



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

A.A. 2015-16

Daniele Bonacorsi, Federico Marulli, Cristian Vignali  
(Università di Bologna)



# Terza (e ultima) esperienza

## Cosa abbiamo già fatto?

- ◆ 2 esperienze di laboratorio (CINEMATICA e OTTICA)
- ◆ le relative analisi dei dati sperimentali

## Cosa ci resta da fare?

- ◆ l'ultima esperienza: **TERMOLOGIA**
- ◆ ... e la relativa analisi dati



# Importante !

## **NON SONO PREVISTI RECUPERI**

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

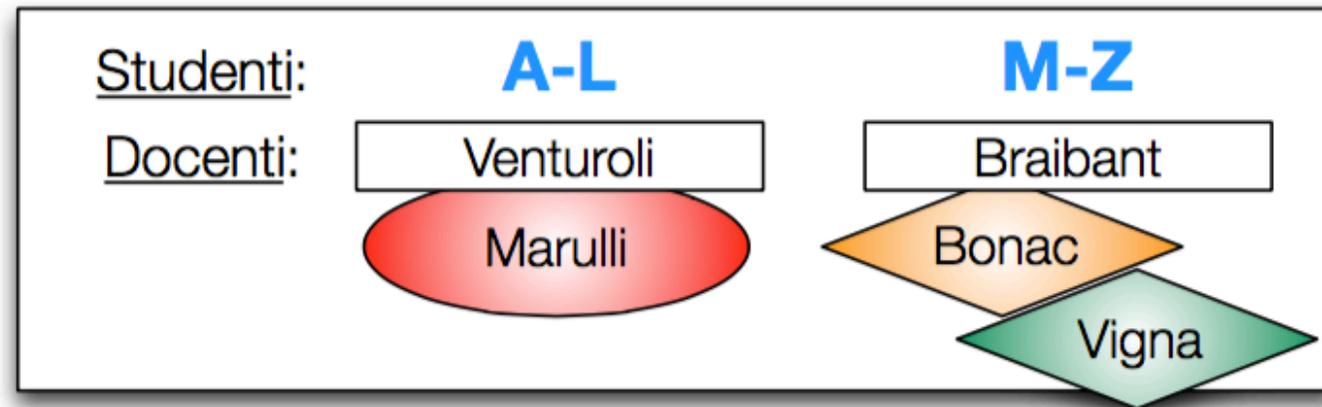
**Se vi siete già segnati in un turno e sapete che avrete difficoltà con una data e prevedete un'assenza, o se avremo già iniziato e avrete fatto un'assenza, **NON ASPETTATE SENZA FARE NULLA: mandate prima possibile un mail** e segnalate la vostra situazione al seguente indirizzo**

**[difa-docentilaboratori@unibo.it](mailto:difa-docentilaboratori@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.



# Le date relative a terminologia



## CINEMATICA:

intro **lun 14/3 (Bonac)**

lab: **mar 15/3** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 18/3** (14-16 turno **C1**, 16-18 turno **C2**)

lab: **mar 22/3** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 1/4** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 5/4** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 8/4** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)

## OTTICA:

intro **lun 11/4 (Marulli)**

lab: **mar 12/4** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 15/4** (14-16 turno **C1**, 16-18 turno **C2**)

lab: **mar 19/4** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 22/4** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 26/4** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 29/4** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)

## TERMOLOGIA:

intro **lun 2/5 (Vigna)**

lab: **mar 3/5** (14-16 turno **A1**, 16-18 turno **A2**) e **ven 6/5** (14-16 turno **C1**, 16-16 turno **C2**)

lab: **mar 10/5** (14-16 turno **B1**, 16-18 turno **B2**) e **ven 13/5** (14-16 turno **D1**, 16-18 turno **D2**)

analisi: **mar 17/5** (14-16 turni **A1+B1**, 16-18 turni **A2+B2**) e **ven 20/5** (14-16 turni **C1+D1**, 16-18 turni **C2+D2**)



**Corso di Fisica:**  
**LABORATORIO e ANALISI DATI**  
Esperienza di **TERMOLOGIA**  
<http://campus.unibo.it/231912/>

A.A. 2015–16

Daniele Bonacorsi, Federico Marulli, Cristian Vignali  
(Università di Bologna)



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



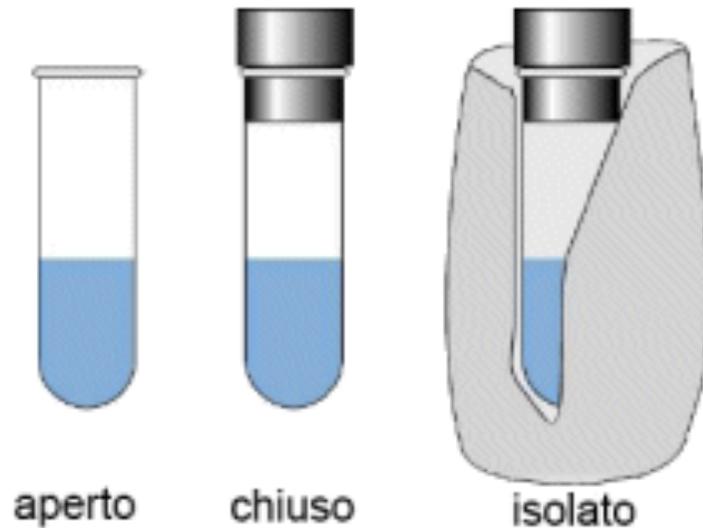
Cosa faremo?

Misura di temperatura di equilibrio

**Misura di calore specifico**



# Sistema, Ambiente, Universo

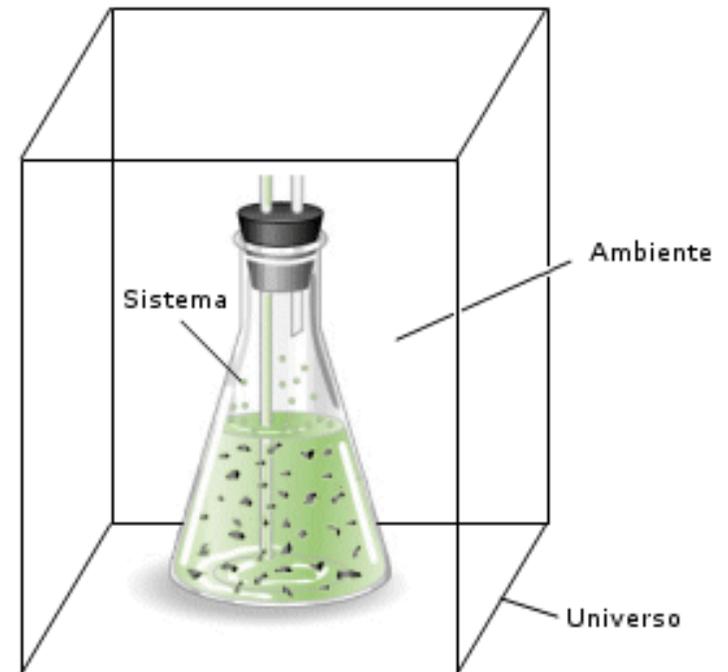


**Sistema:** qualsiasi oggetto/insieme di oggetti che scegliamo di prendere in considerazione

**Sistema aperto:** sistema che puo' scambiare massa con l'esterno, oltre che energia

**Sistema chiuso:** sistema in cui nessuna massa entra o esce (pur potendo scambiare energia con l'ambiente)

**Sistema isolato:** sistema chiuso in cui non passa energia attraverso i suoi confini





# Calore

Il **calore (Q)** è una delle modalità con le quali un sistema termodinamico può scambiare energia con l'ambiente che lo circonda.

La condizione affinché ciò avvenga è:

- ◆ che vi sia una differenza di **temperatura (T)** tra il sistema e l'ambiente
- ◆ che la 'parete' di separazione sistema/ambiente conduca calore ("diatermico")

L'unità di misura del calore è...

