



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>
- ✦ cognome M-Z: Daniele Bonacorsi <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



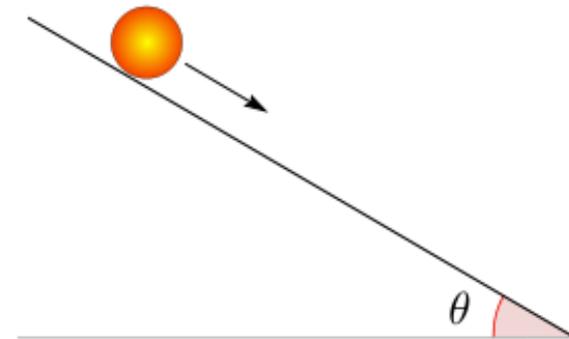
Prologo

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?

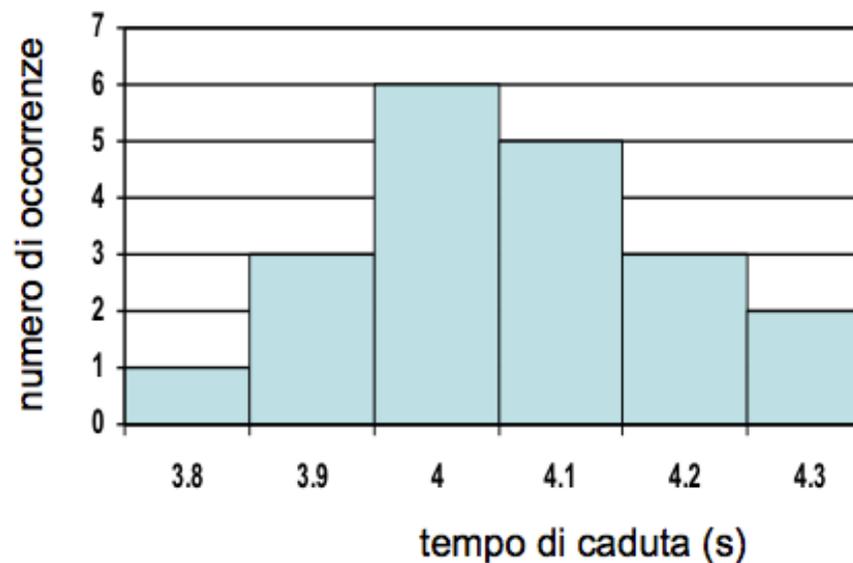


I dati sperimentali

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)

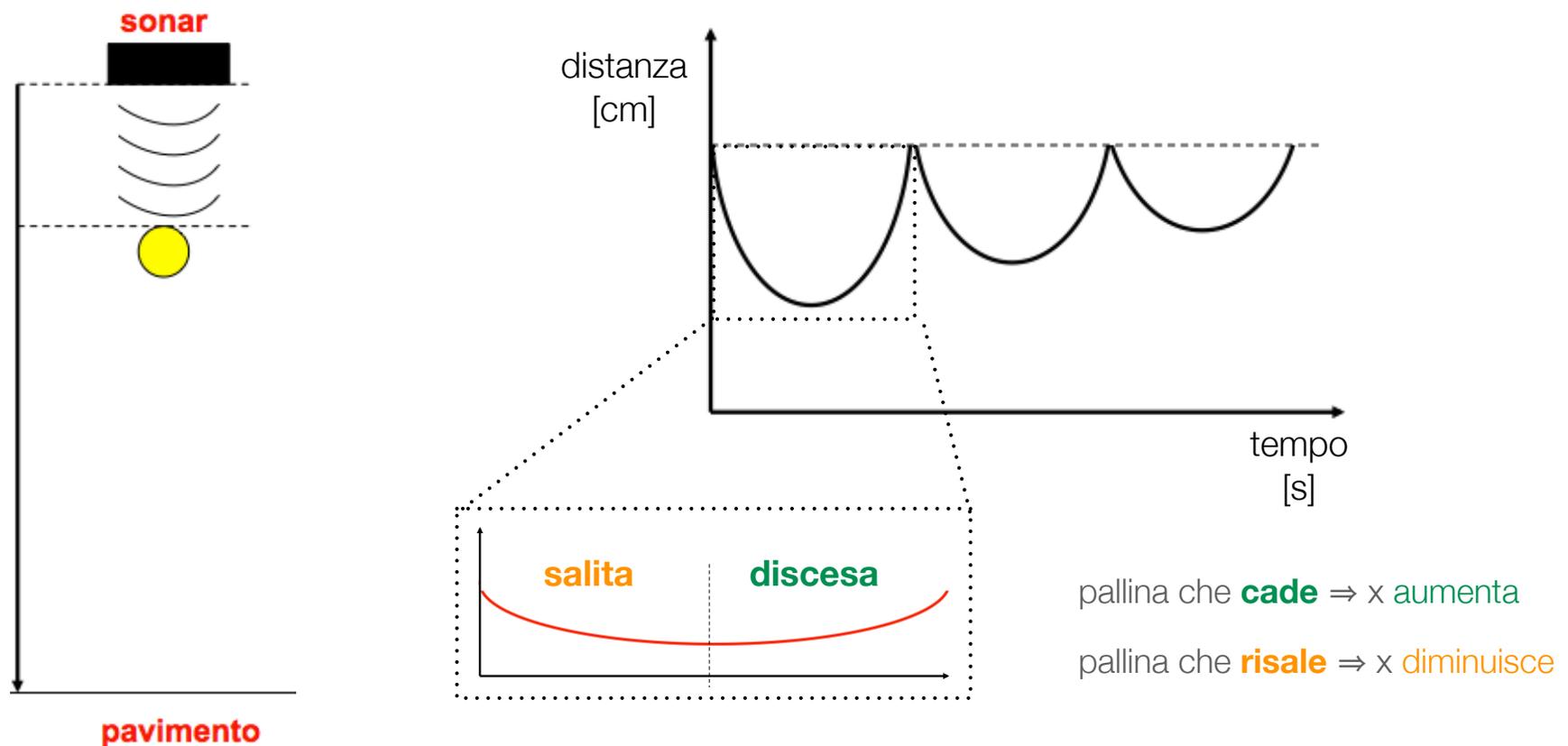
Avrete una copia delle istruzioni per effettuare le misure

