

# Laboratorio di fisica sperimentale

[adalberto.sciubba@uniroma1.it](mailto:adalberto.sciubba@uniroma1.it)

meccanica Ingegneria

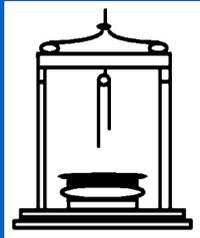


# LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica



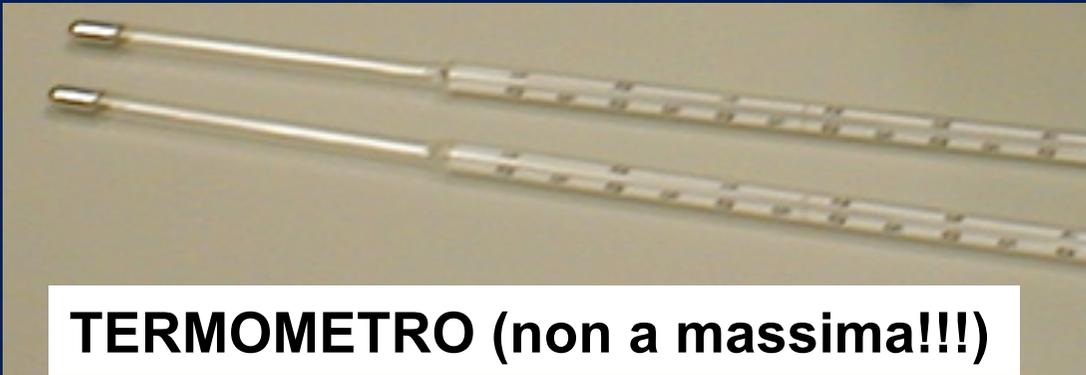
A.A. 2021-2022



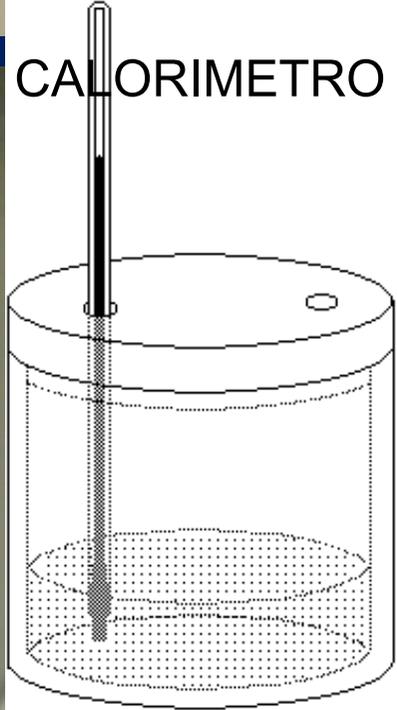
**Sesta esperienza:**  
calore specifico dell'acqua  
costante di tempo di un termometro  
studio di una trasformazione isoterma

lasciare il tavolo di laboratorio in ordine, pulito  
e asciutto!!!