- ◆ essendo un'energia (termica), è il **Joule (J)**
- ◆ ma si utilizza tuttora anche la **caloria (cal)**
- ◆ **1 cal = 4,186 J**

**Caloria: quantità di calore necessaria ad innalzare di 1 °C la temperatura di 1 g d'acqua**

Il calore può essere scambiato per *conduzione* (immaginabile come risultato di urti tra molecole ed elettroni), per *convezione* (calore trasmesso attraverso movimenti di massa delle molecole) e/o per *irraggiamento* (e.g. la radiazione solare).



Importante in termodinamica (in particolare, in calorimetria) è:

**collegare calori scambiati ( $Q$ )  
a variazioni di temperatura ( $\Delta T$ )**



# Calore specifico

Il **calore specifico (c)** di una sostanza è la quantità di calore che deve essere fornita alla unità di massa (e.g. 1 kg in SI) di quella sostanza affinché la sua temperatura aumenti di una unità (1 K).

- ◆ Se conosciamo tale quantità, possiamo appunto collegare Q con  $\Delta T$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q: calore

c: calore specifico

m: massa

$\Delta T$ : variazione di temperatura

- ◆ E' specifica di ogni sostanza/materiale
- ◆ L'unità di misura SI è quindi il **J/(kg K)**, ma è tuttora molto utilizzata l'unità "storica": **cal/(g C)**
- ◆ ad esempio,  $c_{\text{acqua}} = 1 \text{ cal/(g C)} = 4186 \text{ J/(kg K)}$

Il calore specifico è una variabile "intensiva", la corrispondente variabile "estensiva" è la **capacità termica**

$$C = c \cdot m \quad [\text{cal/C}]$$



# Valori tabulati

Calore specifico di sostanze solide	
Metalli	Kcal/(kg·°C)
Alluminio	0.210 (0 °C) 0.222 (100 °C)
Argento	0.050 (0 °C) 0.057 (100 °C)
Bronzo	0.091 (20 °C)
Cromo	0.109 (0 °C) 0.114 (100 °C)
Ferro	0.105 (0 °C) 0.116 (100 °C)
Manganese	0.105 (0 °C) 0.119 (100 °C)
Nickel	0.102 (0 °C) 0.113 (100 °C)
Oro	0.0305 (0 °C) 0.0312 (100 °C)
Ottone	0.091 (20 °C)
Piombo	0.0305 (0 °C) 0.0315 (100 °C)
Platino	0.032 (0 °C)
Rame	0.092 (0 °C)
Stagno	0.053 (0 °C) 0.057 (100 °C)

Titanio	0.071 (0 °C) 0.130 (100 °C)
Vanadio	0.114 (0 °C) 0.116 (100 °C)
Wolframio	0.044 (0 °C) 0.048 (100 °C)
Zinco	0.092 (0 °C) 0.096 (100 °C)
<b>Solidi vari</b>	<b>Kcal/(kg·°C)</b>
Acciaio	0.12
Allumina	0.201 (100 °C) 0.274 (1500 °C)
Amianto	0.25
Argilla	0.224
Asfalto	0.22
Bachelite	0.35
Calcare	0.217
Calcestruzzo	0.156 (21-156 °C) 0.219 (22-800 °C)
Carbone di legna	0.242
Cellulosa	0.32
Cemento Portland	0.186
Ceramica	0.190 (20-100 °C) 0.265 (21-400 °C)
Coke	0.359 (21-800 °C) 0.403 (21-1300 °C)
Diamante	0.147
Fluorite	0.21 (30 °C)
Gesso	0.259 (16-46 °C)

Gomma (vulcanizzata)	0.415
Grafite	0.165 (26-76 °C) 0.390 (56-1450 °C)
Granito	0.20 (20-100 °C)
Lana	0.325
Legno (quercia)	0.570
Magnesia	0.234 (100 °C) 0.188 (1500 °C)
Magnesite (mattoni)	0.222 (100 °C) 0.195 (1500 °C)
Marmo	0.21 (18 °C)
Mattoni al cromo	0.17
Mattoni refrattari	0.198 (100 °C) 0.298 (1500 °C)
Mattoni per muratura	circa 0.2
Pietra	circa 0.2
Quarzo	0.17 (0 °C) 0.28 (350 °C)
Sabbia	0.191
Seta	0.33
Silice	0.316
Vetro (crown)	0.18
Vetro (flint)	0.117
Vetro (pyrex)	0.20
Vetro (silicato)	0.19 (0 °C) 0.26 (600 °C)
Vetro (lanavetro)	0.157

Materiale	Calore specifico (J/g · °C)	Calore specifico (cal/g · °C)
acqua	4,18	1,00
alluminio	0,900	0,215
aria	1,00	0,24
rame	0,385	0,092
piombo	0,142	0,034
ferro	0,45	0,107

Metallo	Calore specifico $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Alluminio	900
Acciaio inox	510
Argento	235
Bronzo	360
Ferro puro	106
Ferro temperato	500
Invar (64% Fe+36%Ni)	503
Nickel	460
Oro	132
Ottone	370
Piombo	126
Rame	385
Stagno	226
Titanio	523
Zinco	385

Attenzione alle unità di misura usate...



# Esempio

Supponiamo di avere bisogno del valore del calore specifico per l'Alluminio:

- ◆ prima tabella:  $0.210 \text{ kCal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (cosa intende per kCal qui??)
- ◆ seconda tabella:  $0.900 \text{ J / g}^\circ\text{C} = 0.215 \text{ cal / g}^\circ\text{C}$
- ◆ terza tabella:  $900 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Quale uso?

Beh...

- ◆  $0.215 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 0.215 \text{ cal } \mathbf{10^3 \text{ kg}^{-1}} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- ◆  $= \mathbf{0.215 \cdot 10^3} \text{ cal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 215 \text{ cal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- ◆  $= 215 \text{ cal kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 215 \cdot \mathbf{4,186 \text{ J}} \text{ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- ◆  $= \mathbf{215 \cdot 4,186} \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} = \mathbf{900} \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- ◆  $= 900 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\mathbf{C}^{-1} = 900 \text{ J kg}^{-1} \mathbf{K}^{-1}$



# Calore specifico e stabilità termica

L'entità del **calore specifico** di una sostanza determina, tra le altre cose, la sua **stabilità termica**:

- ◆ a parità di **m** della sostanza e di **Q** ricevuto, la **T** di un corpo il cui calore specifico **c** è maggiore varia meno della **T** di un corpo il cui **c** è minore.  **$c_1 \cdot \Delta T_1 = c_2 \cdot \Delta T_2$**

**ESEMPIO.** Si ceda una quantità di calore pari a 84 J a un campione d'aria di massa 25 g. Quale massa deve avere un campione di ferro perché, fornendo la stessa quantità di calore, si verifichi il medesimo incremento di temperatura?