- ◆ 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**

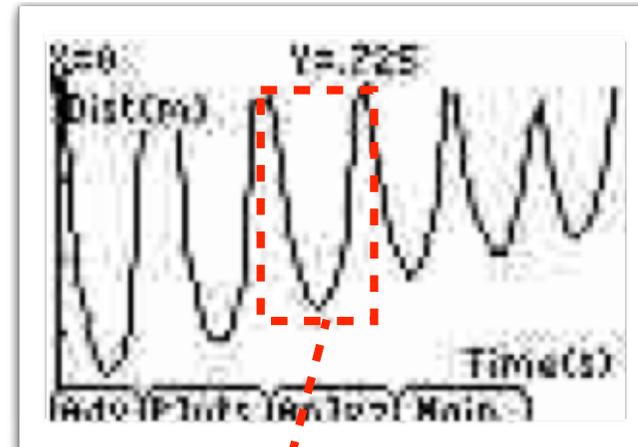
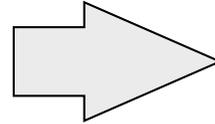
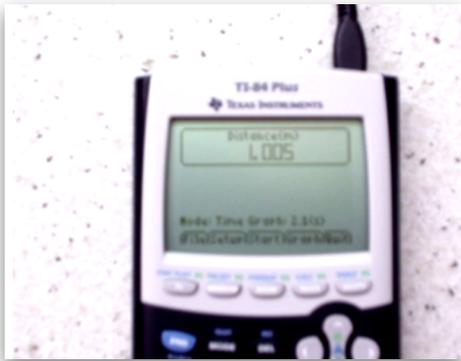
Il sonar

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**

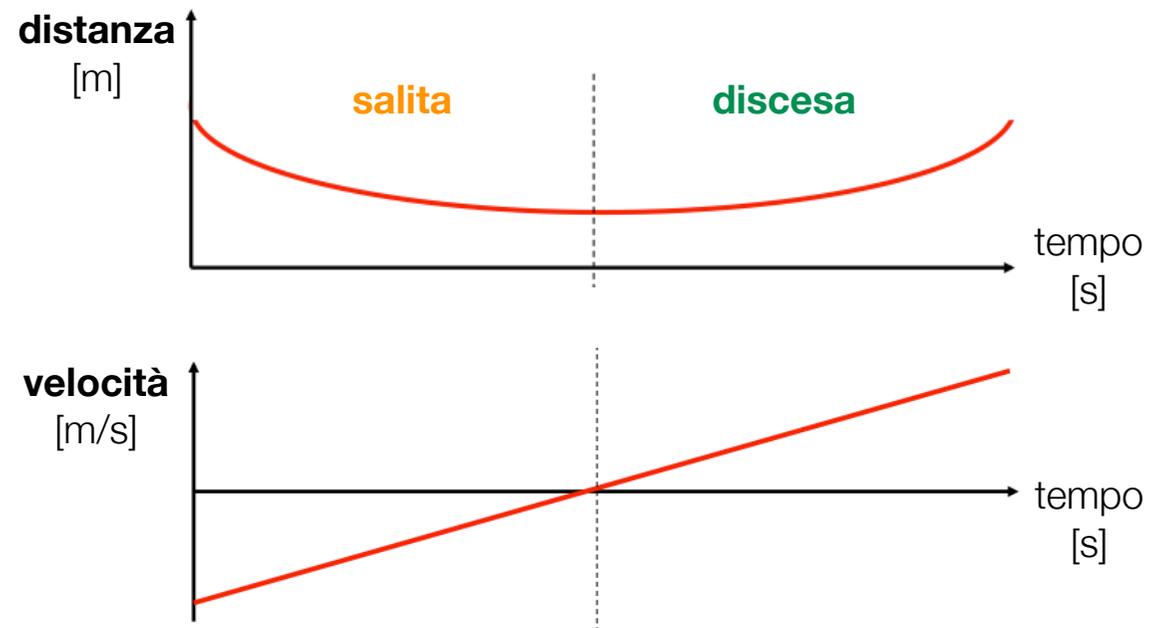


In laboratorio:



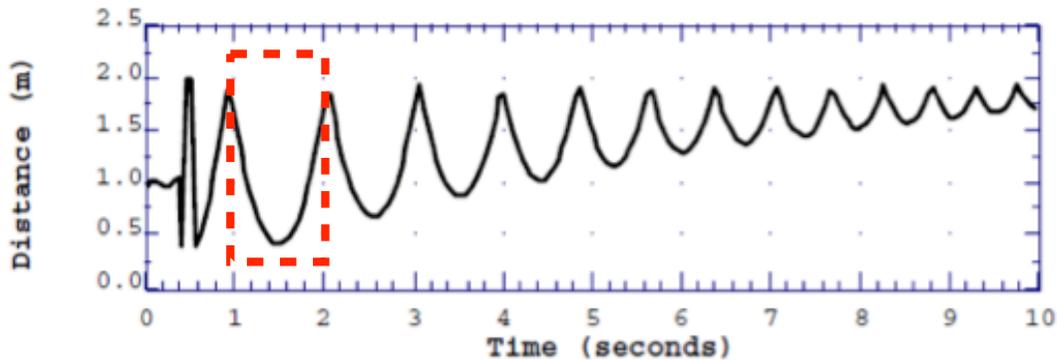
Durante l'esperienza in lab, con la **calcolatrice grafica**, potrete:

- ◆ 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



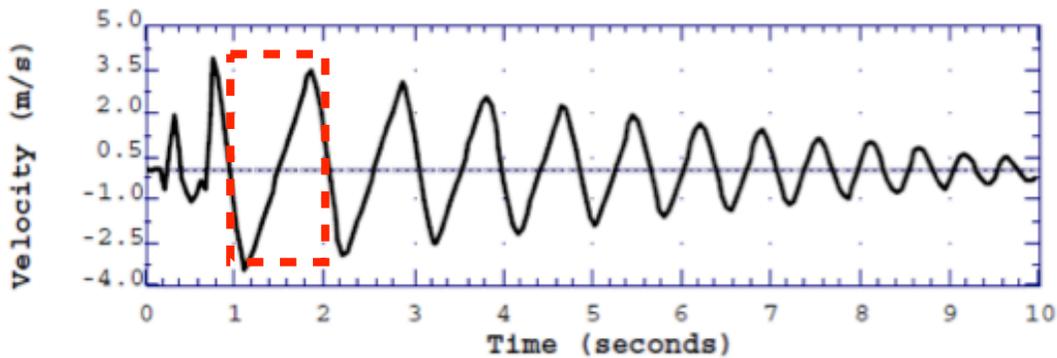


La legge oraria del moto



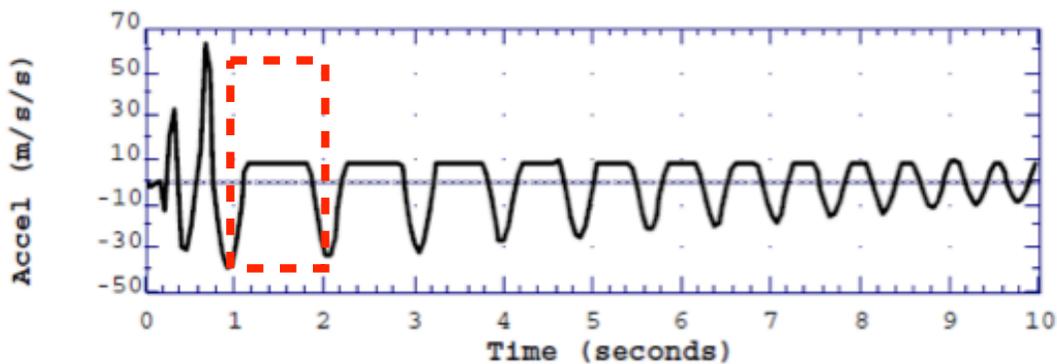
$$s(t) = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

graficamente: una parabola...



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

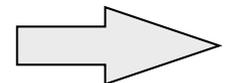
graficamente: una retta...



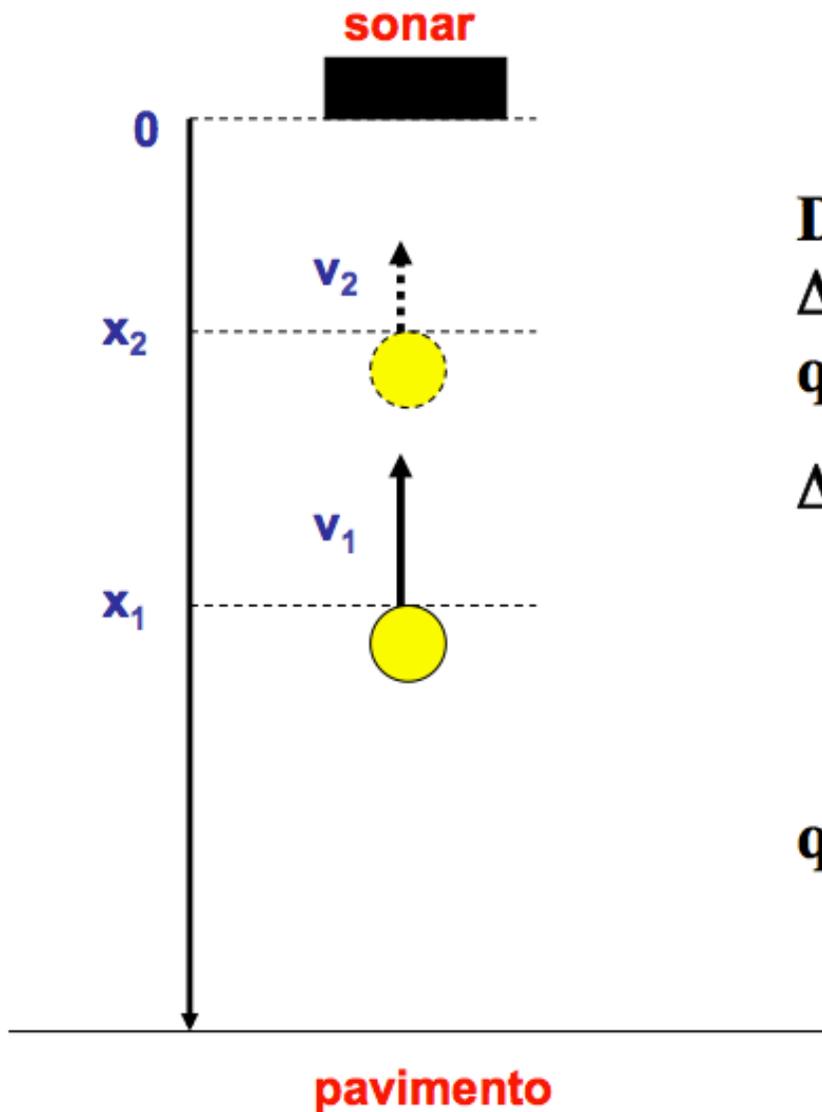
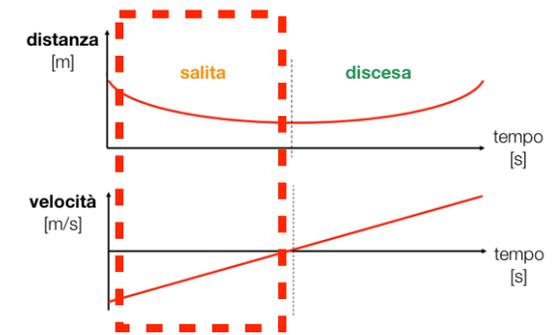
$$a(t) = \ddot{s} = g$$

graficamente: un valore costante...