# LA STRUMENTAZIONE PER QUESTA ESPERIENZA



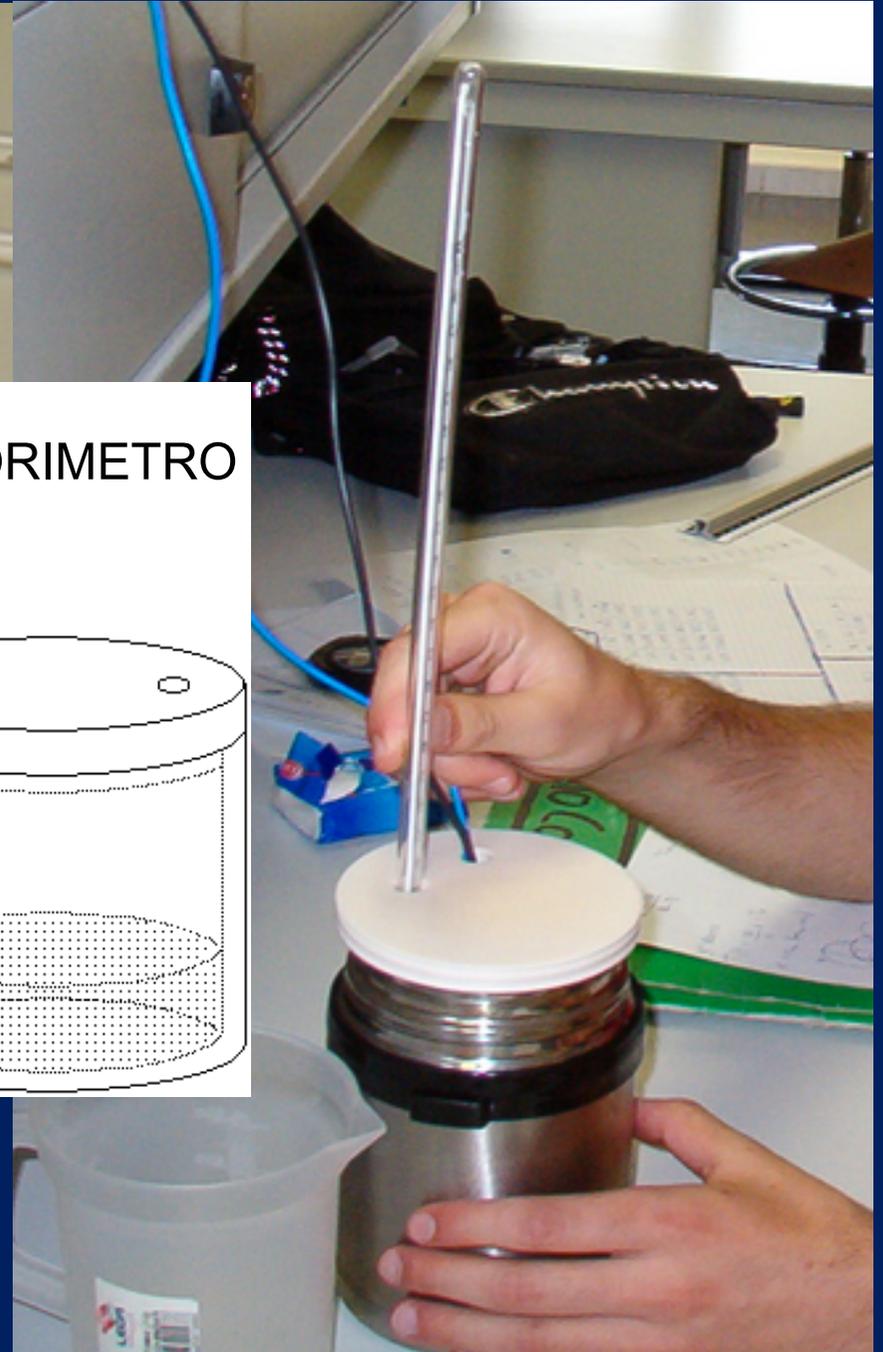
**TERMOMETRO (non a massima!!!)**



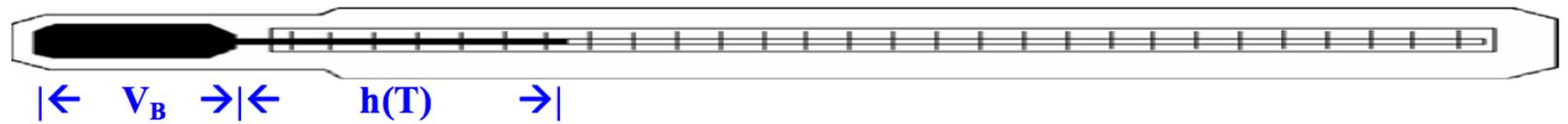
**CALORIMETRO**



**DEWAR (thermos)**



# TERMOMETRO A LIQUIDO



è costituito da un contenitore di vetro (il **bulbo**, sensore) con un liquido (p.es. Hg) il cui volume varia con la temperatura (trasduttore temperatura-volume).

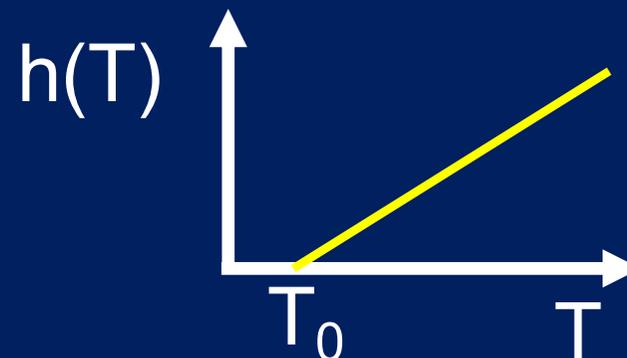
Per amplificare la risposta il liquido viene fatto dilatare all'interno di un **capillare** di sezione  $s$  (trasduttore volume-lunghezza).

L'indice dello strumento è costituito dall'**altezza** della colonna di mercurio all'interno del capillare.

