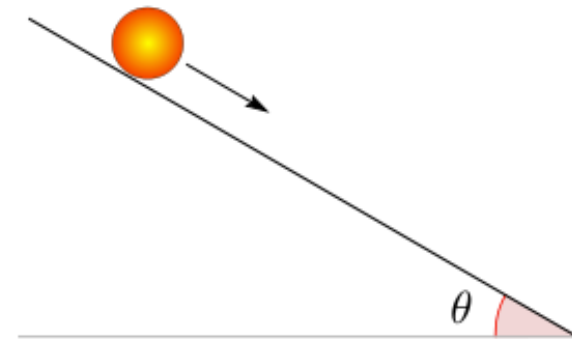
# Prologo

Se lasciassimo cadere un oggetto da una altezza di alcuni metri, saremmo in grado di stabilire “a occhio” **di quale tipo di moto si tratta** (uniforme, uniformemente accelerato, altri)?

Saremmo in grado di misurare, con un cronometro manuale, il **tempo di caduta?**

Un metodo per rallentare il moto di caduta è quello di utilizzare un **piano inclinato**.

- ♦ Misuriamo più volte il tempo di caduta di una pallina lungo un piano inclinato, utilizzando un cronometro al decimo di secondo: otteniamo sempre lo stesso valore? Come si distribuiscono i tempi ?



E se non avessimo un piano inclinato a disposizione e volessimo effettuare una misura del genere con un semplice oggetto che cade? Come potremmo fare?



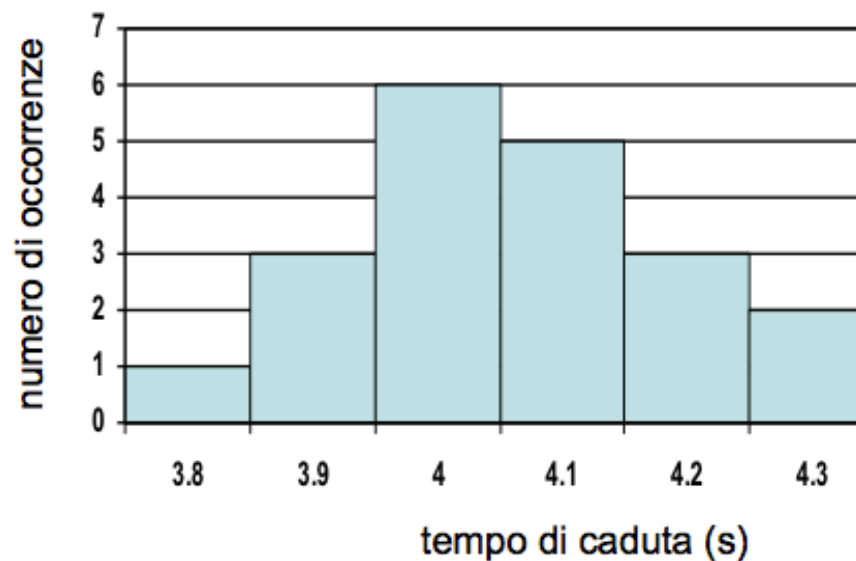


# I dati sperimentali

Potremmo costruire una **tabella di frequenze**...

Tempo di caduta (s)	Numero di occorrenze
3,8	1
3,9	3
4,0	6
4,1	5
4,2	3
4,3	2

... oppure un **istogramma**.





# Ma il risultato della mia misura qual è?

D'accordo, questo ci consente di raccogliere i dati sperimentali, ma...

... qual è *il* tempo di caduta? Ovvero, il **risultato della mia misura**?

Per dare una risposta scientificamente corretta a questa domanda, occorre condurre un' **analisi dei dati sperimentali**, con strumenti di **statistica**

- ◆ elementi di analisi statistica dei dati vi vengono forniti nelle lezioni di teoria



# L'esperienza di CINEMATICA

In questo esperimento utilizzerete un sistema di acquisizione dati costituito da:

- ♦ una **calcolatrice grafica**
- ♦ un  **sensore di posizione sonar**

Questo è il vostro apparato sperimentale. Con esso, analizzerete il moto di una pallina da ping pong che cade e rimbalza sul pavimento.

L'obiettivo del vostro lavoro è:

- ♦ **verificare che il moto della pallina sia uniformemente accelerato**
- ♦ **misurare l'accelerazione della pallina** (l'accelerazione di gravità  $g$ )

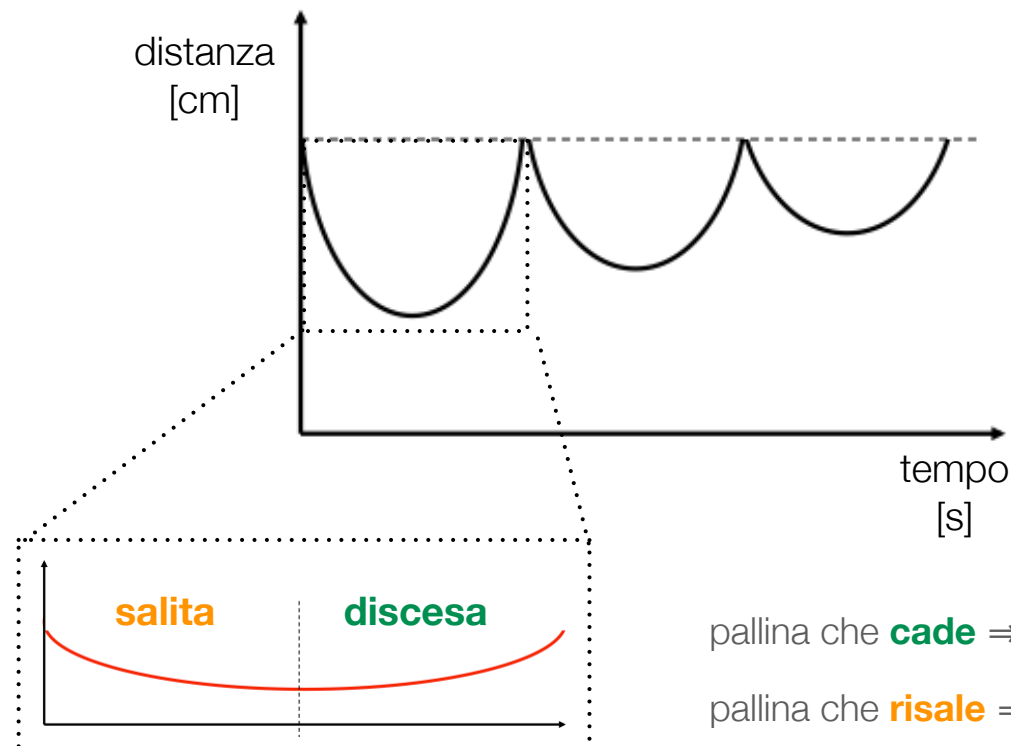
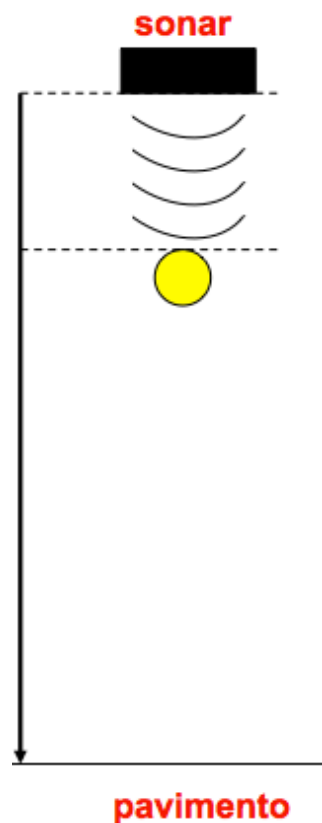
Avrete una copia delle istruzioni per effettuare le misure

- ♦ Usatelo in laboratorio
- ♦ Conservatene una copia, da riguardare prima dell'esame
- ♦ **RICORDATE CHE QUESTE LEZIONE SONO PARTE INTEGRANTE DEL PROGRAMMA E SONO ARGOMENTI PER L'ESAME ORALE COME IL CONTENUTO DELLE LEZIONI TEORICHE**