- ◆ conosco i calori specifici
  - $c_{\text{aria}} = 1.00 \text{ J/(g } ^\circ\text{C)}$ ;  $c_{\text{Fe}} = 0,45 \text{ J/(g } ^\circ\text{C)}$
- ◆ forniamo all'aria 84 J di energia sotto forma di Q

$$\Delta T_a = Q_a / (c_a \cdot m_a) = 3.36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- ◆ deve essere lo stesso per il ferro, di cui non conosco m, stavolta, che posso trovare

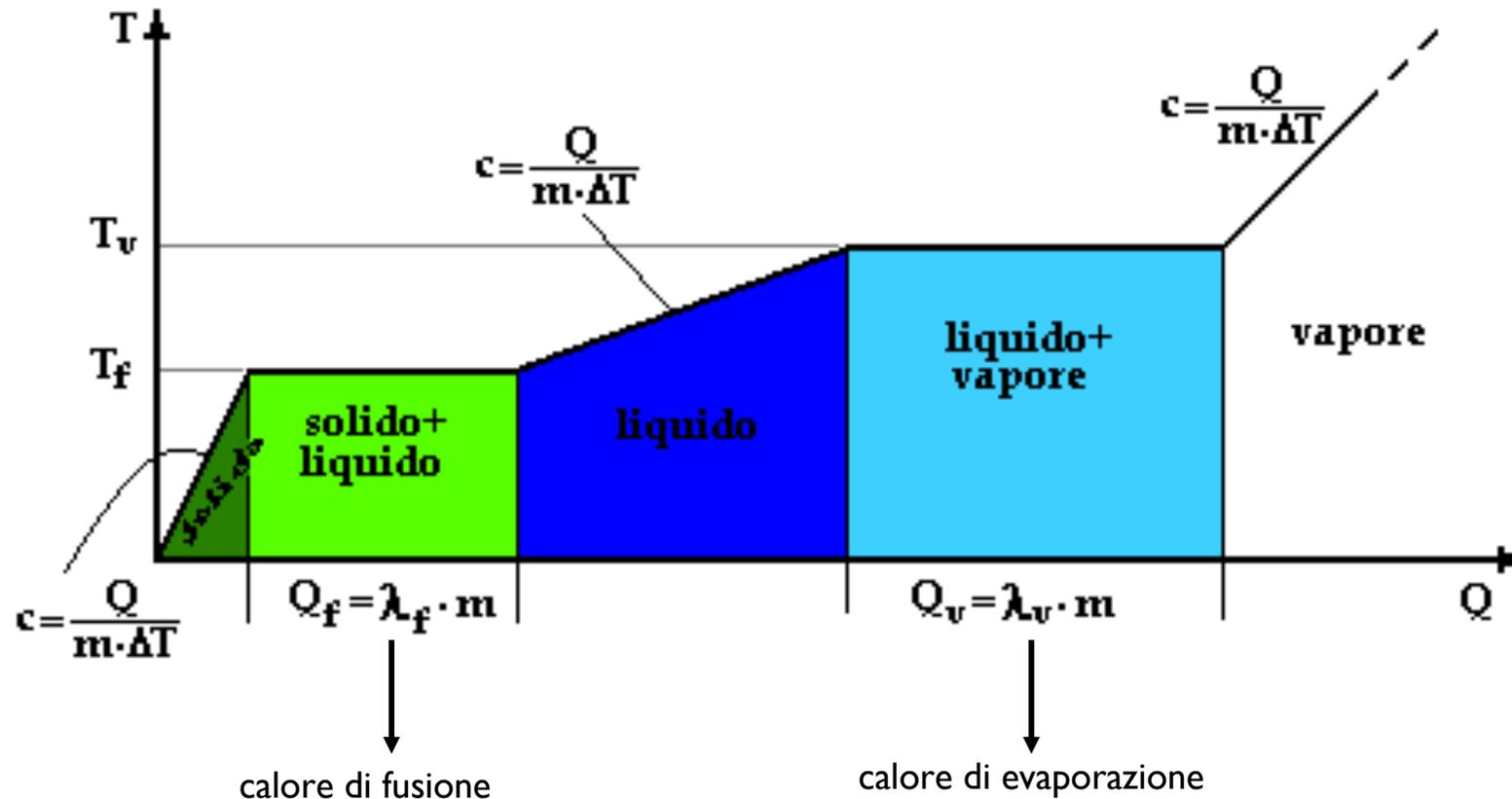
$$m_{\text{Fe}} = Q_{\text{Fe}} / (c_{\text{Fe}} \cdot \Delta T_{\text{Fe}}) = 56 \text{ g [ove } \Delta T_a = \Delta T_{\text{Fe}} \text{ e } Q_a = Q_{\text{Fe}}]$$

Potevo prevederlo? Sì, perchè il calore specifico del ferro è circa la metà di quello dell'aria (0,45 contro 1,00 J/g °C), quindi la stessa quantità di calore riesce a provocare lo stesso innalzamento di temperatura se ceduta a una massa di ferro circa doppia rispetto al campione d'aria (56 g contro 25 g).

$$m_a \cdot c_a = m_{\text{Fe}} \cdot c_{\text{Fe}} \rightarrow m_{\text{Fe}} = m_a \cdot c_a / c_{\text{Fe}} = 25 \cdot (1/0.45) = 56 \text{ g}$$



# E se cedo sempre più calore?



## Calori latenti

Calore di fusione (evaporazione): calore necessario per trasformare una sostanza dallo stato solido a quello liquido (dalla fase liquida a quella di vapore) [unità: J/kg, cal/kg, SI]



Misure di T



**TERMOMETRIA**

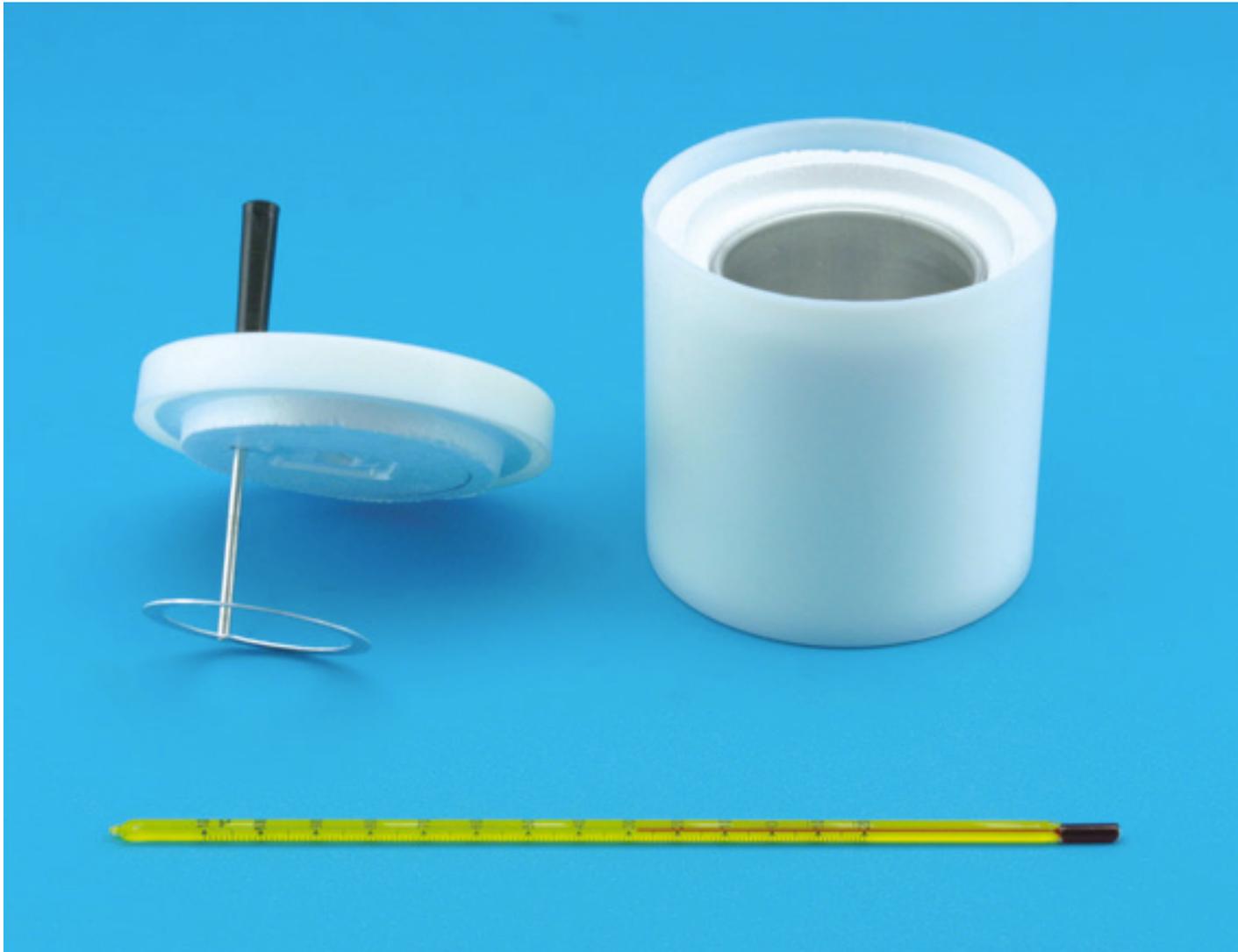
Misure di Q



**CALORIMETRIA**



# Calorimetro





# In laboratorio ...





# Calorimetria

La **calorimetria** si basa sul presupposto che, mettendo in contatto termico due oggetti A e B a temperature diverse:

- ◆ viene scambiato tra essi del calore Q fino al raggiungimento dell'**equilibrio termico** (ovvero: stessa temperatura di A e B)
- ◆ il Q ceduto da A raffreddandosi sia uguale (in valore assoluto) al calore ricevuto da B riscaldandosi, ovvero

$$\begin{aligned} | Q_{A \rightarrow B} | &= | Q_{B \rightarrow A} | \\ | c_A m_A \Delta T_A | &= | c_B m_B \Delta T_B | \end{aligned}$$

Pensiamo a quello che ci aspetta in laboratorio...

- ◆ le M si misurano facilmente con bilance
- ◆ le T si misurano facilmente con termometri

Quindi, in teoria, questo metodo consente di misurare abbastanza facilmente il rapporto  $c_A/c_B$  dei due calori specifici

- ◆ Suggerimento: se poi una delle due masse avesse  $c=1$ ...



# In laboratorio!

## Scopo dell'esperimento

Determinare il calore specifico di un bullone e confrontarlo con quello dell'acqua.

### PRIMA PARTE: “acqua in acqua”, **T<sub>equilibrio</sub>**

Verserete una massa d'acqua pari a quella del bullone, alla temperatura di ebollizione, in una massa d'acqua a temperatura ambiente e confronterete la temperatura di equilibrio raggiunta con quella prevista teoricamente.

### SECONDA PARTE: “bullone in acqua”, **C<sub>bullone</sub>**

Poi, inserirete il bullone, riscaldato anch'esso a circa 100°C, in una massa d'acqua (a temperatura ambiente) uguale a quella usata la prima volta, ricavando il calore specifico del bullone dalla temperatura di equilibrio raggiunta dall'acqua.



# Attrezzatura sperimentale

In laboratorio avrete:

Strumenti:

- ◆ Calcolatrice grafica (con programma EasyData)
- ◆ Bilancia (sensibilità = 1 g)
- ◆ Sensore di temperatura (sensibilità = 0,1 °C)

Materiale ancillare:

- ◆ Contenitore (vaschetta) di polistirolo con coperchio (in sostituzione del calorimetro)
- ◆ Pentola (per scaldare l'acqua e il bullone)
- ◆ Campione (bullone in questo caso)
- ◆ Fornello elettrico
- ◆ Pinze

**ATTENZIONE.** L'attrezzatura è bel lontana dall'essere quella ottimale per fare questa esperienza, dunque è importante il vostro modo di operare in laboratorio (lettura attenta delle istruzioni, massima cura nelle azioni manuali da compiere, e pensiero scientifico sempre acceso!)



# PRIMA PARTE

dell'esperimento



# PRIMA PARTE: Operazioni preliminari

Nella prima parte, ancor prima dell'acquisizione dati, dovrete:

- ◆ misurare una massa  $m_1$  d'acqua
- ◆ inserirla nel contenitore di polistirolo
- ◆ misurare la temperatura  $T_1$  dell'acqua nel contenitore (T ambiente)
- ◆ determinare la massa  $m_c$  del campione (bullone) con la bilancia
- ◆ inserire una massa di acqua  $m_2 = m_c$  in un contenitore di alluminio
- ◆ metterlo sul fornello, accendere il fornello, attendere...
- ◆ controllare la temperatura  $T_2$  dell'acqua sul fornello fino a quando non si stabilizza intorno ai 96 - 98 gradi

Poi... (segue)



# PRIMA PARTE: presa dati

A questo punto:

- ◆ far partire l'acquisizione dati
- ◆ versare l'acqua (molto calda!) dal contenitore di alluminio nel contenitore di polistirolo, chiudendo subito il coperchio
- ◆ mescolare (delicatamente)
- ◆ osservare l'andamento della temperatura nel tempo
- ◆ registrare la temperatura di equilibrio termico  $T_e$  alla fine
- ◆ misurare la massa del contenitore di polistirolo + acqua e verificare (per differenza) la effettiva massa dell'acqua calda inserita nel contenitore



## Durante l'acquisizione dati...

..., che dura vari minuti, eseguire i calcoli che permettono di ottenere la *temperatura di equilibrio teorica* che dovrete ottenere... (segue)

$$T_2 > T_e > T_1$$

$$Q_1 = c_a m_1 (T_e - T_1) > 0 \quad (\text{calore acquisito})$$

$$Q_2 = c_a m_2 (T_e - T_2) < 0 \quad (\text{calore ceduto})$$

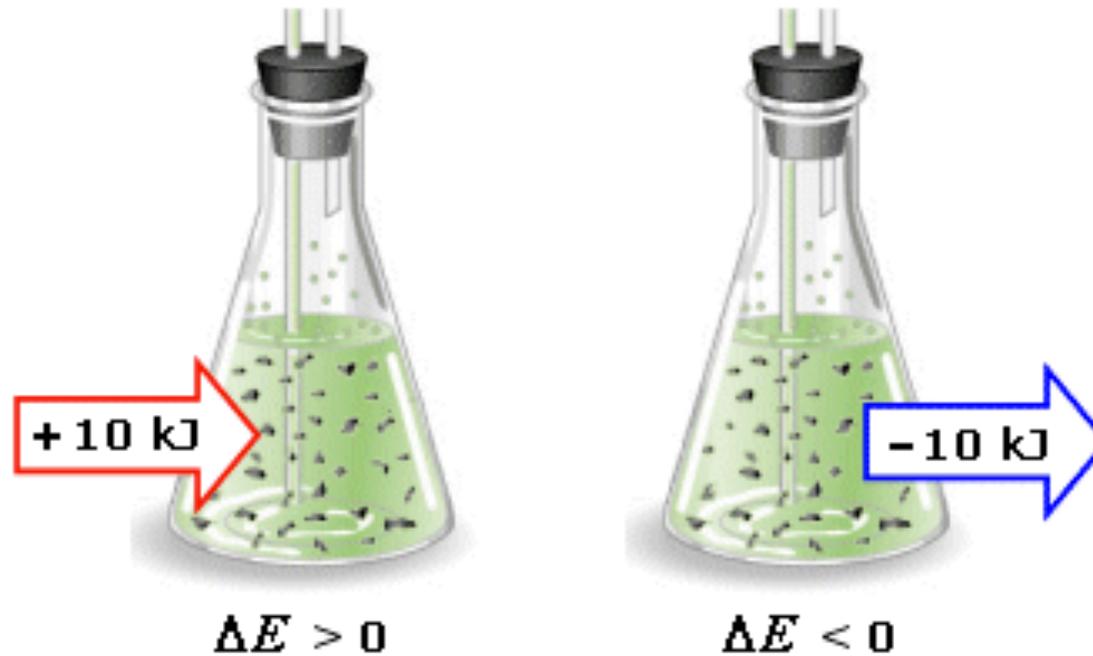
$$Q_1 = -Q_2$$

$$c_a m_1 (T_e - T_1) = c_a m_2 (T_2 - T_e)$$

$$T_e = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$$



# Convenzione sul segno del calore $Q$



Trasferimento di calore = trasferimento di energia



## Durante l'acquisizione dati...

... e la stima dell'*errore relativo* sulla previsione.