A temperatura  $T_0$  tutto il mercurio è contenuto nel volume del bulbo  $V(T_0) = V_B$ ; a temperatura  $T$  esso occupa anche un tratto di altezza  $h(T)$  del capillare:  $V(T) = V_B + s h(T)$  [s sezione del capillare]

Dato il coefficiente di dilatazione cubica  $\beta_{\text{Hg}}$  ( $\beta_{\text{Hg}} = 1,8 \times 10^{-4}/\text{K}$ ),  
 $V(T) = V(T_0) [1 + \beta_{\text{Hg}} (T - T_0)] = V_B [1 + \beta_{\text{Hg}} (T - T_0)] = V_B + s h(T)$

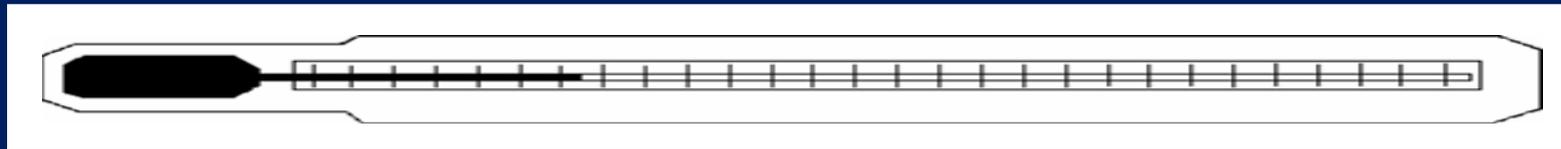
**funzione di risposta**  
del termometro  
 $h(T) = V_B \beta_{\text{Hg}} / s (T - T_0)$



CONDUCIBILITA' TERMICA  $\lambda$

CAPACITA' TERMICA  $C$

In un termometro a liquido il calore deve fluire attraverso il vetro del bulbo per arrivare al liquido e innalzarne la temperatura. Questo passaggio richiede tempo



$\tau = Cd/\lambda S$  costante di tempo del termometro

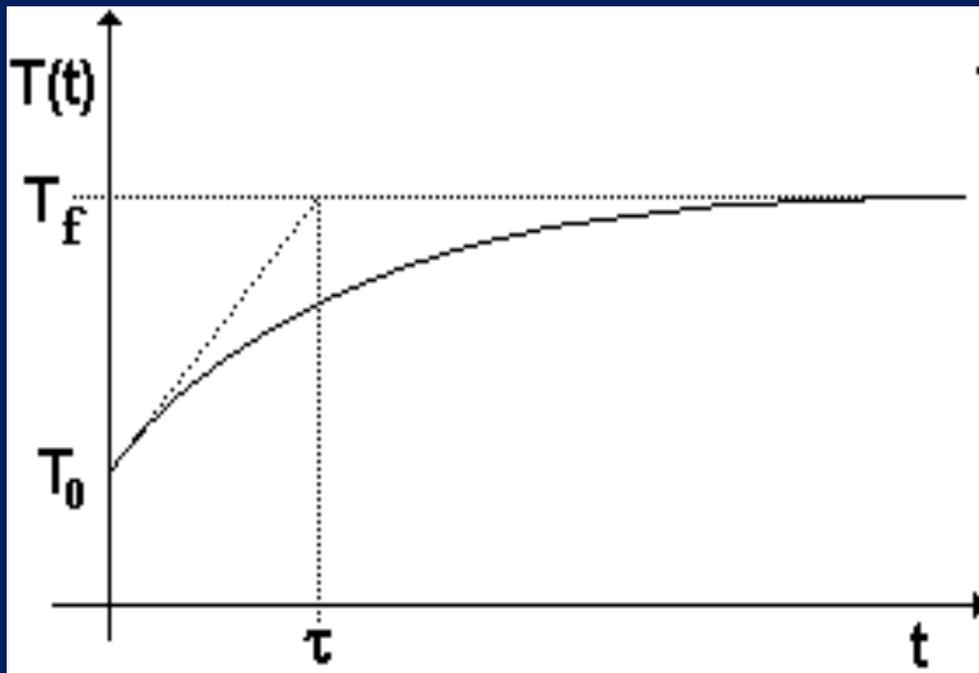
C: capacità termica del liquido

d: spessore del vetro

S: superficie del vetro

$\lambda$  : coefficiente di conducibilità termica del vetro

$$T_0 < T_f \rightarrow T(t) = T_f - (T_f - T_0) e^{-\frac{t}{\tau}}$$



e se  $T_f < T_0$  ?