# Il sonar

## Cosa fa il **sonar**?

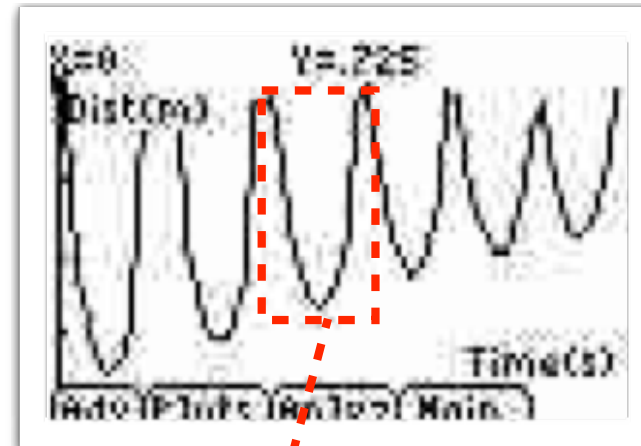
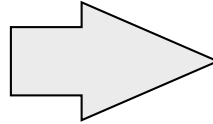
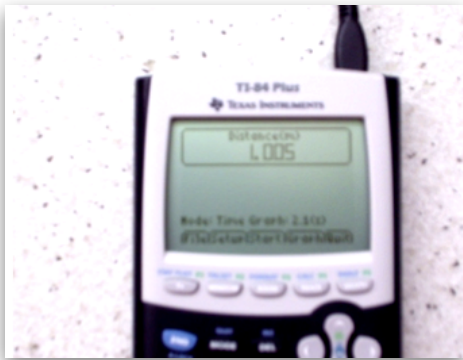
- ◆ a intervalli di tempo fissi, misura la distanza tra il sonar e la pallina
- ◆ lo fa ogni (circa) **0,035 s** e trasmette ogni sua misura alla calcolatrice
- ◆ i dati che trasmette sono l'**istante di tempo** in cui ha effettuato la misura, e il valore della misura stessa, ovvero la **distanza sonar-pallina**



pallina che **cade**  $\Rightarrow$  x **aumenta**

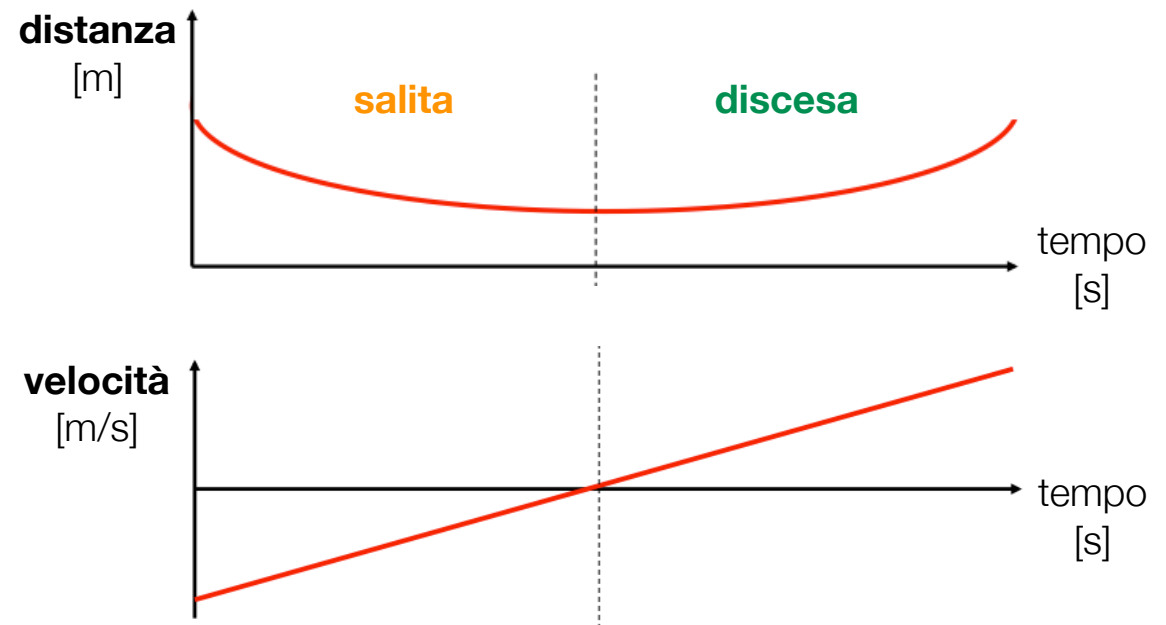
pallina che **risale**  $\Rightarrow$  x **diminuisce**

# In laboratorio:



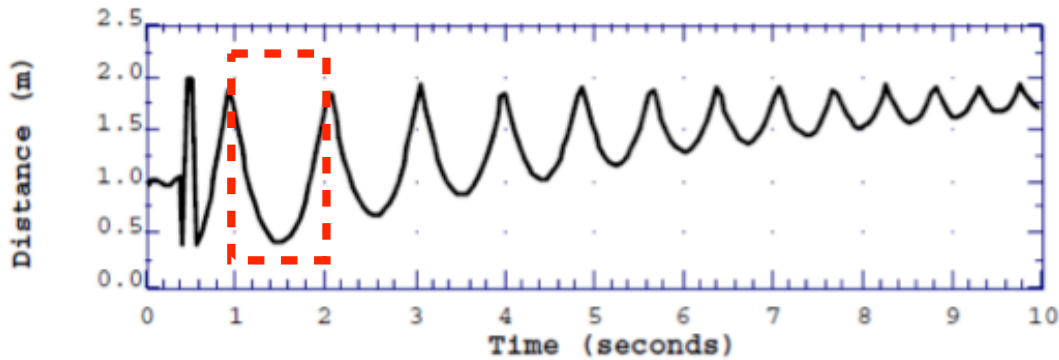
Durante l'esperienza in lab, con la **calcolatrice grafica**, potrete:

- ◆ selezionare, sul display della calcolatrice, **un solo arco**, cioè una singola fase “salita-discesa”
- ◆ usare la calcolatrice facendo calcolare ad essa - e disegnare sul display- la velocità della pallina in funzione del tempo



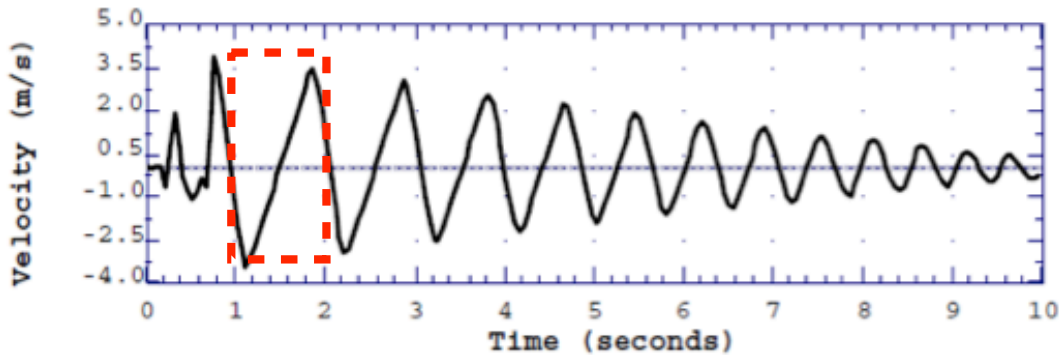


# La legge oraria del moto



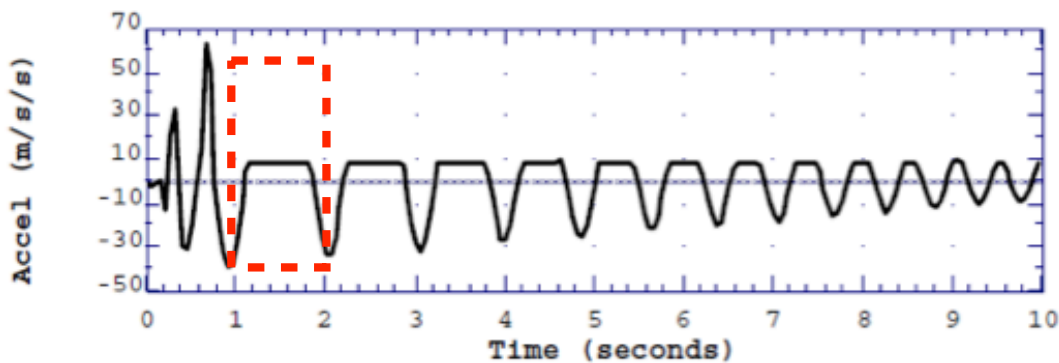
$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

graficamente: una parabola...



$$v(t) = \dot{s} = v_0 + g t$$

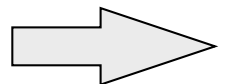
graficamente: una retta...