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



Studiamo meglio... la **salita**



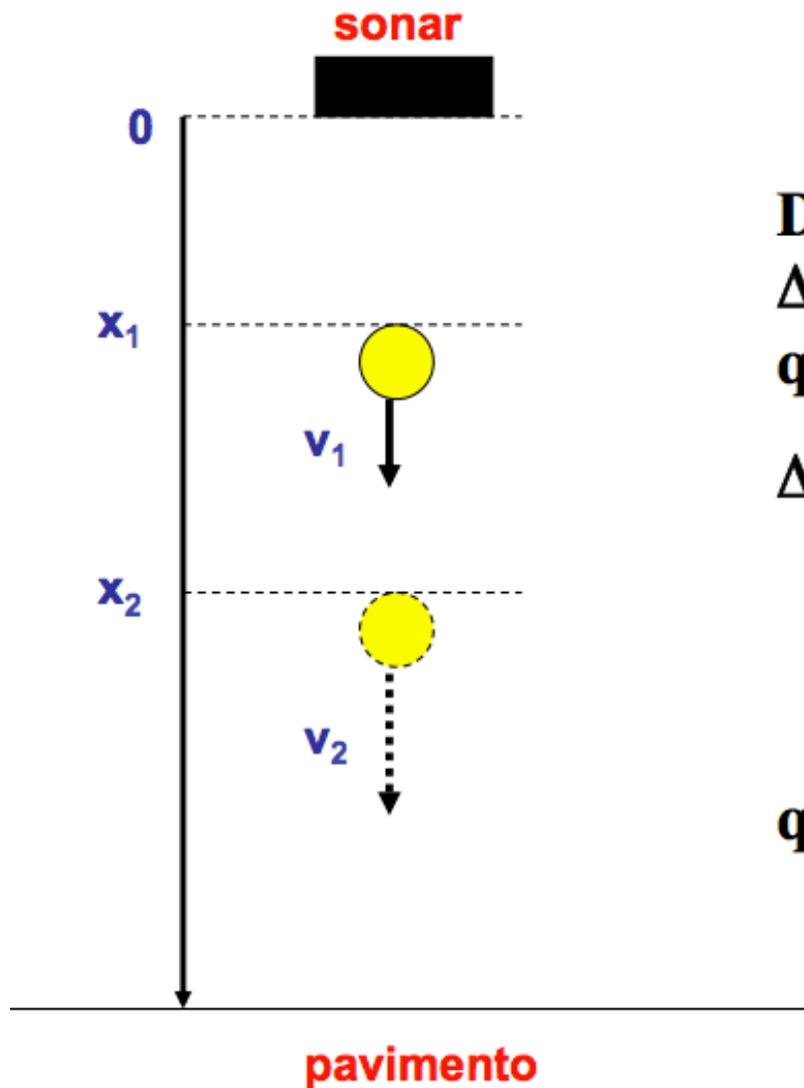
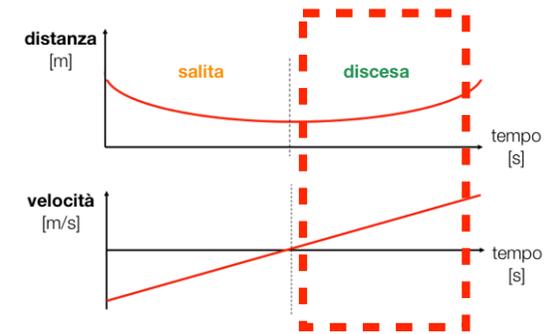
Durante la **salita**, si ha che
 $\Delta x = x_2 - x_1$ è negativo,
 quindi $v < 0$

$\Delta v = v_2 - v_1$ 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:

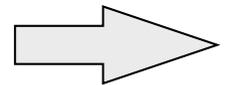
- ◆ ricavare dalla calcolatrice un certo numero, circa 10, di coppie (t, v)
- ◆ copiare tali coppie di valori in una tabella
- ◆ fare il grafico **$v=v(t)$** , su carta millimetrata
 - Fate attenzione alla scelta delle scale in ascissa (tempo) e ordinata (velocità)!
 - Le scale devono consentire di riportare comodamente i dati nonché 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:

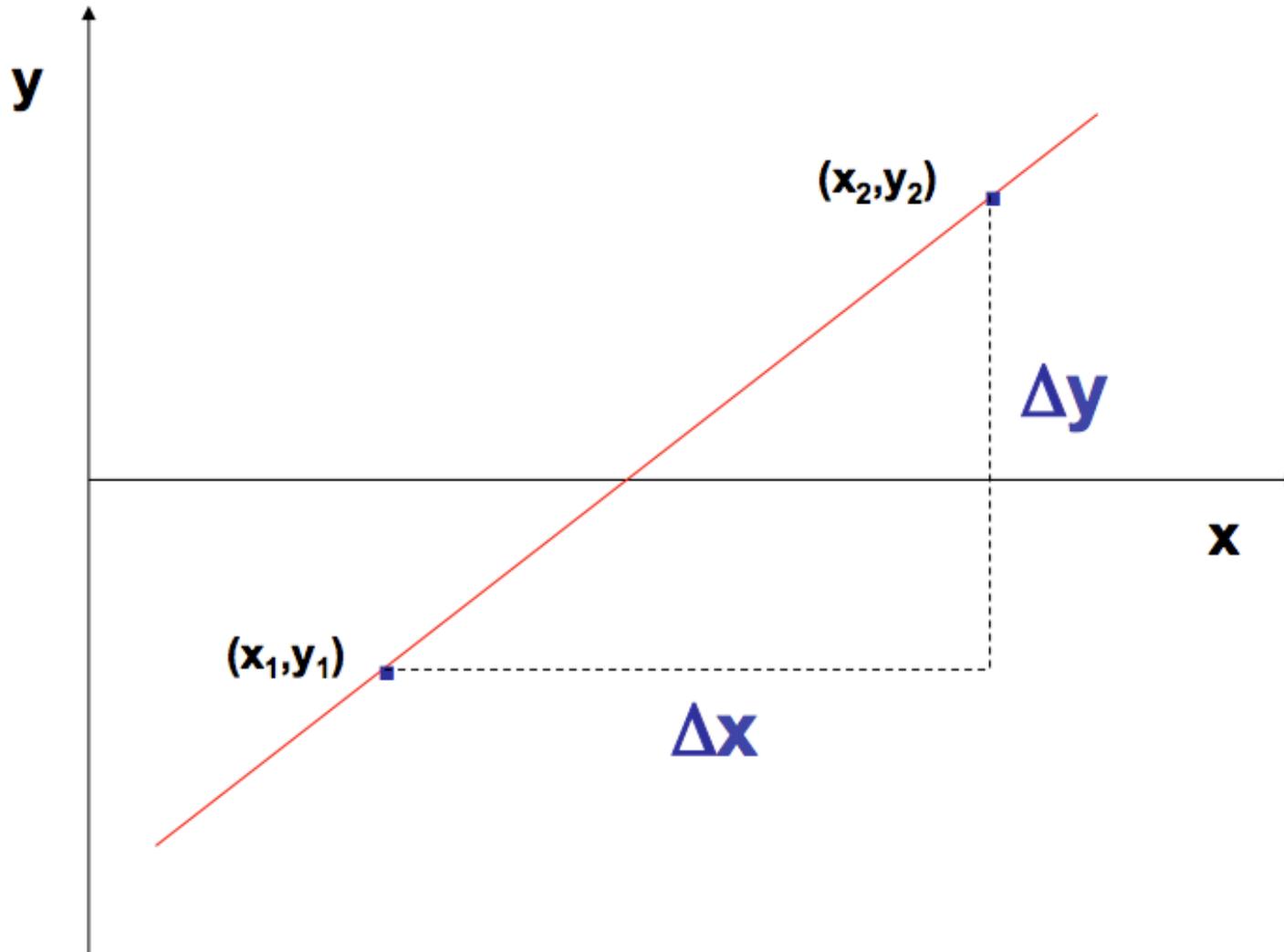
$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

- ◆ 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_{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_{misurato} ?