**il termometro deve essere “pronto”  $\rightarrow \tau$  di qualche secondo**

## E SE LA TEMPERATURA DA MISURARE VARIASSE?

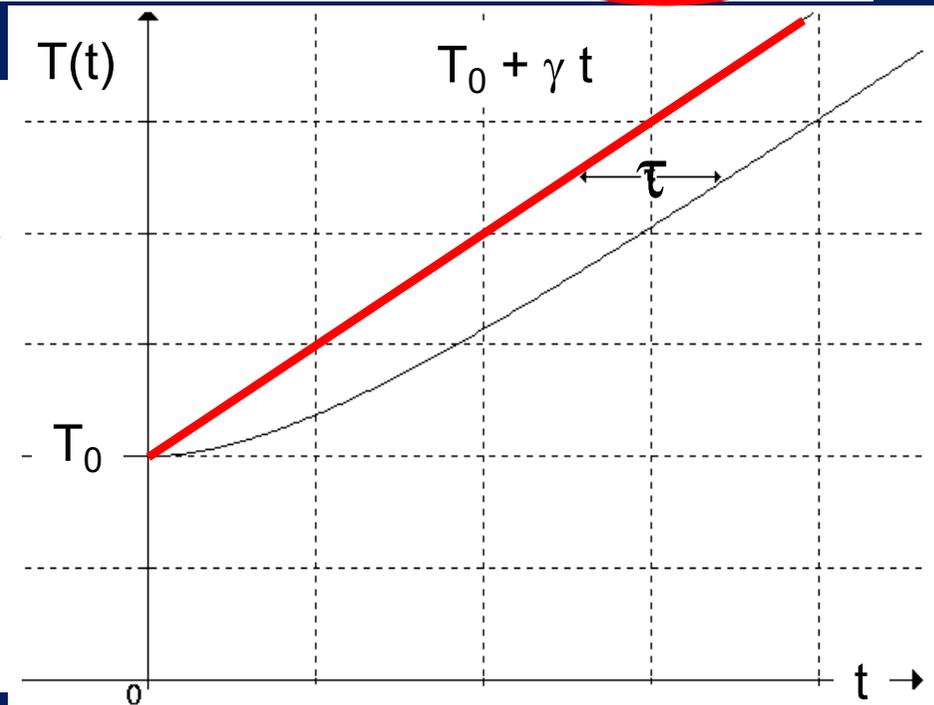
p.es. se la temperatura  $T_f$  variasse linearmente nel tempo:  $T_f = T_0 + \gamma t$  si avrebbe:

$$T(t) = T_0 + \gamma (t - \tau) + \gamma \tau e^{-t/\tau}$$

il termometro non indica istante per istante il valore  $T_f = T_0 + \gamma t$  ma, dopo alcune costanti di tempo, il termine  $\gamma \tau e^{-t/\tau}$  si annulla fornendo il valore corretto

(con un ritardo pari a  $\tau$ ):

$$T(t) = T_0 + \gamma (t - \tau) = T_f - \gamma \tau$$



# COME VARIARE LA TEMPERATURA?



effetto Joule: una resistenza  $R$  percorsa da una corrente  $I = V/R$  dissipa una potenza  $W = R I^2$  trasformandola in calore  $Q = W t$  con  $W = V I$

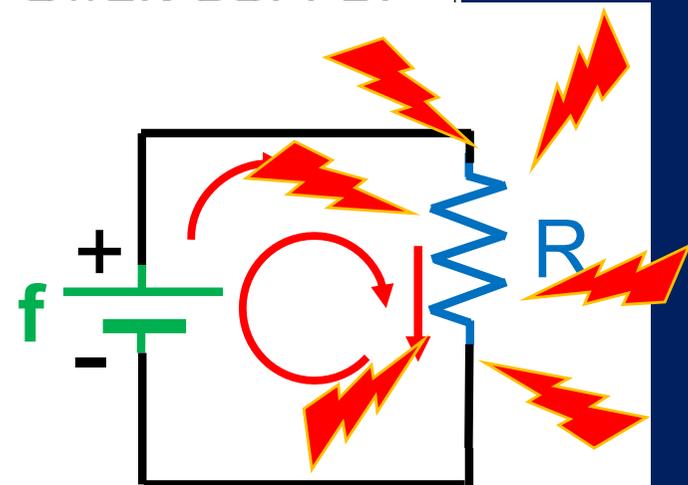
ENERGIA = POTENZA x TEMPO (quasi)

$$1 W = 1 V \times 1 A$$

una resistenza percorsa da corrente si scalda

*AT4VD ALIMENTATORE DIGITALE REGOLABILE STABILIZZATO*  
*AT4VD ADJUSTABLE OUTPUT STABILIZED POWER SUPPLY*

Tensione alimentazione Voltage supply	230Vac 50-60Hz $\pm 10\%$
Tensione uscita stabilizzata Output stabilized voltage	1-30Vdc
Corrente di uscita massima Max output current	4A (22Vdc)
Ripple	20mV
Raffreddamento Cooling	Convezione forzata Forced air convection
Protezione di rete Input protection	Fusibile Fuse
Protezione di uscita Output protection	Elettronica Electronic

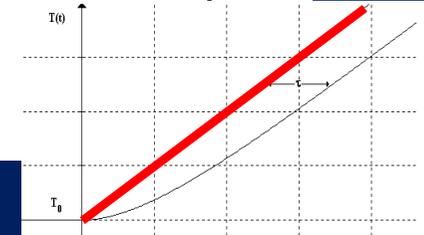


- **1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA**
- **2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO**