Ricordiamo:  $\Delta m_1 = \Delta m_2 = 1 \text{ g}$  e  $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta T_e}{T_e} = & \frac{m_1 T_1}{m_1 T_1 + m_2 T_2} \left( \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta T_1}{T_1} \right) + \\ & + \frac{m_2 T_2}{m_1 T_1 + m_2 T_2} \left( \frac{\Delta m_2}{m_2} + \frac{\Delta T_2}{T_2} \right) + \\ & + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 + m_2} \end{aligned}$$



# Confronto tra valore previsto e risultato sperimentale

Sapete già come calcolare la discrepanza...

- ◆ vedi esperienze precedenti... dove l'abbiamo incontrata?

Se ritenete che i due valori non sono in accordo, formulate ipotesi di spiegazione della discrepanza osservata.

## SUGGERIMENTI:

- ◆ è caduta acqua? che influenza può aver avuto la perdita di acqua?
- ◆ che influenza può avere avuto l'evaporazione dell'acqua sul fornello?
- ◆ come potete correggere la vostra previsione tenendo conto di tali perdite?
- ◆ potreste invece aver “sbagliato la misura”? dove? potete correggere o è tardi?



# SECONDA PARTE

dell'esperimento



## SECONDA PARTE: Operazioni preliminari

Nella seconda parte, ancor prima dell'acquisizione dati, dovrete:

- ◆ inserire il bullone nella pentola con una quantità d'acqua tale da coprirlo completamente
- ◆ accendere il fornello e scaldarlo
- ◆ misurare una massa d'acqua a temperatura ambiente pari a quella usata nella prima parte, e inserirla nel contenitore di polistirolo
- ◆ misurare la temperatura dell'acqua nel contenitore di polistirolo
- ◆ quando l'acqua nella pentola comincia a bollire aspettare qualche minuto per essere certi che anche il
- ◆ abbia raggiunto la temperatura dell'acqua
- ◆ misurare la temperatura dell'acqua

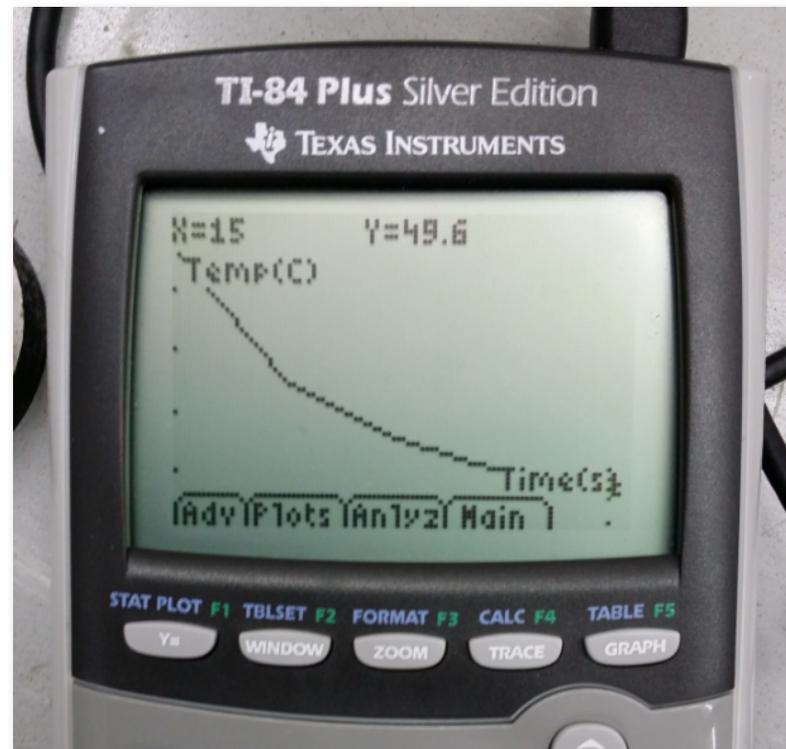
Poi... (*segue*)



## SECONDA PARTE: presa dati

A questo punto:

- ◆ far partire l'acquisizione dati
- ◆ estrarre il bullone dall'acqua bollente
- ◆ inserirlo nel contenitore di polistirolo chiudendo subito il coperchio
- ◆ osservare l'andamento della temperatura nel tempo





# Calcolo finale

Calcolare il calore specifico del campione del bullone...

$$c_x m_c (T_c - T_e) = c_a m_a (T_e - T_a)$$

$$\frac{c_x}{c_a} = \frac{m_a (T_e - T_a)}{m_c (T_c - T_e)}$$

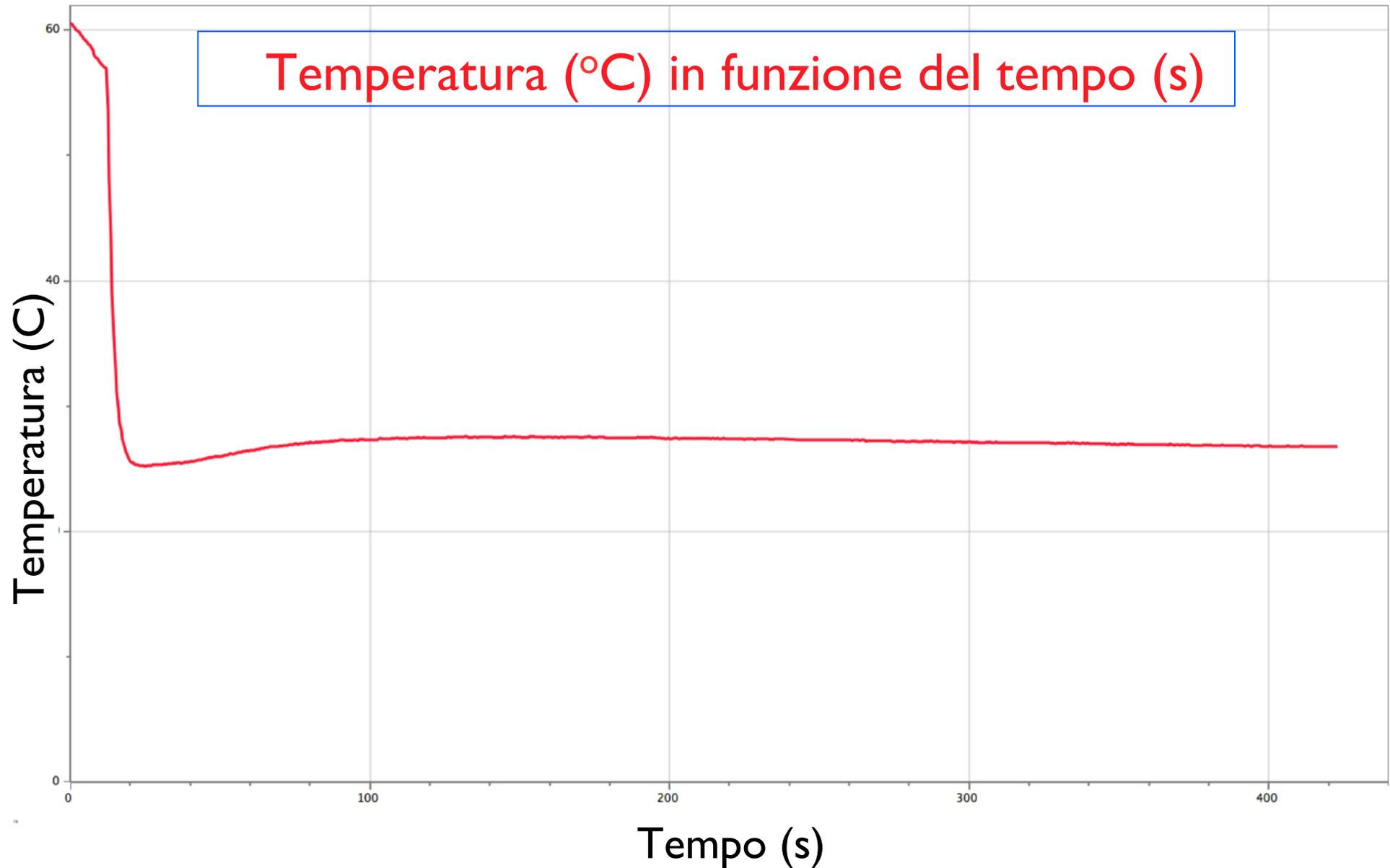
... e stimare l'errore relativo su esso:

$$\frac{\Delta c_x}{c_x} = \frac{\Delta m_a}{m_a} + \frac{\Delta m_c}{m_c} + \frac{\Delta T_e + \Delta T_a}{T_e - T_a} + \frac{\Delta T_c + \Delta T_e}{T_c - T_e}$$

ove  $\Delta m_a = \Delta m_c = 1 \text{ g}$  e  $\Delta T_a = \Delta T_c = \Delta T_e = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$