In altre parole, esprimendo il risultato in 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_{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_{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

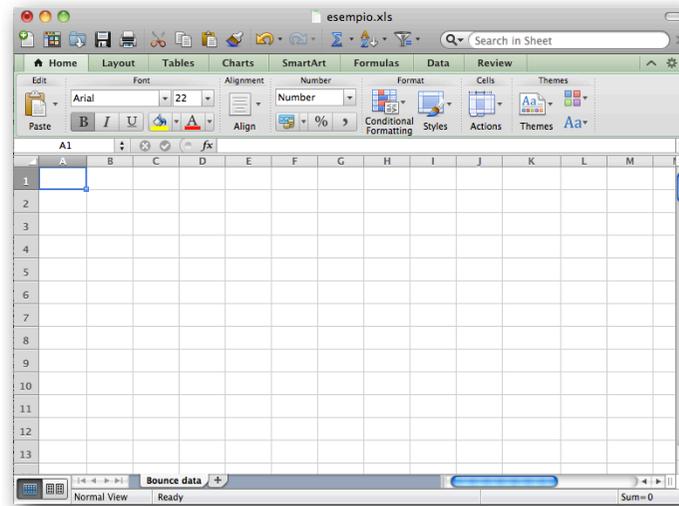
Userete **EXCEL** (Microsoft Office ©)

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

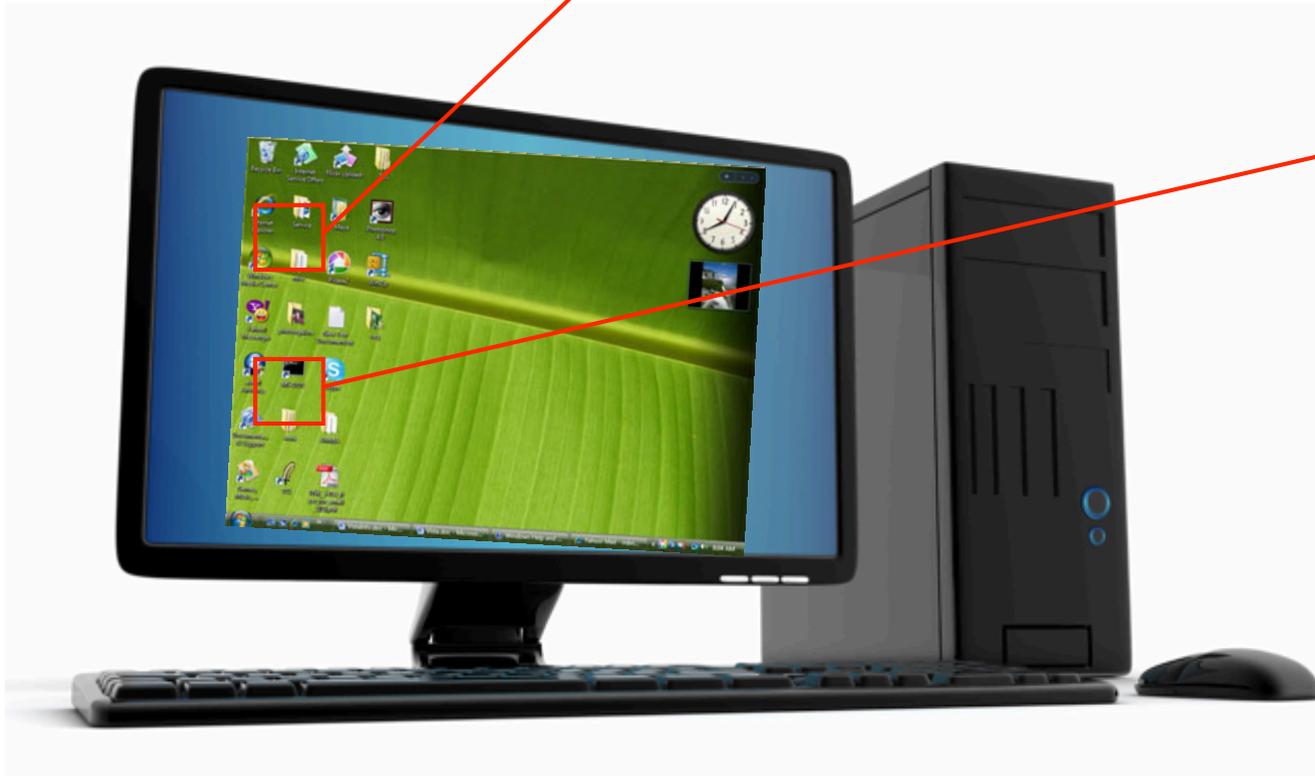
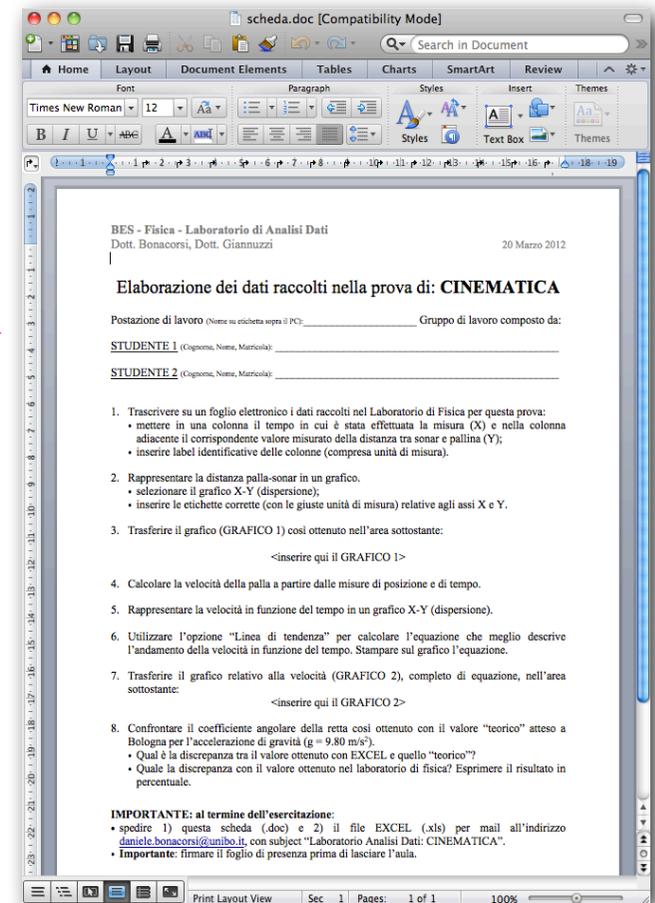
In ambienti di ricerca esistono piattaforme di analisi dati più evolute