POI STUDIEREMO IL COMPORTAMENTO DEI GAS

# 1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA (raccolta dati)

1. misurare la massa d'acqua (in grammi) che è nel bicchiere graduato
2. versare l'acqua nel dewar
3. chiudere il coperchio
4. inserire il termometro
5. impostare il generatore a 30 V (all'accensione si ridurrà a circa 28 V)
6. **far partire il cronometro** mentre si accende l'alimentatore e **NON ARRESTARLO** fino alla fine della raccolta dati



Raccolta dati (**NON AGITARE TERMOMETRO E DEWAR**)

- a) annotare i tempi corrispondenti a: 25 30 35 40 45 50 55 60 °C
- b) ogni 10 minuti verificare tensione e corrente → potenza costante

**Al termine (60°C) spegnere l'alimentatore,  
ma NON svuotare il dewar**

**Rimandare l'elaborazione dati per passare  
al punto successivo (serve acqua calda!)**

## 2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO (raccolta dati)

Versare nel bicchiere graduato dell'acqua fredda (poco più di metà)

Sfilare il termometro dal dewar per misurare la temperatura dell'acqua fredda

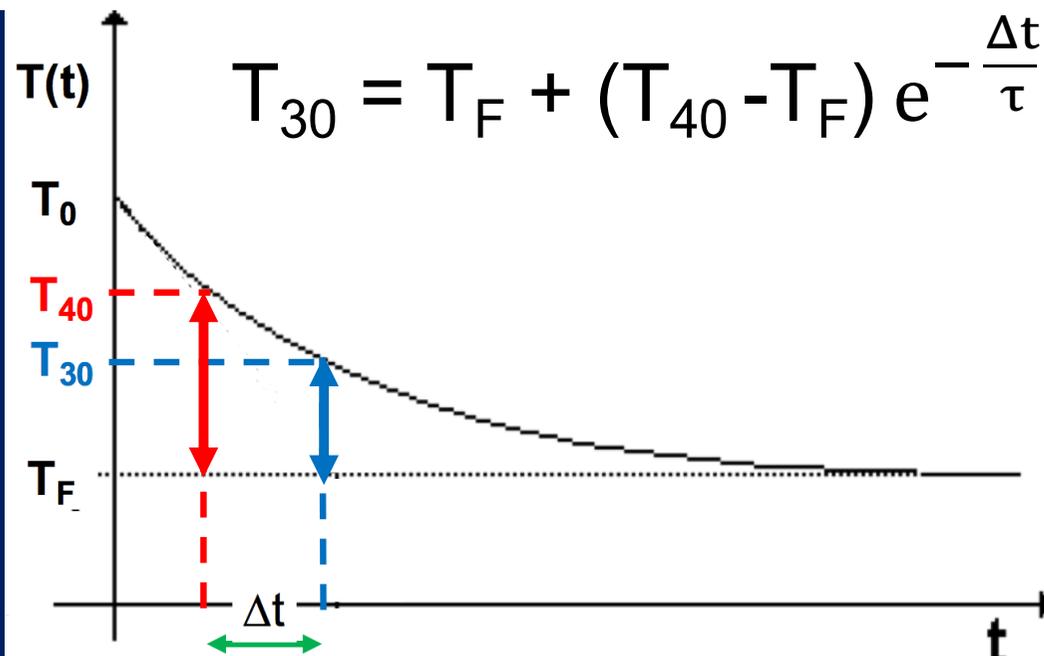
Registrare la temperatura dell'acqua fredda  $T'_F$

- 1) Inserire nuovamente il termometro nel dewar
- 2) Verificare che la temperatura sia ancora  $T_0 > 40^\circ\text{C}$
- 3) Inserire il termometro nell'acqua fredda
- 4) Misurare il tempo necessario affinché la temperatura passi da  $40^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$

Registrare il tempo  $\Delta t$  misurato

5) Tornare al punto 1) per **ottenere 10 misure di  $\Delta t$**  e calcolarne la **media**

6) Alla fine misurare nuovamente la temperatura dell'acqua fredda  $T''_F$



$$T_{30} = T_F + (T_{40} - T_F) e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

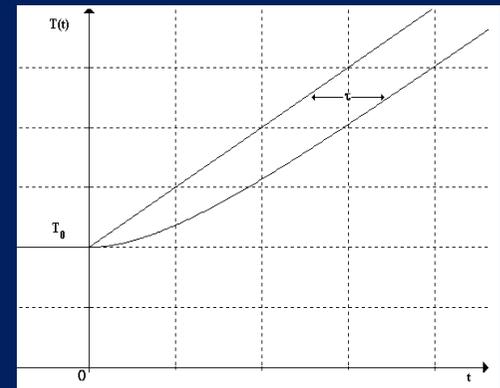
$$\tau = \Delta t / \ln \left( \frac{T_{40} - T_F}{T_{30} - T_F} \right)$$