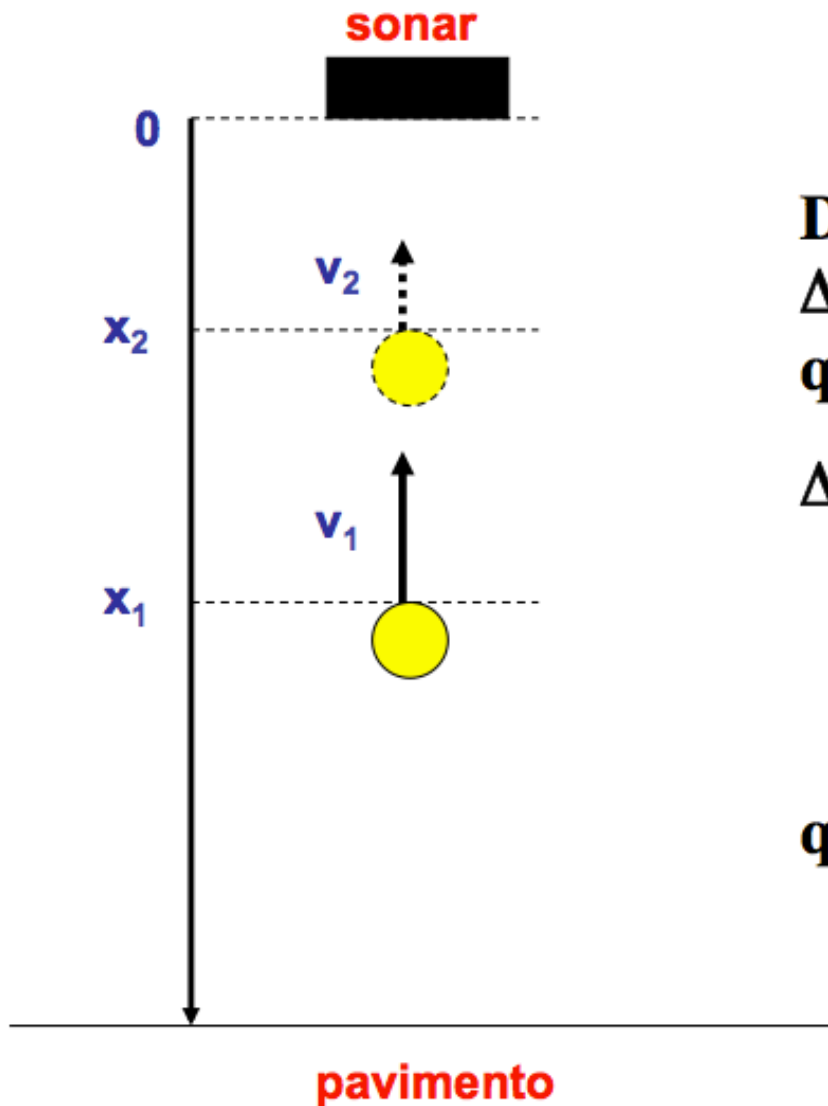
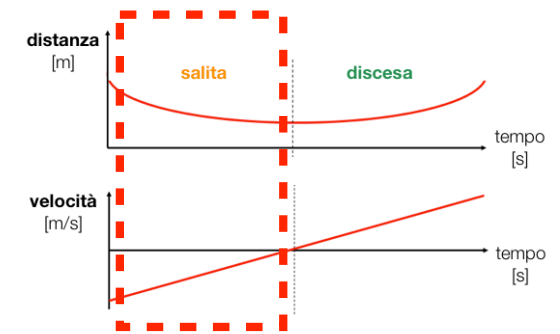
$$a(t) = \ddot{s} = g$$

graficamente: un valore costante...

**Di che segno è questo valore costante g?  
In che direzione/verso? Per capirlo...**



# Studiamo meglio... la **salita**



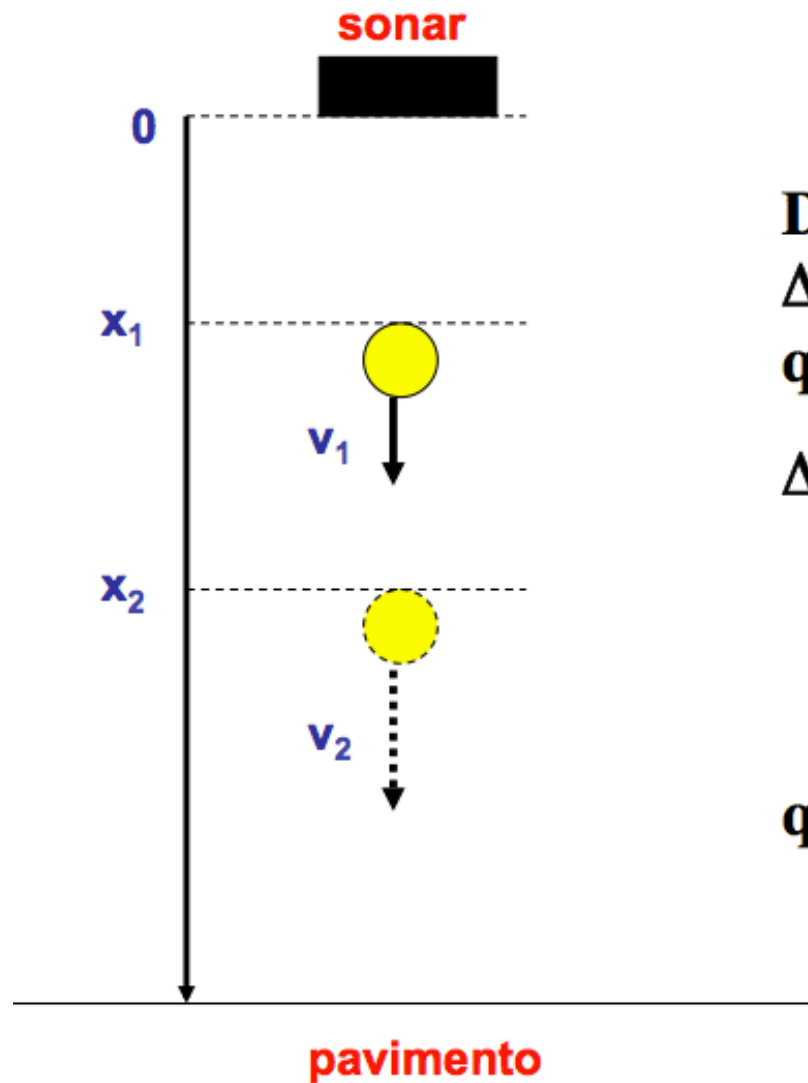
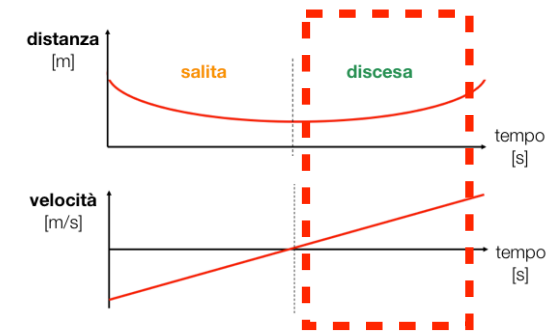
Durante la **salita**, si ha che  
 $\Delta x = x_2 - x_1$  è negativo,  
quindi  $v < 0$

$\Delta v = v_2 - v_1$  è positivo

$$\uparrow + \downarrow = \downarrow$$

quindi  $a > 0$

# Studiamo meglio... la **discesa**



Durante la **discesa**, si ha che  $\Delta x = x_2 - x_1$  è positivo, quindi  $v > 0$

$\Delta v = v_2 - v_1$  è positivo

$$\downarrow + \uparrow = \downarrow$$

quindi  $a > 0$





# Come calcolare $g$ in laboratorio [1/2]

L'**accelerazione di gravità  $g$**  è costante, diretta lungo la congiungente i centri di massa dei corpi massivi, e orientata verso il centro di massa della Terra

- ◆ nel nostro caso “locale”, possiamo dire che sia “verticale”

Il grafico  **$v=v(t)$**  della velocità in funzione del tempo è **lineare**

- ◆ questo è caratteristico di un **moto uniformemente accelerato**

In laboratorio:

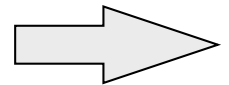
- ◆ ricavare dalla calcolatrice un certo numero, circa 10, di coppie  $(t, v)$
- ◆ copiare tali coppie di valori in una tabella
- ◆ fare il grafico  **$v=v(t)$** , su carta millimetrata
  - Fate attenzione alla scelta delle scale in ascissa (tempo) e ordinata (velocità)!
  - Le scale devono consentire di riportare comodamente i dati nonchè una lettura agevole del grafico
- ◆ interpolare i punti del grafico con una linea retta
- ◆ calcolare la pendenza (coefficiente angolare) della retta
  - tale pendenza rappresenta l'accelerazione, costante, di caduta della pallina

$$v(t) = \dot{s} = v_0 + gt$$

$$a(t) = \ddot{s} = g$$

$g$  è il coefficiente angolare della retta  **$v=v(t)$**

**Come si fa a ricavare  $g$ ?**





# Come calcolare $g$ in laboratorio [2/2]

$$v(t) = \dot{s} = v_0 + gt$$

$$a(t) = \ddot{s} = g$$

(continua)

- ◆ NB: la retta di interpolazione è una cosa del tipo  $y = a + bx$  (nel nostro caso  $y$  è la velocità  $v(t)$ ,  $x$  il tempo  $t$ ,  $b$  è l'accelerazione di gravità  $g$ )
- ◆ disegnata tale retta, come si determina il coefficiente angolare (“pendenza”)  $b$  - che è poi l'accelerazione di gravità  $g$ ?
  - presi due punti qualsiasi sulla retta di interpolazione (NON PUNTI SPERIMENTALI !), di coordinate  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$ , il coefficiente angolare è dato da:

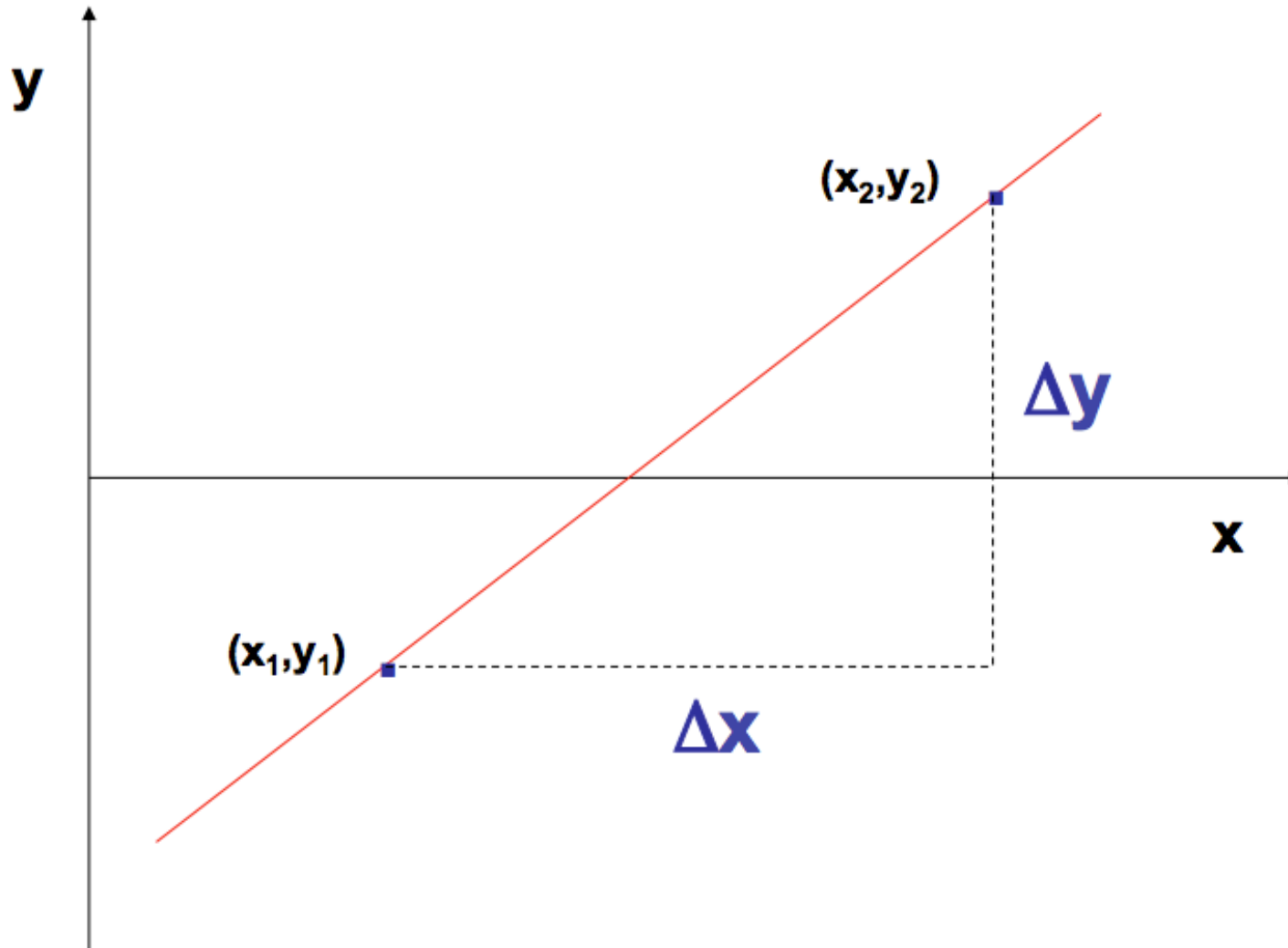
$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

- ◆  $b$  rappresenta quindi **la vostra misura dell'accelerazione della pallina**, che ci si aspetta essere **pari alla accelerazione di gravità  $g$** .



# Pendenza e coefficiente angolare

$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$





# Discrepanza

La calcolatrice è in grado di interpolare i punti che ha memorizzato

- ♦ con una procedura simile a quella che svolgerete nel laboratorio di elaborazione dati, con excel (**regressione lineare**) e di fornire quindi il “suo” valore di  $g$ .

Come si confronta il valore di  $g$  misurato da voi con quello fornito dalla calcolatrice ?

Si può pensare ad un ulteriore confronto, tra:

- ♦ il valore di  $g$  misurato da voi ( $g_{\text{misurato}}$ )
- ♦ il valore di  $g$  “accettato” alla latitudine di Bologna, cioè misurato con apparati di elevata precisione:  $g_{\text{accettato}} = 9,804 \text{ m/s}^2$

La differenza tra il valore accettato e quello misurato, si chiama **discrepanza**. Può essere espressa in forma percentuale, se divisa per il valore accettato:

$$\text{discrepanza (\%)} = \frac{|g_{\text{misurato}} - g_{\text{accettato}}|}{g_{\text{accettato}}}$$



# La precisione

Questo pone un problema: con quale **precisione** ha senso esprimere  $g_{\text{misurato}}$ ?

In altre parole, esprimendo il risultato in  $\text{m/s}^2$ , dovremo fermarci alla cifra dei decimi, oppure a quella dei centesimi o dei millesimi?

Un altro problema è il seguente: come possiamo giustificare eventuali discrepanze “elevate”?

- ◆ Ad esempio, sono presenti **effetti sistematici** (come l'attrito con l'aria) che influiscono in modo importante sul valore di  $g_{\text{misurato}}$ ?



# Cosa portare in laboratorio

Dovete portare con voi da casa:

- ◆ copia delle istruzioni della prova
- ◆ quaderno per appunti, penna, righello, calcolatrice
- ◆ se possibile, alcuni fogli di carta millimetrata



# Cosa fare al termine delle 2 ore di lab

Alla fine della prova in laboratorio dovete:

- ◆ consegnare il foglio di carta millimetrata con riportati:
  - la tabella di frequenza
  - l'istogramma dei tempi di caduta
- ◆ consegnare il foglio di carta millimetrata contenente il grafico con
  - i punti velocità in funzione del tempo
  - la retta di interpolazione
  - il calcolo di  $g_{\text{misurato}}$
  - la discrepanza rispetto a  $g_{\text{accettato}}$
  - il valore di  $g$  riportato dalla calcolatrice
- ◆ **verificare che il foglio riporti i cognomi dei componenti del gruppo**
- ◆ **firmare il foglio delle presenze!**



# Cosa portare via dal laboratorio

Uscirete dal laboratorio, e alcuni giorni dopo - nel turno per cui vi siete segnati - avremo altre 2 ore per l'analisi dati in una stanza con dei PC.

Dovrete venire in quella stanza con:

- ◆ lo schema con le istruzioni per svolgere la prova
- ◆ gli appunti con i dati che vi serviranno nel laboratorio di elaborazione
  - posizione della pallina in funzione del tempo
  - velocità della pallina in funzione del tempo





# La parte di **Analisi dati** (CINEMATICA)



# Cosa faremo come analisi dati

## Esperienza di “**analisi dati**”

- ◆ **dati** = quelli raccolti nell’esperienza di laboratorio
- ◆ **analisi** = per analizzarli useremo un foglio elettronico

## Cosa troverete in Aula Informatica a vostra disposizione:

- ◆ postazioni PC dotate di un OS e un programma di foglio elettronico
- ◆ istruzioni / scheda da consegnare alla fine

## Come in una vera analisi di dati scientifici:

- ◆ siete in un “gruppo di analisi”: discuterete e vi consulterete
- ◆ qualcuno di support ovviamente sarà sempre presente

## Anche in quel caso, come in laboratorio:

- ◆ **firmare il foglio delle presenze!**
- ◆ **dovete essere presenti SIA in laboratorio SIA in analisi dati**



# Foglio elettronico

## Definizione “operativa”

- ◆ è un programma che consente di fare calcoli, creare tabelle correlate, elaborare dati in modo user-friendly, e visuale - dato che produce grafici
- ◆ carta con tabelle → matrice elettronica con celle intercorrelabili

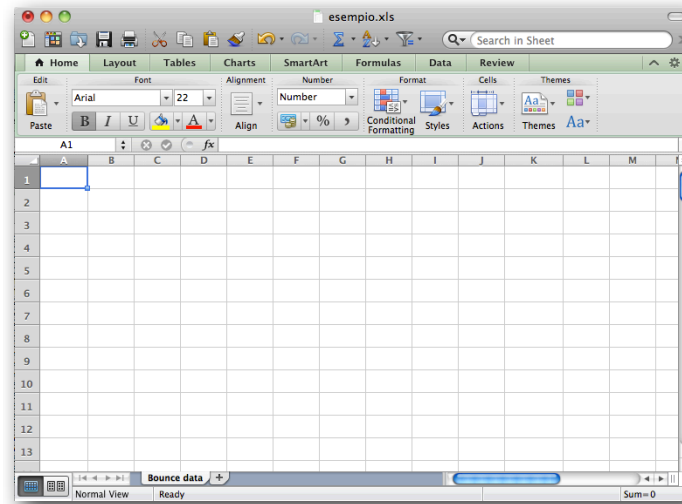
## Userete **EXCEL** (Microsoft Office ©)

- ◆ molto diffuso ma di certo non l'unico
- ◆ VisiCalc... Lotus 1-2-3... Excel... piattaforme come Google docs