- ◆ ... 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**)

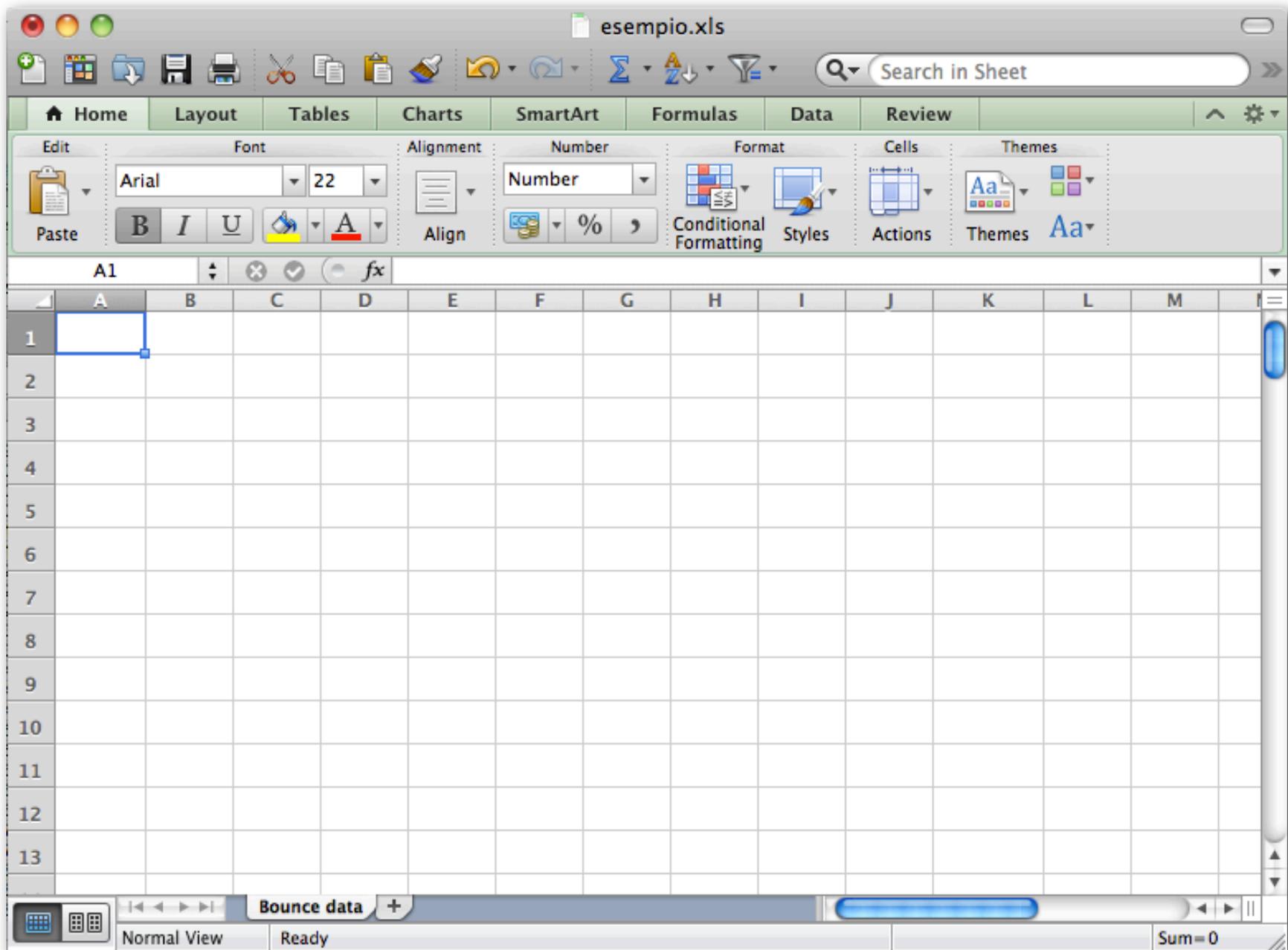


Editor di testo per la relazione (**Word**)





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 base 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 (compreso 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 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, 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, 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_{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, 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_{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_{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, 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, con subject "Laboratorio Analisi Dati: CINEMATICA".
- **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

oppure federico.marulli3@unibo.it, a seconda di A-L o M-Z



Parte “facoltativa”

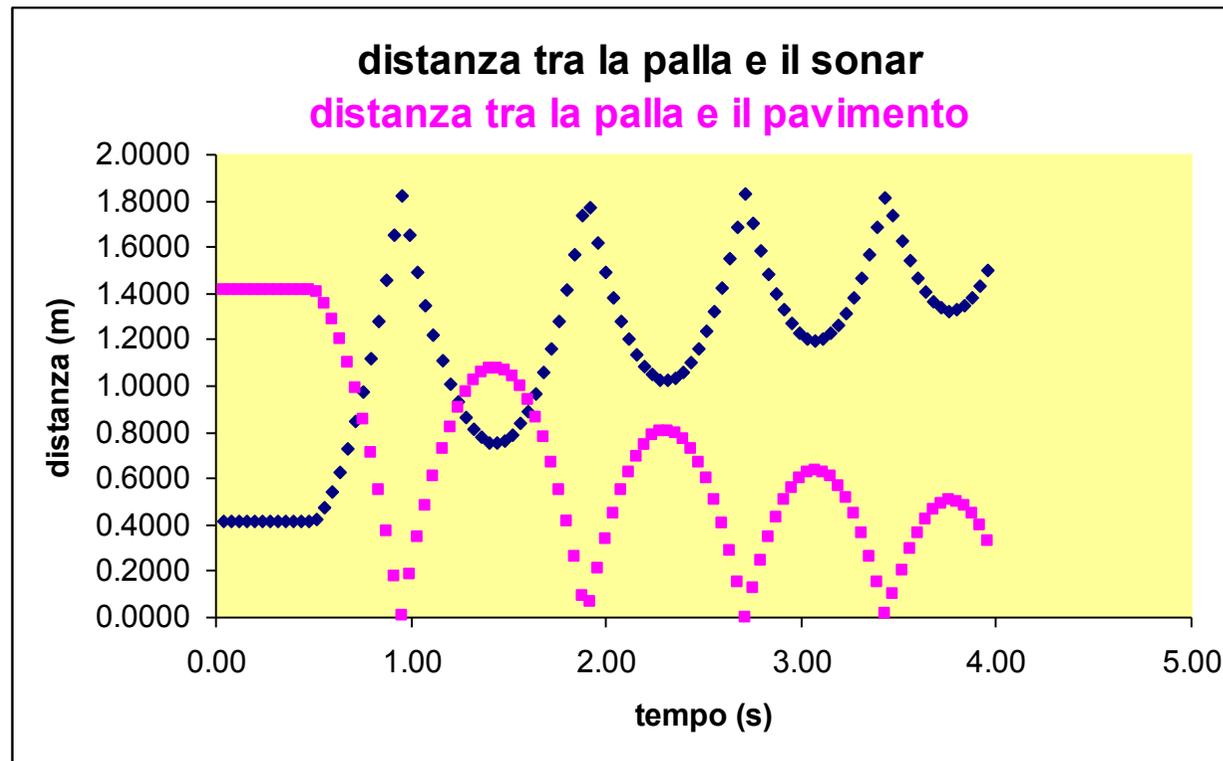
NB: Non è facoltativo studiarla e capirla come teoria (e può essere chiesta all’esame orale!), è tuttavia una parte facoltativa del lavoro da fare in laboratorio / analisi dati.