## Un esempio di possibile tipo di grafico (parte 2)





Proviamo a spingerci un po' oltre...



# Stima della dispersione di calore

Il contenitore di polistirolo che userete è ben lontano dall'essere un contenitore isolante! Quindi, avremo della **dispersione di calore**.

Prima che si raggiunga l'equilibrio termico bullone-acqua, una parte del  $Q$  ceduto dal bullone (che si raffredda) all'acqua (che si riscalda) viene disperso nell'ambiente.

Quindi, la  $T_e$  misurata è inferiore alla  $T_e$  (ideale) che si avrebbe se invece tutto il  $Q$  ceduto dal bullone andasse a riscaldare l'acqua.

Si tratta di un errore sistematico nella misura di  $T_e$  che si propaga nella misura di  $c_x$ .

La differenza  $\delta T$  tra la  $T_e$  misurata e quella ideale può essere stimata osservando quanto è rapida la fase di decrescita della temperatura fino al raggiungimento dell'equilibrio termico.



# Un possibile calcolo della correzione su $T_e$

Una possibilità è questa.

Isolando la parte del grafico  $T - t$  successiva al massimo e richiedendo un fit lineare ai dati, si ottiene la “*velocità di raffreddamento*”  $v$  (cioè, di quanti gradi la temperatura diminuisce ogni secondo).

A questo punto, dobbiamo però fare un’ipotesi molto semplice: dobbiamo ipotizzare che ci sia stata la stessa “perdita di temperatura” nel tempo anche nella fase precedente l’equilibrio.

Facendo questa assunzione, e misurando quindi  $\delta t$ , il tempo trascorso tra l’istante in cui si è inserito il bullone nell’acqua del calorimetro e l’istante in cui si è raggiunto l’equilibrio termico, risulta che:

$$\delta T = |v| \delta t \quad (\text{correzione su } T_e, \text{ cioè } T_e^{\text{corr}} = T_e^{\text{mis}} + \delta T)$$



# Cosa portare in laboratorio

Dovete portare con voi da casa:

- ◆ tutti gli appunti che vi possono servire, compresa queste slides
- ◆ come solito: quaderno per appunti, penna, righello, calcolatrice



# Cosa fare al termine delle 2 ore di lab

Alla fine della prova in laboratorio dovete:

- ◆ consegnare il foglio della relazione, con riportati:
  - CON ORDINE: il valore di tutte le variabile coinvolte (masse, temperature, etc), con valore centrale, errore e unità di misura
  - CON ORDINE: i conti che avete fatto, e i risultati che avete ottenuto per il calore specifico
- ◆ **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 giorni dopo - nel turno per cui vi siete segnati - avremo altre 2 ore per l'analisi dati di termologia (probabilmente nelle aule N e O di Via Belmeloro 14)

Dovrete venire in quella stanza con:

- ◆ sostanzialmente nulla. L'analisi dati sarà un po' particolare, come vedremo tra breve...

... ma ricordate di fare tesoro del tempo in laboratorio e di prendere via dal laboratorio i migliori appunti possibili, e tenete per voi i preziosi dati che avete raccolto in modo da poterli riguardare prima dell'esame.



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



# In cosa consiste?

Una cosa un po' diversa dalle altre due esercitazioni (vedi dettagli nella scheda)

- ◆ comunque faremo sempre “**analisi**” dei “**dati**” sperimentali (stavolta: fake)
  - useremo sempre un programma di foglio elettronico

Cosa dovete avere con voi, prima di iniziare:

- ◆ nulla dal laboratorio: l'esperienza di analisi dati di oggi è a sè stante

Cosa trovate oggi in Aula Informatica a vostra disposizione:

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

A parte questo, valgono le stesse raccomandazioni generali della volta precedente:

- ◆ siete piccoli “gruppi di analisi”: discutete e consultatevi
- ◆ se avete dubbi/problemi che non riuscite a superare nel gruppo, chiedete a noi
- ◆ **ricordate di apporre la vostra firma sul foglio di presenza prima di uscire**



# La scheda di analisi dati [1/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Marulli, Dott. Giannuzzi Maggio 2014

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

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): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 4** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 5** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

L'esercitazione di oggi può essere considerata come un proseguimento dell'esperimento fatto nel laboratorio di fisica. Immaginate di togliere il coperchio al bicchiere di polistirolo che contiene l'acqua calda. Immaginate, inoltre, di continuare ad annotare il valore della temperatura dell'acqua. La temperatura dell'acqua diminuirà e - immaginando di continuare le misure per un tempo sufficientemente lungo - raggiungerà la temperatura dell'ambiente circostante. Userete per l'esercitazione dei dati che vi sono forniti: nel file xls (Excel) trovate i dati di temperatura relativi all'esperimento descritto sopra, in particolare:

- nella colonna A trovate l'istante di tempo  $t$  (in secondi) in cui viene misurata la temperatura;
- nella colonna B trovate la temperatura  $T$  misurata (in °C) ai vari istanti di tempo;
- nella cella C2 è indicata la temperatura dell'ambiente circostante, in cui è fatta la misura di  $T$ .

1. Rappresentate in un grafico la temperatura del corpo in funzione del tempo. Come potete vedere anche a occhio, la diminuzione della temperatura non sembra avere un andamento di tipo lineare, bensì esponenziale con esponente negativo. Determinate graficamente (usando Excel) i parametri  $A$  e  $k$  di una funzione del tipo  $Y = A e^{-kt}$  che descrive i dati. Trasferite qui di seguito il grafico (GRAFICO 1) dei dati in funzione del tempo, con la curva di tendenza, la sua equazione indicata sul grafico e i valori ottenuti per  $A$  e  $k$ .

<inserire qui il GRAFICO 1>  
Valore ottenuto per  $A$  = \_\_\_\_\_  
Valore ottenuto per  $k$  = \_\_\_\_\_

2. Nel grafico precedente, l'andamento esponenziale descrive "bene" la curva? (S/No).  
Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

3. Per valutare se l'ipotesi sull'andamento esponenziale della temperatura in funzione del tempo (come da formula fornita al punto 1) nel nostro esperimento è corretta, possiamo fare una semplice operazione di "linearizzazione", che trasforma la relazione da esponenziale a lineare. Applicando  $Y = \ln(Y) = \ln(A e^{-kt}) = \ln A - kt$ , costruire usando excel il GRAFICO 2 della nuova incognita  $Y'$  (un semplice logaritmo naturale della  $Y$  precedente) sempre in funzione del tempo  $t$ . Determinare la linea di tendenza lineare con l'equazione stampata sul grafico, e trasferire il GRAFICO 2 qui di seguito, scrivendo i valori ottenuti per  $A$  e  $k$ .