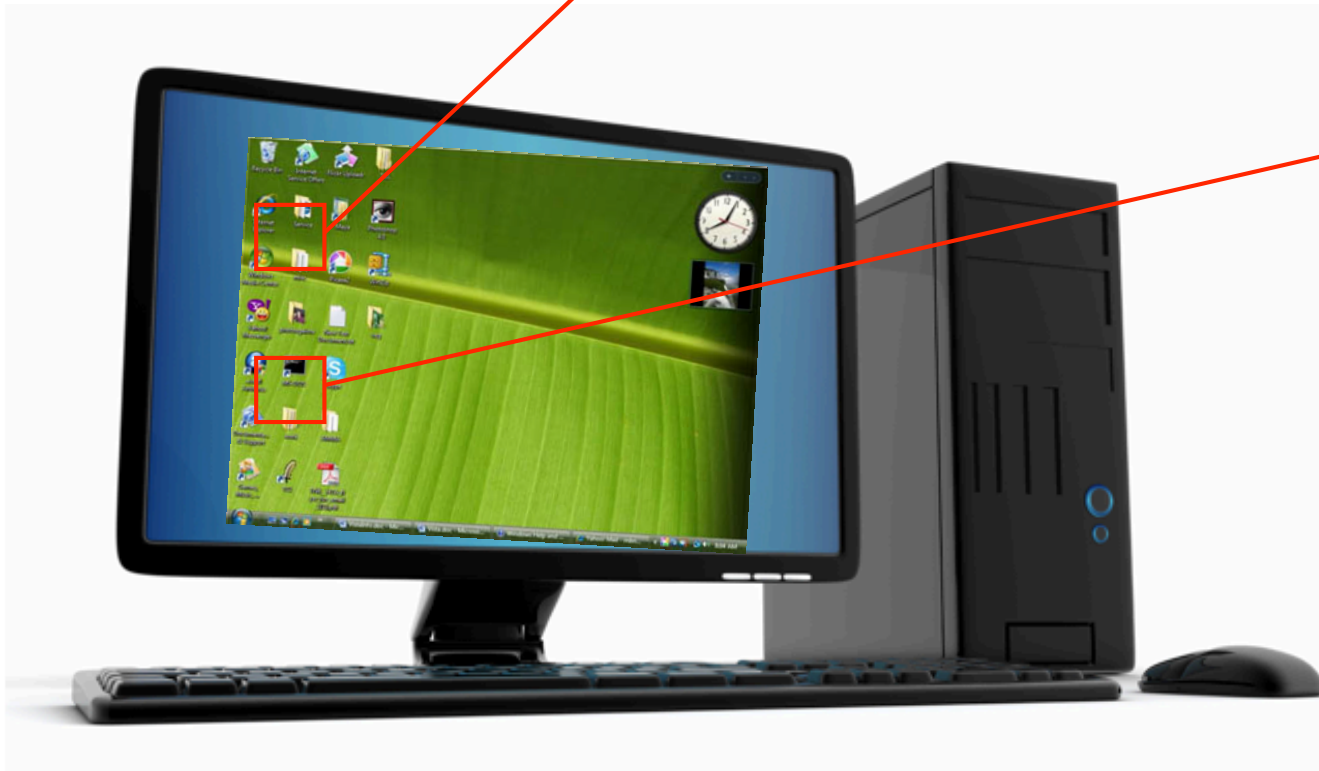
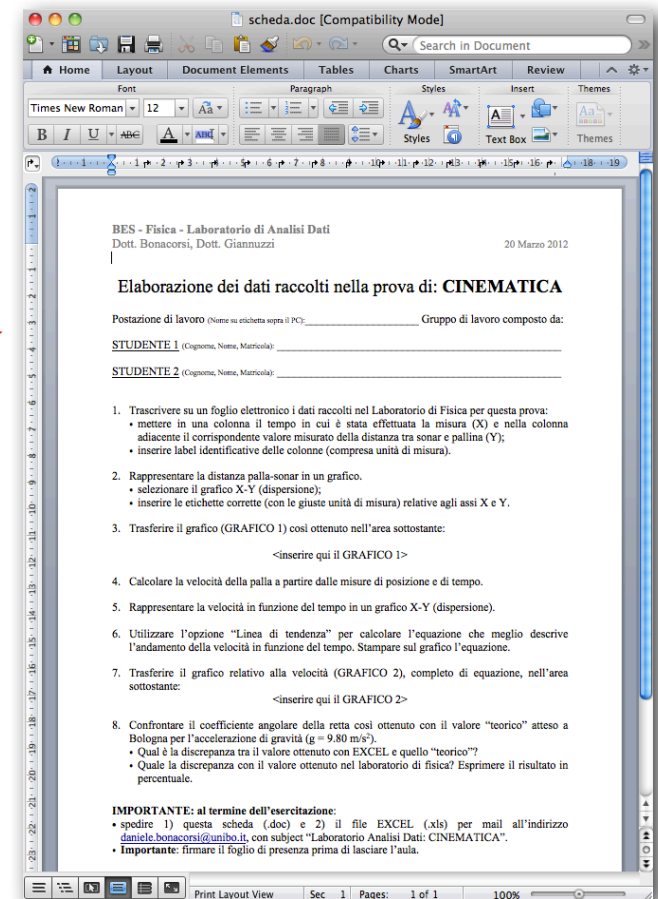
## In ambienti di ricerca esistono piattaforme di analisi dati più evolute

- ◆ ... ma ci eserciteremo con concetti di base dell'elaborazione dati, che - entro certi limiti - sono comuni indipendentemente dallo “strumento”
  - **importanza dei dati** (unici e preziosi)
  - **importanza del rigore nella loro elaborazione** (statistica)

# Foglio elettronico per l'analisi dati (**Excel**)

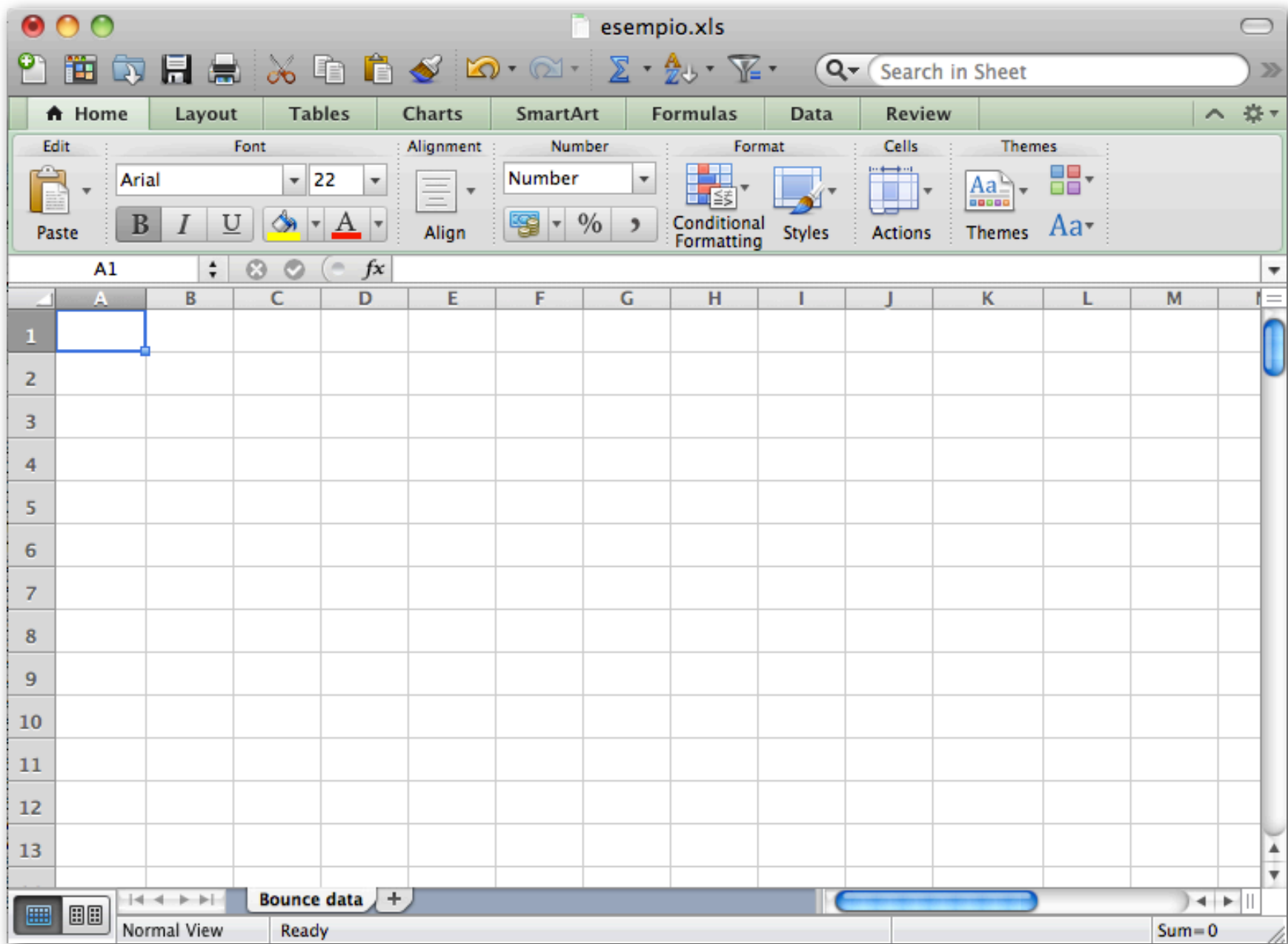


# Editor di testo per la relazione (**Word**)





# Excel





# La scheda di analisi dati [1/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 26 Marzo 2013

**Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: CINEMATICA**

Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da:

**STUDENTE 1** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 2** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 3** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

1. Trasferire su un foglio elettronico i dati raccolti nel Laboratorio in vista per questa prova.
  - mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);
  - inserire label identificative delle colonne (compresa unità di misura) nella prima riga.
2. Rappresentare la distanza palla-sonar in un grafico.
  - selezionare il grafico X-Y (dispersione);
  - inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.
3. Trasferire il grafico (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:
 