DOPO

# ELABORAZIONI DATI

## 1) CALORE SPECIFICO DELL'ACQUA

$$W = VI = \delta Q/dt \quad \delta Q = c m dT$$
$$\rightarrow W = c m dT/dt \quad \rightarrow c = W/(m dT/dt)$$



Ricavare dal grafico  $T$  vs  $t$  la pendenza  $dT/dt$  del tratto lineare  
Ricavare  $c$  (attenzione alle unità di misura: 1 min = 60 s)

$$c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K}) ?$$

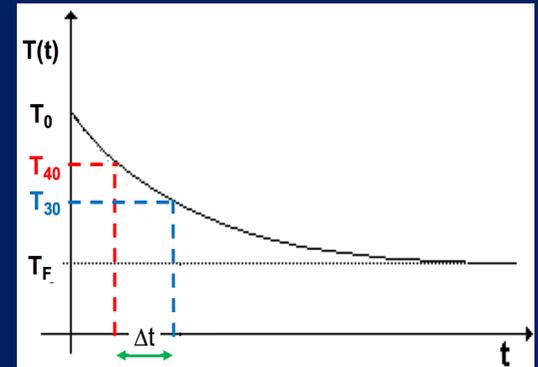
## 2) COSTANTE DI TEMPO DEL TERMOMETRO

Calcolare  $\tau$  dalla media aritmetica  $\bar{\Delta t}$  delle 10 misure di  $\Delta t$

$$T_F = \frac{T'_F + T''_F}{2}$$

$$\tau = 5 - 10 \text{ s} ?$$

$$\tau = \bar{\Delta t} / \ln \left( \frac{T_{40} - T_F}{T_{30} - T_F} \right)$$

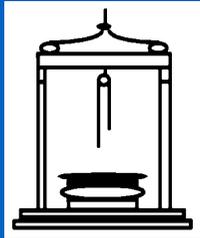


# LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica



A.A. 2021-2022



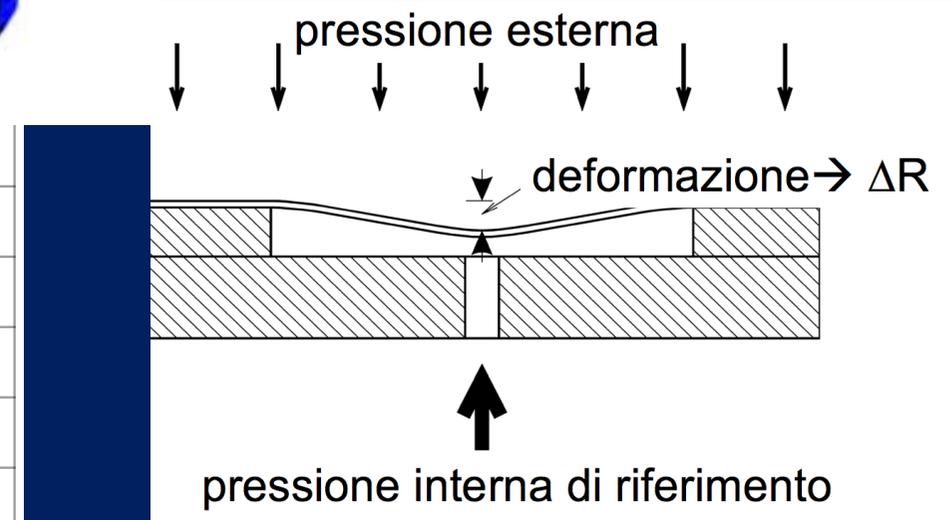
Chi ha fatto due assenze verrà contattato per recuperarne una giovedì 26 e quindi accedere al giudizio di idoneità