- ◆ Fate login sul PC con il vostro account unibo.it
- ◆ Create un folder di lavoro (e.g. "Lab TERMOLOGIA")
- ◆ Scaricate tale scheda in formato doc (WORD):
  - vedi LINK fornito alla fine di questa introduzione
- ◆ Iniziate a editare con i vostri dati nella prima parte, ovvero -> vedi sotto.

## Elaborazione dei dati raccolti nella prova di: TERMOLOGIA

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): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 4** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
**STUDENTE 5** (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

[\*] Collezione AMS Campus - AlmaDL - area di lavoro di D.Bonacorsi e/o F. Marulli

# La scheda di analisi dati [2/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 21 Maggio 2013 - 24 Maggio 2013

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

Postazione di lavoro (Niente su richiesta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da:  
STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 4 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 5 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

L'esercitazione di oggi può essere considerata come un proseguimento dell'esperimento fatto nel laboratorio di fisica. Immaginate di togliere il coperchio al bicchiere di polistirolo che contiene l'acqua calda. Immaginate, inoltre, di continuare ad annotare il valore della temperatura dell'acqua. La temperatura dell'acqua diminuirà e - immaginando di continuare le misure per un tempo sufficientemente lungo - raggiungerà la temperatura dell'ambiente circostante. Userete per l'esercitazione dei dati che vi sono forniti nel file xls (Excel) trovate i dati di temperatura relativi all'esperimento descritto sopra, in particolare:

- nella colonna A trovate l'istante di tempo  $t$  (in secondi) in cui viene misurata la temperatura;
- nella colonna B trovate la temperatura  $T$  misurata (in °C) ai vari istanti di tempo;
- nella cella C2 è indicata la temperatura dell'ambiente circostante, in cui è fatta la misura di  $T$ .

1. Rappresentate in un grafico la temperatura del corpo in funzione del tempo. Come potete vedere anche a occhio, la diminuzione della temperatura non sembra avere un andamento di tipo lineare, bensì esponenziale con esponente negativo. Determinare graficamente (usando Excel) i parametri  $A$  e  $k$  di una funzione del tipo  $Y = A e^{-kt}$  che descrive i dati. Trasferite qui di seguito il grafico (GRAFICO 1) dei dati in funzione del tempo, con la curva di tendenza, la sua equazione indicata sul grafico e i valori ottenuti per  $A$  e  $k$ .

<inserire qui il GRAFICO 1>  
Valore ottenuto per  $A$  = \_\_\_\_\_  
Valore ottenuto per  $k$  = \_\_\_\_\_

2. Nel grafico precedente, l'andamento esponenziale descrive "bene" la curva? (SI/NO).

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

3. Per valutare se l'ipotesi sull'andamento esponenziale della temperatura in funzione del tempo (come da formula fornita al punto 1) nel nostro esperimento è corretta, possiamo fare una semplice operazione di "linearizzazione", che trasforma la relazione da esponenziale a lineare. Applicando  $Y = \ln(Y) = \ln(A e^{-kt}) = \ln A - kt$ , costruire usando excel il GRAFICO 2 della nuova incognita  $Y'$  (un semplice logaritmo naturale della  $Y$  precedente) sempre in funzione del tempo  $t$ . Determinare la linea di tendenza lineare con l'equazione stampata sul grafico, e trasferire il GRAFICO 2 qui di seguito, scrivendo i valori ottenuti per  $A$  e  $k$ .

◆ Seguite le istruzioni con attenzione

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

Nel file excel troverete:

$t$  (s)  
 $T$  (°C)  
 $T_{amb}$

L'esercitazione di oggi può essere considerata come un proseguimento dell'esperimento fatto nel laboratorio di fisica. Immaginate di togliere il coperchio al bicchiere di polistirolo che contiene l'acqua calda. Immaginate, inoltre, di continuare ad annotare il valore della temperatura dell'acqua. La temperatura dell'acqua diminuirà e - immaginando di continuare le misure per un tempo sufficientemente lungo - raggiungerà la temperatura dell'ambiente circostante. Userete per l'esercitazione dei dati che vi sono forniti: nel file xls (Excel) trovate i dati di temperatura relativi all'esperimento descritto sopra. In particolare:

- nella colonna A trovate l'istante di tempo  $t$  (in secondi) in cui viene misurata la temperatura;
- nella colonna B trovate la temperatura  $T$  misurata (in °C) ai vari istanti di tempo;
- nella cella C2 è indicata la temperatura dell'ambiente circostante, in cui è fatta la misura di  $T$ .



# La scheda di analisi dati [3/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi 21 Maggio 2013 - 24 Maggio 2013

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

Postazione di lavoro (NOME su richiesta sopra il PC): \_\_\_\_\_ Gruppo di lavoro composto da:  
STUDENTE 1 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 2 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 3 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 4 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_  
STUDENTE 5 (Cognome, Nome, Matricola): \_\_\_\_\_

L'esercitazione di oggi può essere considerata come un proseguimento dell'esperimento fatto nel laboratorio di fisica. Immaginate di togliere il coperchio al bechere di polistirolo che contiene l'acqua calda. Immaginate, inoltre, di continuare ad annotare il valore della temperatura dell'acqua. La temperatura dell'acqua diminuirà e - immaginando di continuare le misure per un tempo sufficientemente lungo - raggiungerà la temperatura dell'ambiente circostante. Uscirete per l'esercitazione dei dati che vi sono forniti nel file xls (Excel) trovate i dati di temperatura relativi all'esperimento descritto sopra, in particolare:  
• nella colonna A trovate l'istante di tempo t (in secondi) in cui viene misurata la temperatura;  
• nella colonna B trovate la temperatura T misurata (in °C) ai vari istanti di tempo;  
• nella cella C2 è indicata la temperatura dell'ambiente circostante, in cui è fatta la misura di T.

1. Rappresentate in un grafico la temperatura del corpo in funzione del tempo. Come potete vedere anche a occhio, la diminuzione della temperatura non sembra avere un andamento di tipo lineare, bensì esponenziale con esponente negativo. Determinare graficamente (usando Excel) i parametri A e k di una funzione del tipo  $Y = A e^{-kx}$  che descrive i dati. Trasferire qui di seguito il grafico (GRAFICO 1) dei dati in funzione del tempo, con la curva di tendenza, la sua equazione indicata sul grafico e i valori ottenuti per A e k.

<inserire qui il GRAFICO 1>  
Valore ottenuto per A =  
Valore ottenuto per k =

2. Nel grafico precedente, l'andamento esponenziale descrive "bene" la curva? (Sì/No).

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

3. Per valutare se l'ipotesi sull'andamento esponenziale della temperatura in funzione del tempo (come da formula fornita al punto 1) nel nostro esperimento è corretta, possiamo fare una semplice operazione di "linearizzazione", che trasforma la relazione da esponenziale a lineare. Applicando  $Y' = \ln(Y) = \ln(A e^{-kx}) = \ln A - kx$ , costruire usando excel il GRAFICO 2 della nuova incognita Y' (un semplice logaritmo naturale della Y precedente) sempre in funzione del tempo t. Determinare la linea di tendenza lineare con l'equazione stampata sul grafico, e trasferire il GRAFICO 2 qui di seguito, scrivendo i valori ottenuti per A e k.

1. Rappresentate in un grafico la temperatura del corpo in funzione del tempo. Come potete vedere anche a occhio, la diminuzione della temperatura non sembra avere un andamento di tipo lineare, bensì esponenziale con esponente negativo. Determinare graficamente (usando Excel) i parametri A e k di una funzione del tipo  $Y = A e^{-kx}$  che descrive i dati. Trasferire qui di seguito il grafico (GRAFICO 1) dei dati in funzione del tempo, con la curva di tendenza, la sua equazione indicata sul grafico e i valori ottenuti per A e k.