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_{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_{mecc} totale è data da:

- ◆ $E_{mecc} = E_{cin} + E_{pot}$

dove:

- ◆ $E_{cin} = 1/2 m v^2$ è l'energia cinetica della palla, legata al suo movimento
- ◆ $E_{pot} = m g h$ 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

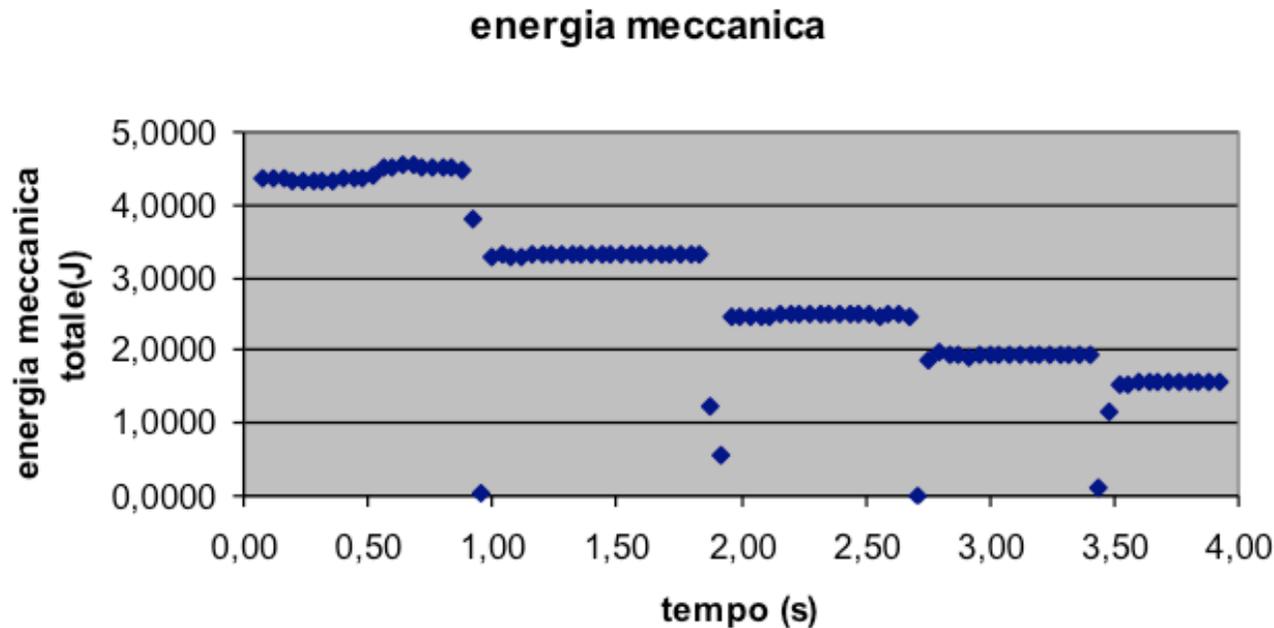
Energia cinetica: $E_{cin} = 1/2 m v^2$

- ◆ 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

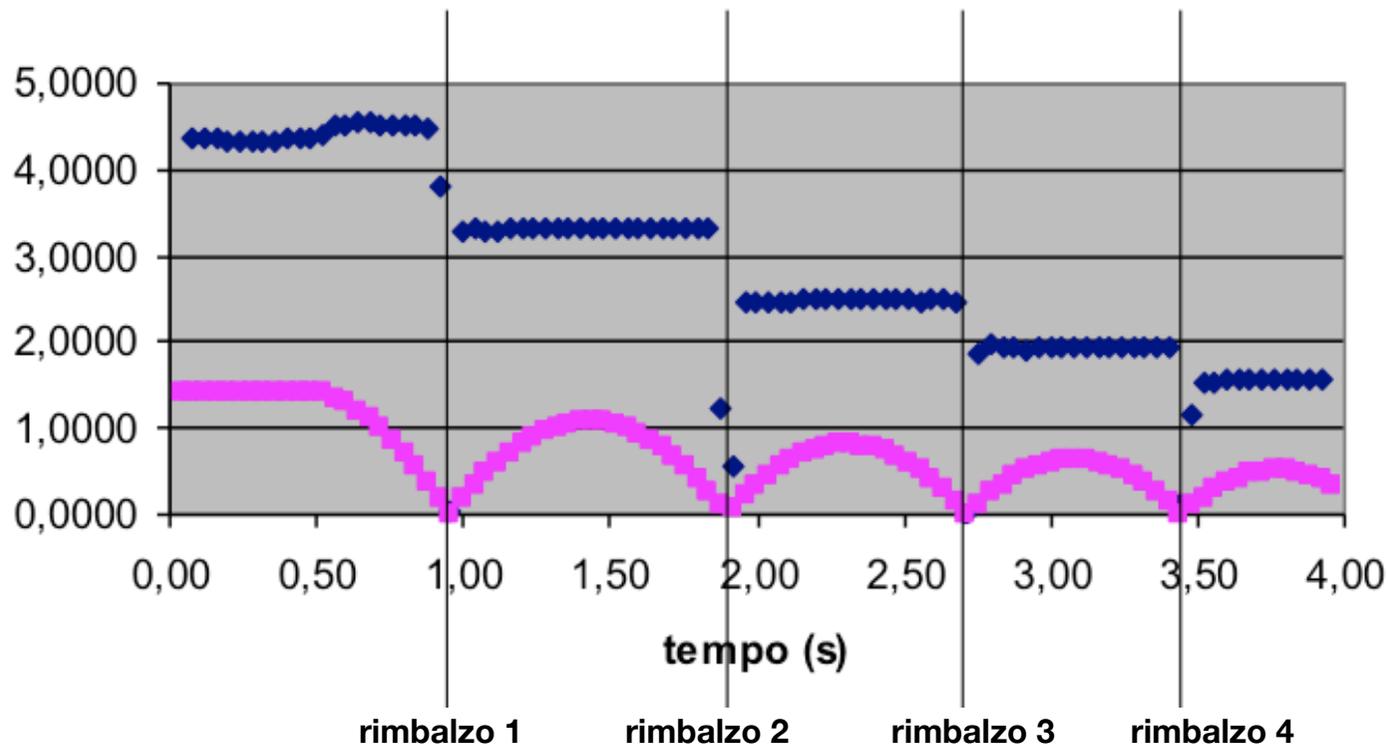
E rappresentiamola in un grafico in funzione del tempo:



A cosa corrispondono i plateau?

I plateau e i rimbalzi

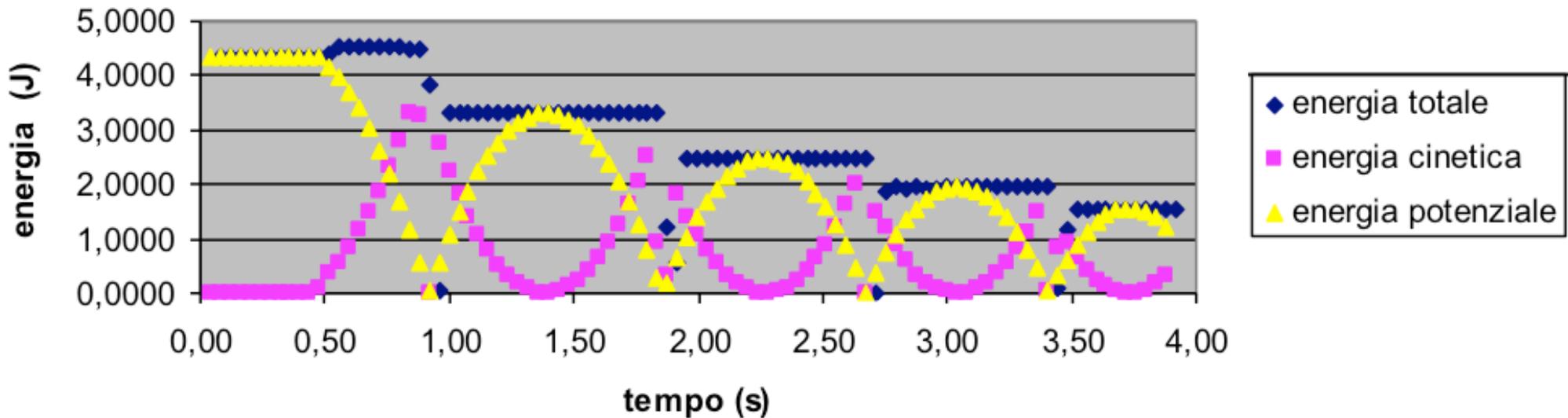
energia meccanica e posizione



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

Entro gli errori sperimentali, **E_{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:

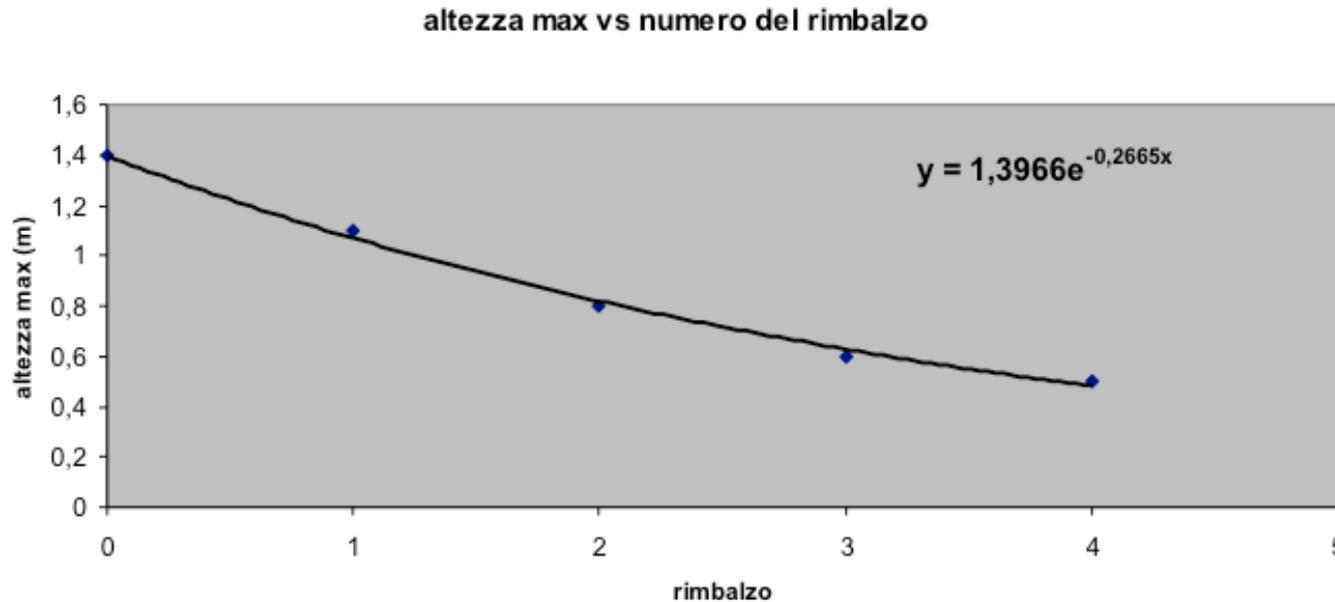
- ◆ individuiamo i massimi di ciascun rimbalzo e costruiamo una tabella
- ◆ riportiamo in un grafico l'altezza massima in funzione del numero del rimbalzo
- ◆ cerchiamo quale linea di tendenza si adatta meglio a questi punti e chiediamo al programma (excel) di scrivere l'equazione sul grafico

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_{mecc} - 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

Studenti M-Z: daniele.bonacorsi@unibo.it