# I SENSORI PER QUESTA ESPERIENZA: PRESSIONE



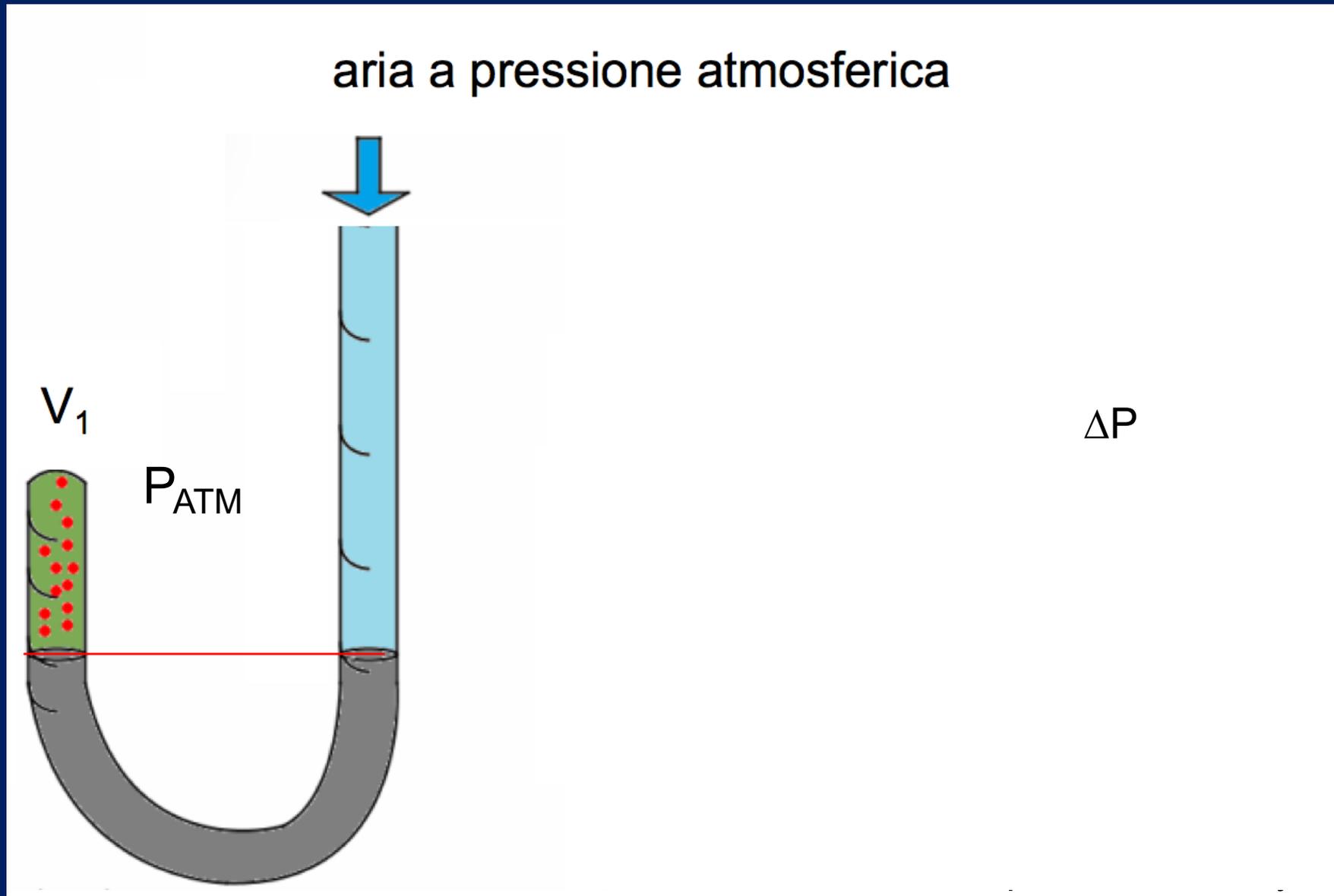
$$P = \frac{F}{S}$$
$$1 \text{ pascal} = \frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ metro}^2}$$
$$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$

Range	0 kPa to 700 kPa
Accuracy	±2 kPa
Resolution	0.01 kPa
Maximum sample rate	200 samples per second
Repeatability	1 kPa
Operating temperature	0° C to 40° C

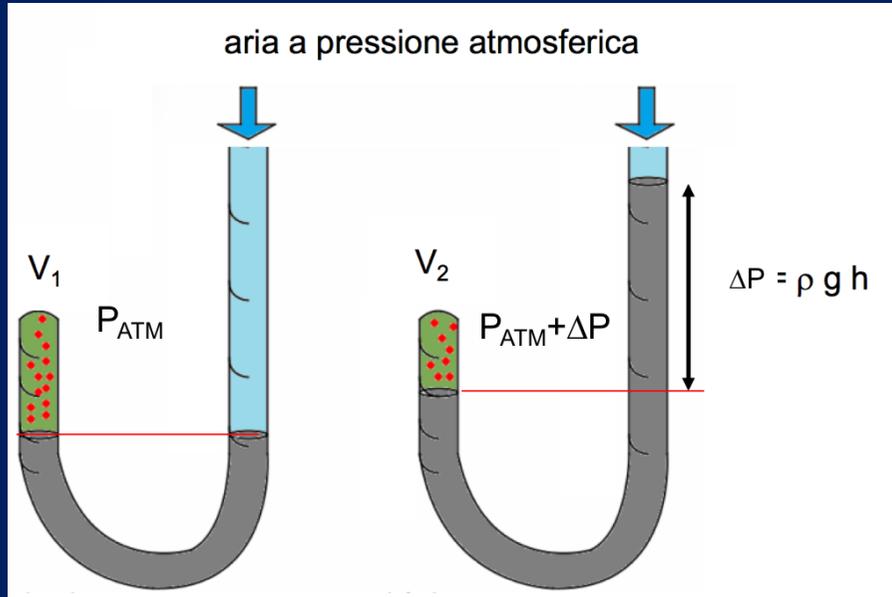


Il sensore utilizza un trasduttore piezoresistivo in cui varia la resistenza di una sottilissima membrana di silicio monocristallino quando è deformata dalla forza originata dalla differenza fra la pressione esterna e quella di una capsula interna sigillata contenente gas a bassissima pressione

# 1) TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)



# 1) TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)



Se  $p$  aumenta  
 $V$  diminuisce... COME?