<inserire qui il GRAFICO 1>

Valore ottenuto per A =  
Valore ottenuto per k =

2. Nel grafico precedente, l'andamento esponenziale descrive "bene" la curva? (Sì/No).

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

3. Per valutare se l'ipotesi sull'andamento esponenziale della temperatura in funzione del tempo (come da formula fornita al punto 1) nel nostro esperimento è corretta, possiamo fare una semplice operazione di "linearizzazione", che trasforma la relazione da esponenziale a lineare. Applicando  $Y' = \ln(Y) = \ln(A e^{-kx}) = \ln A - kx$ , costruire usando excel il GRAFICO 2 della nuova incognita Y' (un semplice logaritmo naturale della Y precedente) sempre in funzione del tempo t. Determinare la linea di tendenza lineare con l'equazione stampata sul grafico, e trasferire il GRAFICO 2 qui di seguito, scrivendo i valori ottenuti per A e k.

<inserire qui il GRAFICO 2>

Valore ottenuto per A nella linearizzazione =  
Valore ottenuto per k nella linearizzazione =

4. Ora possiamo confrontare i valori di A,k ottenuti dal grafico 1 con i valori di A,k ottenuti dal grafico 2. Rispetto al primo grafico (andamento esponenziale), in questo secondo grafico (linearizzazione) i dati sperimentali sono descritti "bene" dalla linea di tendenza lineare?

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

## Andamento non lineare.

- Proviamo con una forma esponenziale  $Y = A e^{-kx}$

$$Y = T$$

$$x = t$$

- Poi linearizziamo la precedente:

$$Y' = \ln(Y) = \ln(A e^{-kx}) = \ln(A) - kx$$



# La scheda di analisi dati [4/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
 Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi  
 21 Maggio 2013 - 24 Maggio 2013

<inserire qui il GRAFICO 2>  
 Valore ottenuto per A nella linearizzazione =  
 Valore ottenuto per k nella linearizzazione =

4. Ora possiamo confrontare i valori di A e k ottenuti dal grafico 1 con i valori di A e k ottenuti dal grafico 2. Rispetto al primo grafico (andamento esponenziale), in questo secondo grafico (linearizzazione) i dati sperimentali sono descritti "bene" dalla linea di tendenza lineare?

Risposta: \_\_\_\_\_  
 Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

5. Il punto è che quelli ottenuti finora non sono i valori "corretti" di A e k. Per trovare i valori corretti per A e k, procediamo con una seconda linearizzazione, ma non dell'equazione data sopra, bensì di una equazione che tenga conto del fatto che il sistema termodinamico raggiungerà l'equilibrio termico alla temperatura ambiente (19 °C), ovvero un esponenziale per il quale non è semplice usare Excel direttamente, ma possiamo farlo con una semplice accortezza. Appliciamo l'opportuna linearizzazione corretta:  $Y'' = \ln(Y-19) = \ln(Ae^{-kx}) = \ln A - kx$ . Costruire usando excel il GRAFICO 3 della nuova incognita Y'', determinare la linea di tendenza lineare e l'equazione e trasferirlo qui di seguito, e scrivere i valori ottenuti per A e k.

<inserire qui il GRAFICO 3>  
 Valore ottenuto per A nella linearizzazione corretta =  
 Valore ottenuto per k nella linearizzazione corretta =

6. L'andamento della tendenza lineare così costruita ora descrive bene la curva?

Risposta: \_\_\_\_\_  
 Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

**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: OTTICA" dall'account di uno dei componenti del gruppo, mettendo in cc anche gli altri studenti.  
 • **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

$$T_{amb} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Y'' = \ln(Y - 19) = \ln(Ae^{-kx}) = \ln(A) - kx$$

5. Il punto è che quelli ottenuti finora non sono i valori "corretti" di A e k. Per trovare i valori corretti per A e k, procediamo con una seconda linearizzazione, ma non dell'equazione data sopra, bensì di una equazione che tenga conto del fatto che il sistema termodinamico raggiungerà l'equilibrio termico alla temperatura ambiente (19 °C), ovvero un esponenziale per il quale non è semplice usare Excel direttamente, ma possiamo farlo con una semplice accortezza. Appliciamo l'opportuna linearizzazione corretta:  $Y'' = \ln(Y-19) = \ln(Ae^{-kx}) = \ln A - kx$ . Costruire usando excel il GRAFICO 3 della nuova incognita Y'', determinare la linea di tendenza lineare e l'equazione e trasferirlo qui di seguito, e scrivere i valori ottenuti per A e k.

<inserire qui il GRAFICO 3>

Valore ottenuto per A nella linearizzazione corretta =

Valore ottenuto per k nella linearizzazione corretta =

6. L'andamento della tendenza lineare così costruita ora descrive bene la curva?

Risposta: \_\_\_\_\_

Commentare la risposta: \_\_\_\_\_



# La scheda di analisi dati [5/5]

BES - Fisica - Laboratorio di Analisi Dati  
Dott. Bonacorsi, Dott. Giannuzzi  
21 Maggio 2013 - 24 Maggio 2013

<inserir qui il GRAFICO 2>  
Valore ottenuto per A nella linearizzazione =  
Valore ottenuto per k nella linearizzazione =

4. Ora possiamo confrontare i valori di A,k ottenuti dal grafico 1 con i valori di A,k ottenuti dal grafico 2. Rispetto al primo grafico (andamento esponenziale), in questo secondo grafico (linearizzazione) i dati sperimentali sono descritti "bene" dalla linea di tendenza lineare?

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

5. Il punto è che quelli ottenuti finora non sono i valori "corretti" di A e k. Per trovare i valori corretti per A e k, procediamo con una seconda linearizzazione, ma non dell'equazione data sopra, bensì di una equazione che tenga conto del fatto che il sistema termodinamico raggiungerà l'equilibrio termico alla temperatura ambiente (19 °C), ovvero un esponenziale per il quale non è semplice usare Excel direttamente, ma possiamo farlo con una semplice accortezza. Appliciamo l'opportuna linearizzazione corretta:  $Y^* = \ln(Y-19) = \ln(A e^{kt}) = \ln A - kt$ . Costruire usando excel il GRAFICO 3 della nuova incognita  $Y^*$ , determinare la linea di tendenza lineare e l'equazione e trasferirlo qui di seguito, e scrivere i valori ottenuti per A e k.

<inserir qui il GRAFICO 3>  
Valore ottenuto per A nella linearizzazione corretta =  
Valore ottenuto per k nella linearizzazione corretta =

6. L'andamento della tendenza lineare così costruita ora descrive bene la curva?

Risposta: \_\_\_\_\_  
Commentare la risposta: \_\_\_\_\_

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

- spedire 1) questa scheda (.doc) e 2) il file EXCEL (.xls) per mail all'indirizzo [difa.docentilaboratori@unibo.it](mailto:difa.docentilaboratori@unibo.it) con subject "Laboratorio Analisi Dati: OTTICA" dall'account di uno dei componenti del gruppo, mettendo in cc anche gli altri studenti.
- **Importante:** firmare il foglio di presenza prima di lasciare l'aula.

**IMPORTANTE:**  
**senza firma di presenza**  
**NON si può sostenere l'esame**

Quando andrete all'esame orale, i docenti sapranno come avete condotto le esperienze di laboratorio e di analisi dati (tutte e tre, separatamente).

Al termine dell'esercitazione:

(I) spedite la scheda (.doc) ed il file excel (.xls) all'indirizzo

[difa.docentilaboratori@unibo.it](mailto:difa.docentilaboratori@unibo.it)

con subject "Laboratorio Analisi Dati: TERMOLOGIA" dall'account di uno dei componenti del gruppo (gli altri in cc);

(II) firmate il foglio di presenze prima di uscire dall'aula.



# Grazie dell'attenzione

## Domande?

Per ogni dubbio/domanda **contattateci:**

[difa-docentilaboratori@unibo.it](mailto:difa-docentilaboratori@unibo.it)