<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 1>
4. Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.
5. Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).
6. Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo. (o con calcoli complessi, o con opzioni "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione:
 
$$y = bx + a ; a = y - bx ; b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
7. Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:
 

<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 2>
8. Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto in laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $g_{misurato}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{accettato} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ) e rispondere alle seguenti due domande:
  - Qualitativamente: secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?
  - Quantitativamente: Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

**IMPORTANTE: al termine dell'esercitazione:**  
 • spedire 1) questa scheda (doc) e 2) il file EXCEL (xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it) con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".  
 • **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

- ◆ Fate login sul PC con il vostro account unibo.it
- ◆ Create un folder di lavoro (ad es. "Lab CINEMATICA")
- ◆ Scaricate tale scheda in formato doc (WORD):
  - [QUI VI DARO' UN LINK](#) [\*]
- ◆ Iniziate a editarla con i vostri dati nella prima parte, ovvero:

## Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: **CINEMATICA**

Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da:

**STUDENTE 1** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

**STUDENTE 2** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

**STUDENTE 3** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

[\*] Collezione AMS Campus - AlmaDL - area di lavoro di D.Bonacorsi

# La scheda di analisi dati [2/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 26 Marzo 2013

Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: **CINEMATICA**  
Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da: \_\_\_\_\_

STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

1. Trascrivere su un foglio elettronico i dati raccolti nel Laboratorio di Fisica per questa prova:  
• mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);  
• inserire label identificative delle colonne (compresa unità di misura) nella prima riga.

2. Rappresentare la distanza palla-sonar in un grafico.  
• selezionare il grafico X-Y (dispersione);  
• inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.

3. Trasferire il grafico (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:  
<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 1>

4. Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.

5. Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).

6. Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo (o con calcoli complessi, o con opzione "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione:  
$$y = bx + a ; a = y - bx ; b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

7. Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:  
<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 2>

8. Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto in laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $g_{misurato}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{accettato} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ), e rispondere alle seguenti due domande:  
• Qualitativamente: secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?  
• Quantitativamente: Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

**IMPORTANTE:** al termine dell'esercitazione:  
• spedire 1) questa scheda (doc) e 2) il file EXCEL (.xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it), con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".  
• **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

◆ Seguite le istruzioni con attenzione

- WARNING: salvate il file di frequente per non perdere lavoro fatto.

*NB: se in laboratorio non avete preso i dati sulla distanza sonar-pallina, potete usare il file di dati "finti" per svolgere i punti 1,2,3*

1. **Trascrivere su un foglio elettronico** i dati raccolti nel Laboratorio di Fisica per questa prova:
  - mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);
  - inserire label identificative delle colonne (compresa unità di misura).
2. Rappresentare la distanza palla-sonar in un **grafico**.
  - selezionare il grafico X-Y (dispersione);
  - inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.
3. **Trasferire il grafico** (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:

<inserire qui il GRAFICO 1>

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 26 Marzo 2013

Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: **CINEMATICA**  
Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da: \_\_\_\_\_

STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

- Trascrivere su un foglio elettronico i dati raccolti nel Laboratorio di Fisica per questa prova:
  - mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);
  - inserire label identificative delle colonne (compresi unità di misura) nella prima riga.
- Rappresentare la distanza palla-sonar in un grafico.
  - selezionare il grafico X-Y (dispersione);
  - inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.
- Trasferire il grafico (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:
 

<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 1>
- Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.
- Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).
- Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo. (o con calcoli completi, o con opzione "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione:
 
$$y = bx + a ; a = \bar{y} - b\bar{x} ; b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$
- Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:
 

<rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 2>
- Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto in laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $\mu_{velocità}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{accettato} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ) e rispondere alle seguenti due domande:
  - Qualitativamente: secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?
  - Quantitativamente: Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

**IMPORTANTE: al termine dell'esercitazione:**  
 • spedire 1) questa scheda (doc) e 2) il file EXCEL (.xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it), con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".  
 • **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

◆ Seguite le istruzioni con attenzione

- WARNING: salvate il file di frequente per non perdere lavoro fatto.

*NB: se in laboratorio avete preso i dati sulla velocità, allora non "calcolatela" come dice al punto 4, ma usate i vostri dati per svolgere i punti 4 e successivi.*

4. Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.

5. Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).

6. Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo. (o con calcoli completi, o con opzione "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione.

$$y = bx + a ; a = \bar{y} - b\bar{x} ; b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

7. Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:

<inserire qui il GRAFICO 2>



# La scheda di analisi dati [4/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 26 Marzo 2013

Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: **CINEMATICA**  
Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da: \_\_\_\_\_

STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

- Trascrivere su un foglio elettronico i dati raccolti nel Laboratorio di Fisica per questa prova:
  - mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);
  - inserire label identificative delle colonne (compresa unità di misura) nella prima riga.
- Rappresentare la distanza palla-sonar in un grafico.
  - selezionare il grafico X-Y (dispersione);
  - inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.
- Trasferire il grafico (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:  
«rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 1»
- Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.
- Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).
- Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo. (o con calcoli complessi, o con opzione "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione:  
$$y = bx + a ; a = y - bx ; b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
- Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:  
«rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 2»
- Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto il laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $g_{\text{misurato}}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{\text{accettato}} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ), e rispondere alle seguenti due domande:
  - Qualitativamente: secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?
  - Quantitativamente: Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

**IMPORTANTE: al termine dell'esercitazione:**  
• spedire 1) questa scheda (doc) e 2) il file EXCEL (xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it), con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".  
• **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

- ◆ Seguite le istruzioni con attenzione. Per il punto 8, editate sotto e scrivete le risposte.
- **WARNING:** salvate il file di frequente per non perdere lavoro fatto.

8. Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto il laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $g_{\text{misurato}}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{\text{accettato}} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ), e rispondere alle seguenti due domande:
- **Qualitativamente:** secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?
  - **Quantitativamente:** Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

# La scheda di analisi dati [5/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 26 Marzo 2013

Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: **CINEMATICA**  
Postazione di lavoro (Nome su etichetta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da: \_\_\_\_\_

STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

- Trascrivere su un foglio elettronico i dati raccolti nel Laboratorio di Fisica per questa prova:
  - mettere in una colonna il tempo in cui è stata effettuata la misura (X) e nella colonna adiacente il corrispondente valore misurato della distanza tra sonar e pallina (Y);
  - inserire label identificative delle colonne (compresa unità di misura) nella prima riga.
- Rappresentare la distanza palla-sonar in un grafico.
  - selezionare il grafico X-Y (dispersione);
  - inserire le etichette corrette (con le giuste unità di misura) relative agli assi X e Y.
- Trasferire il grafico (GRAFICO 1) così ottenuto nell'area sottostante:  
«rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 1»
- Calcolare la velocità della palla a partire dalle misure di posizione e di tempo.
- Rappresentare la velocità in funzione del tempo in un grafico X-Y (dispersione).
- Calcolare l'equazione che meglio descrive l'andamento della velocità in funzione del tempo. (o con calcoli complessi, o con opzione "linea di tendenza" o simili). Stampare sul grafico l'equazione:  
$$y = bx + a ; a = y - bx ; b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
- Trasferire il grafico relativo alla velocità (GRAFICO 2), completo di equazione, nell'area sottostante:  
«rimuovere questa linea ed inserire qui il GRAFICO 2»
- Confrontare tra loro: (a) il valore di g ottenuto il laboratorio; (b) il coefficiente angolare della retta così ottenuto (detto  $g_{\text{misurato}}$ ); (c) il valore "accettato" atteso a Bologna per l'accelerazione di gravità ( $g_{\text{teorica}} = 9.804 \text{ m/s}^2$ ) e rispondere alle seguenti due domande:
  - Qualitativamente: secondo voi, i valori (a) e (b) sono "entrambi corretti"?
  - Quantitativamente: Calcolare la discrepanza tra (b) e (c) ed esprimere il risultato in %.

**IMPORTANTE: al termine dell'esercitazione:**  
• spedire 1) questa scheda (.doc) e 2) il file EXCEL (.xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it), con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".  
• **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

**IMPORTANTE:**

senza firma di presenza in ogni prova  
**NON** si può sostenere l'esame

Quando andrete all'esame orale, i docenti avranno in mano un resoconto di come avete condotto questa esperienza di laboratorio di analisi dati, e vi potranno essere fatte domande al riguardo.