Boyle:  **$P V = \text{cost}$**   
(a temperatura costante)

legge dei gas perfetti:

$$P V = n R T$$

$T$ : temperatura assoluta (kelvin)

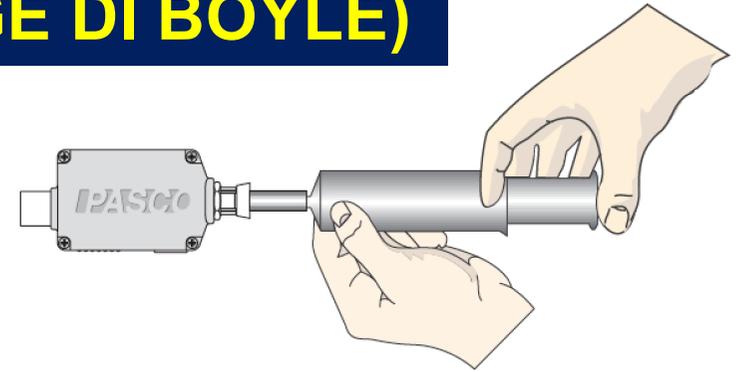
$$T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273,15 \text{ K}$$

$n$ : numero di moli

$$R = 8,31 \text{ J}/(\text{K mol})$$

# TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

METODOLOGIA: misurare la pressione dell'aria all'interno di una siringa mentre ne viene variato **lentamente** il volume



Con buona approssimazione si può assumere che la temperatura dell'aria contenuta non vari (isoterma) e sia pari a quella ambiente

Il volume  $V$  di aria è in parte nella siringa  $V_s$  e in parte nel tubo  $V_T$

$$P V = P (V_s + V_T) = n R T \quad \rightarrow \quad \underset{Y}{P} \underset{X}{V_s} = -V_T \underset{X}{P} + n R T$$

$p = -V_T$        $q = n R T$

$$P V = n R T$$

# TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

## Raccolta dati 1:

- staccare dal sensore il tubicino che lo collega alla siringa (premere e ruotare il connettore)
- aprire la siringa fino ad avere un volume iniziale di  $20 \text{ cm}^3$
- riconnettere il sensore alla siringa
- con il sistema di acquisizione (p.es. visore digitale) misurare la pressione  $P$  (in chilopascal, apprezzando il decimo di kPa) al variare del volume  $V_s$  della siringa da  $20 \text{ cm}^3$  a  $2 \text{ cm}^3$  passando per successivi stati di equilibrio con variazioni di volume di  $2 \text{ cm}^3$
- raccogliere in una tabella i valori di  $V_s$ ,  $P$  e  $PV_s$
- graficare  $P$  vs  $V_s$  (iperbole)
- graficare  $PV_s$  vs  $P$  (retta; ricavarne i parametri)

## Determinare il numero di moli $n$

$$p = -V_T \quad q = n R T \quad R = 8,31 \text{ J}/(\text{K mol})$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cc} = 1 \text{ cm}^3$$

# TRASFORMAZIONE ISOTERMA (LEGGE DI BOYLE)

## Raccolta dati 2:

- staccare il tubicino dal sensore, portare la siringa a un volume iniziale di  $10 \text{ cm}^3$  e riattaccare il tubicino
- ripetere le misure di pressione come prima al variare del volume della siringa  $V_s$  da  $10 \text{ cm}^3$  a  $2 \text{ cm}^3$
- tracciare nuovamente (sullo stesso grafico)  $PV_s$  vs  $P$
- ricavare nuovamente il volume del tubicino e il numero di moli del sistema ( $p = -V_T$     $q = n R T$ )

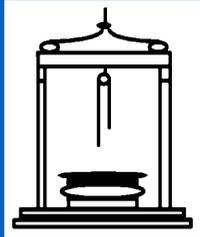
**$V_T$  è cambiato? E il numero di moli?**

# LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica



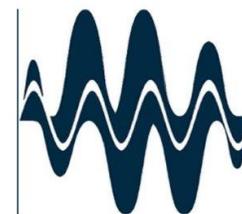
A.A. 2021-2022



svuotare il dewar e il contenitore  
lasciare il tavolo in ordine, pulito e asciutto!!!

Chi ha fatto due assenze verrà  
contattato per recuperarne una  
**giovedì 26** e quindi accedere all'idoneità

Verbalizzazione (se idonei) **6 giugno**



**LaDiFi**

laboratori didattici di fisica