**IMPORTANTE: al termine dell'esercitazione:**

- spedire 1) questa scheda (.doc) e 2) il file EXCEL (.xls) per mail all'indirizzo [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it), con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".
- **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

oppure [federico.marulli3@unibo.it](mailto:federico.marulli3@unibo.it), a seconda di A-L o M-Z



# Parte “facoltativa”

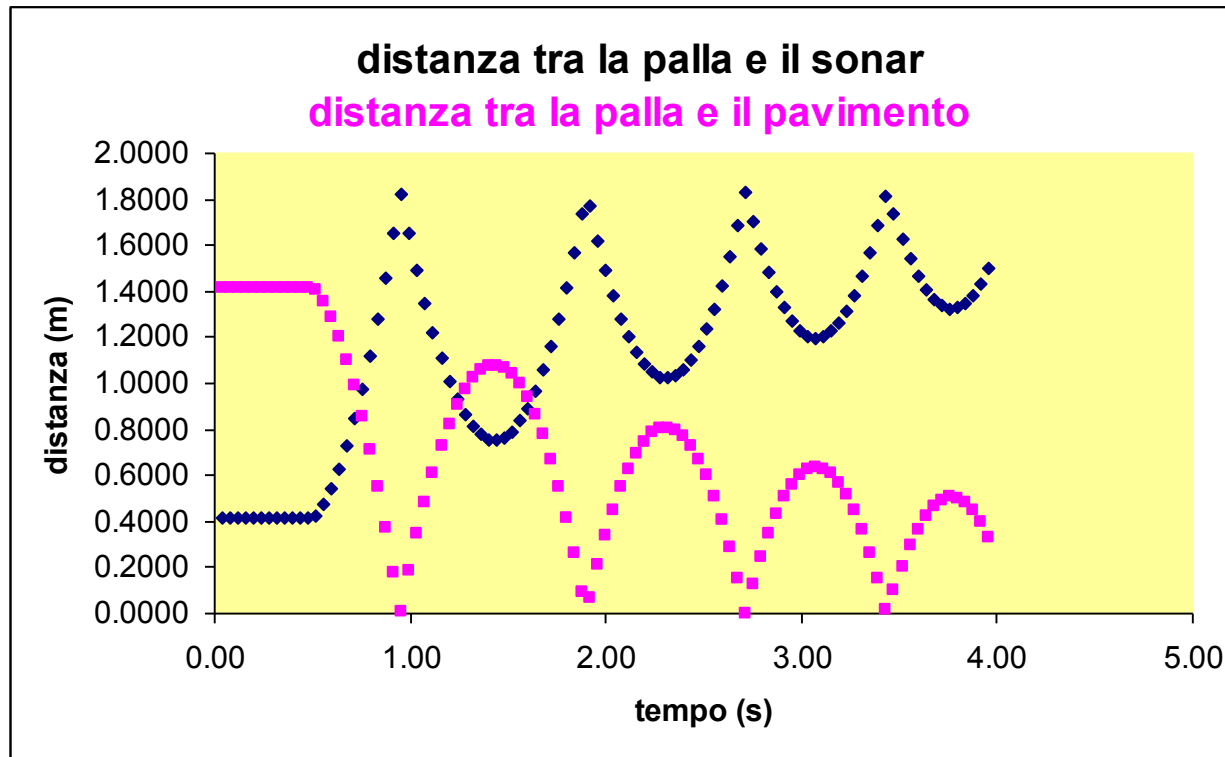
NB: Non è facoltativo studiarla e capirla come teoria (e può essere chiesta all'esame orale!), è tuttavia una parte facoltativa del lavoro da fare in laboratorio / analisi dati.



# Studio dell'energia meccanica

**Dati iniziali:** posizione della palla rispetto al pavimento

**Obiettivo:** studio dell'energia meccanica della palla



Quanto vale l'energia meccanica della palla?

Si conserva durante il moto della palla?

Se non si conserva, come cambia? E perchè?



# Un breve richiamo su $E_{\text{mecc}}$

“palla che rimbalza” = ?

- ◆ Si tratta di un sistema fisico elementare, costituito da un corpo massivo libero di muoversi nel campo gravitazionale terrestre.
- ◆ Diciamo che “cade, soggetta alla forza di gravità terrestre”

La sua  $E_{\text{mecc}}$  totale è data da:

- ◆  $E_{\text{mecc}} = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}}$

dove:

- ◆  $E_{\text{cin}} = 1/2 m v^2$  è l'energia cinetica della palla, legata al suo movimento
- ◆  $E_{\text{pot}} = m g h$  è l'energia potenziale della palla, legata alla sua distanza dal centro di massa della Terra



# Calcolo dei “componenti” dell’ $E_{mecc}$

Proviamo a usare i dati che abbiamo per calcolare l’energia cinetica e l’energia potenziale della palla

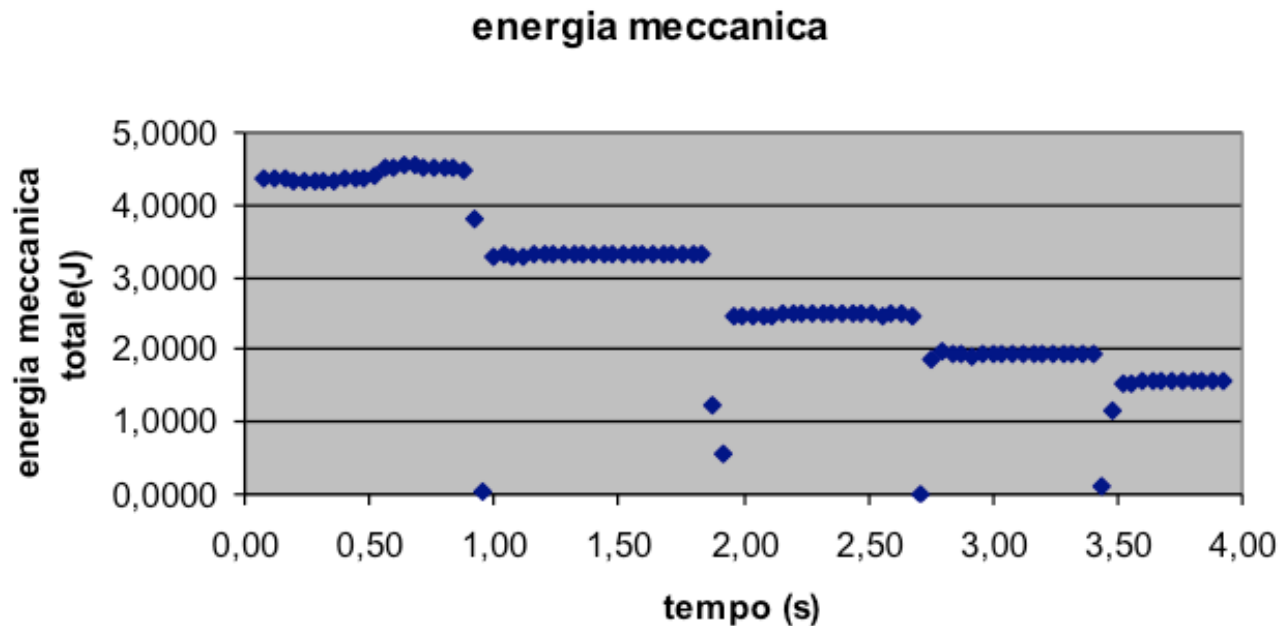
**Energia cinetica:**  $E_{cin} = 1/2 m v^2$

- ◆ calcoliamo la velocità media della palla  $v = \Delta s / \Delta t$  usando le posizioni
- ◆  $v_i = [d(t_{i+1}) - d(t_{i-1})] / (0.08)$

**Energia potenziale:**  $E_{pot} = m g h$

- ◆ usando le posizioni

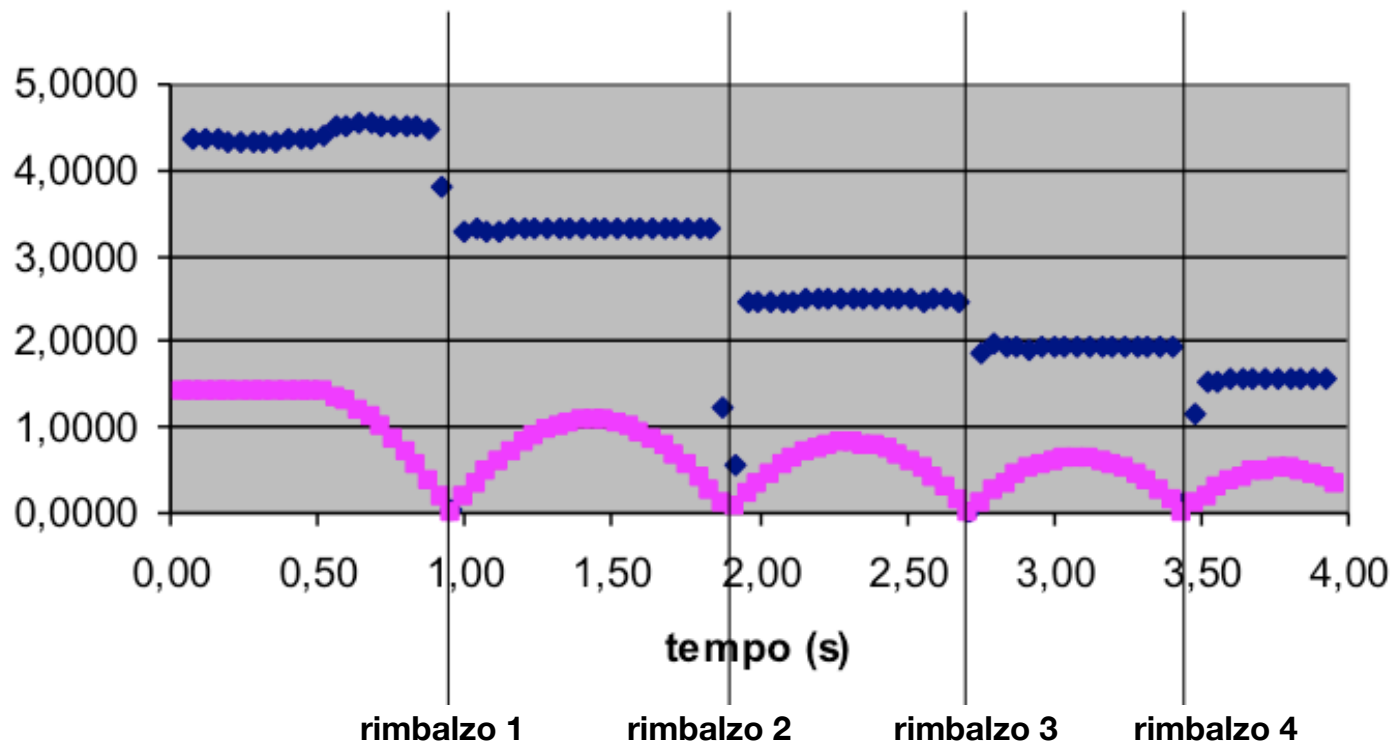
E rappresentiamola in un grafico in funzione del tempo:



**A cosa corrispondono i plateau?**

# I plateau e i rimbalzi

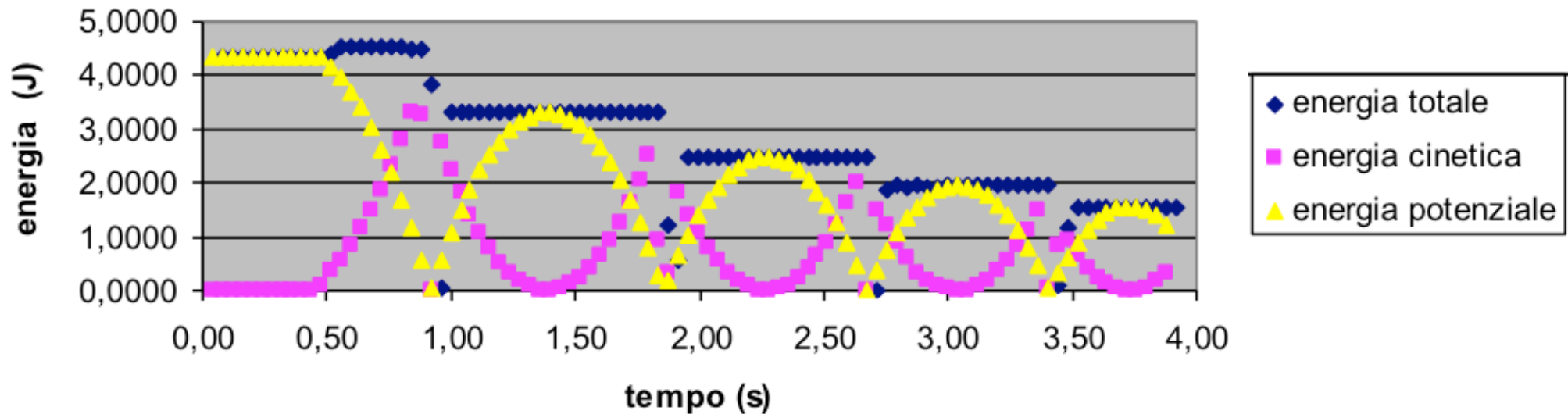
energia meccanica e posizione



Per capirlo, proviamo a sovrapporre al grafico dell'energia meccanica quello della posizione in funzione del tempo...

Entro gli errori sperimentali,  **$E_{\text{mecc}}$  totale tra un rimbalzo e l'altro si conserva, ma diminuisce il suo valore nei rimbalzi via via successivi.**

# Scomposizione di $E_{mecc}$ in $E_{cin}$ e $E_{pot}$



Proviamo a graficare insieme all' $E_{mecc}$  totale anche i contributi in  $E_{cin}$  e in  $E_{pot}$ . Cosa notate?

- ◆ dopo ogni rimbalzo l' $E_{mecc}$  totale diminuisce, inesorabilmente
- ◆ tuttavia, tra un rimbalzo e l'altro l' $E_{mecc}$  resta costante, dunque la somma dell' $E_{cin}$  e dell' $E_{pot}$  resta costante
- ◆ nell'istante del rimbalzo tutta l'energia della palla è  $E_{cin}$  (il modulo della velocità  $v$  è massimo)
- ◆ nel punto di inversione del moto tutta l'energia della palla è  $E_{pot}$  gravitazionale (l'altezza  $h$  è massima)





# Come diminuisce l' $E_{mecc}$ tra i rimbalzi?

Per calcolare come diminuisce l' $E_{mecc}$  possiamo considerare come varia (cala) l'altezza  $h$  massima raggiunta in ciascun rimbalzo

- ◆ nel punto di massima  $h$ ,  $E_{cin} = 0$  ( $v=0$ ) quindi,  $E_{mecc\ totale} = E_{pot} = mgh$
- ◆ quindi, nel punto di massima altezza l'energia meccanica tra 2 rimbalzi diminuisce della stessa percentuale di cui diminuisce l'altezza massima

Dunque, procediamo così:

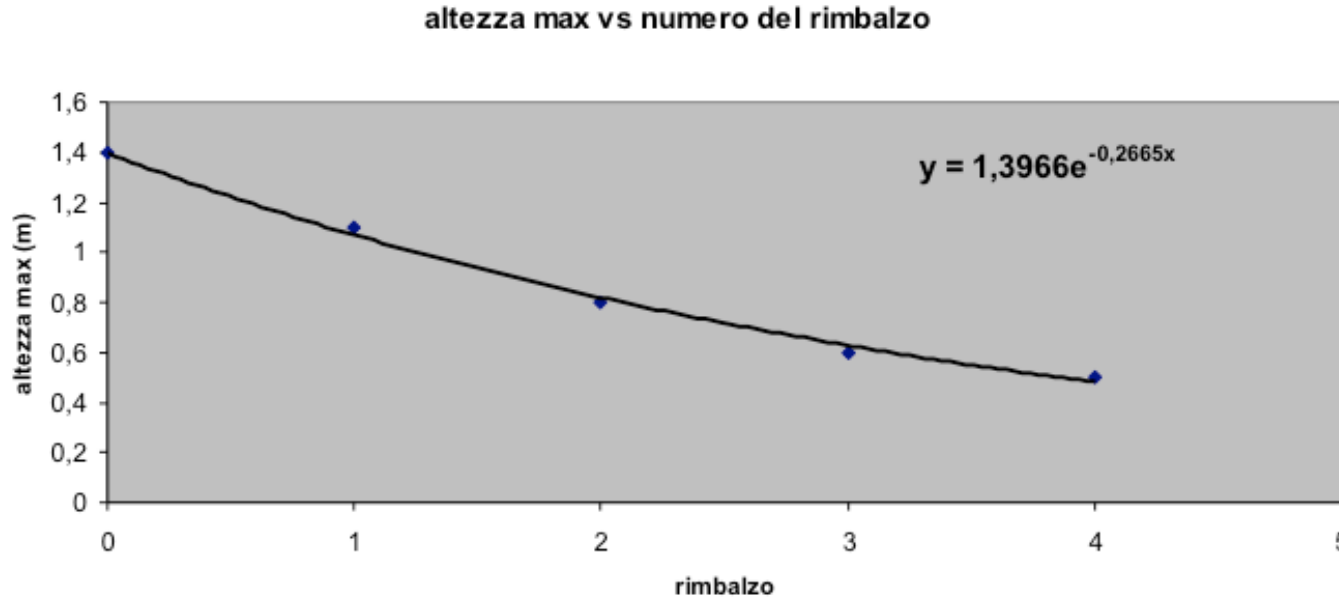
- ◆ individuiamo i massimi di ciascun rimbalzo e costruiamo una tabella
- ◆ riportiamo in un grafico l'altezza massima in funzione del numero del rimbalzo
- ◆ cerchiamo quale linea di tendenza si adatta meglio a questi punti e chiediamo al programma (excel) di scrivere l'equazione sul grafico

n. rimbalzo	altezza max (m)
0	1,4
1	1,1
2	0,8
3	0,6
4	0,5





# Descrizione quantitativa dei rimbalzi



In analisi dati, vedrete che una funzione esponenziale descrive bene la diminuzione dell'altezza dei rimbalzi:

- ◆ nell'esempio in figura:  $y = 1.40 e^{-0.27 x}$

Avere tale funzione permette di avere alcune informazioni quantitative:

- ◆ dopo ogni rimbalzo l'h massima del rimbalzo è  $e^{-0.27} \approx 0.76$  volte quella precedente
- ◆ ovvero, visto che nel punto di massima altezza si ha  $E_{mecc} = E_{pot} = mgh$ , si ha che h massima diminuisce del 24% ad ogni rimbalzo

Abbiamo capito:

- ◆ perchè l'E<sub>mecc</sub> - per quanto costante tra i rimbalzi - alla fine però cala comunque?
- ◆ in quali condizioni (se ce ne sono) resterebbe costante?



# Grazie dell'attenzione!

## Domande?

Per ogni dubbio/domanda **contattateci:**

Studenti A-L: [federico.marulli3@unibo.it](mailto:federico.marulli3@unibo.it)

Studenti M-Z: [daniele.bonacorsi@unibo.it](mailto:daniele.bonacorsi@unibo.it)