

## L'equivalente meccanico della caloria

### Scopo dell'esperimento

In fisica, si definisce *energia di un sistema* la sua capacità a compiere un lavoro. Come sappiamo, esistono molteplici *forme di energia*: *meccanica, termica, chimica, nucleare, etc.* Il primo principio della termodinamica sancisce la possibilità di trasformare l'energia da una forma all'altra, senza perdite (almeno teoricamente). Utilizzeremo questo principio, per determinare il *calore specifico dell'acqua*.

### Esecuzione della misura

Quello che operativamente dobbiamo fare, è fornire ad un sistema isolato termicamente (*calorimetro*), contenente una massa  $m_{H_2O}$  di acqua, una quantità di energia nota. Nel nostro caso utilizzeremo l'*effetto Joule* per riscaldare una resistenza utilizzando un *alimentatore di tensione*. Questo, per mezzo della corrente  $I$  che passa attraverso la resistenza  $R_{risc}$  [1], produce una certa quantità di calore e di conseguenza un aumento della temperatura dell'acqua che misureremo attraverso un *termometro digitale*. Lo schema dei collegamenti è mostrato in figura 1.

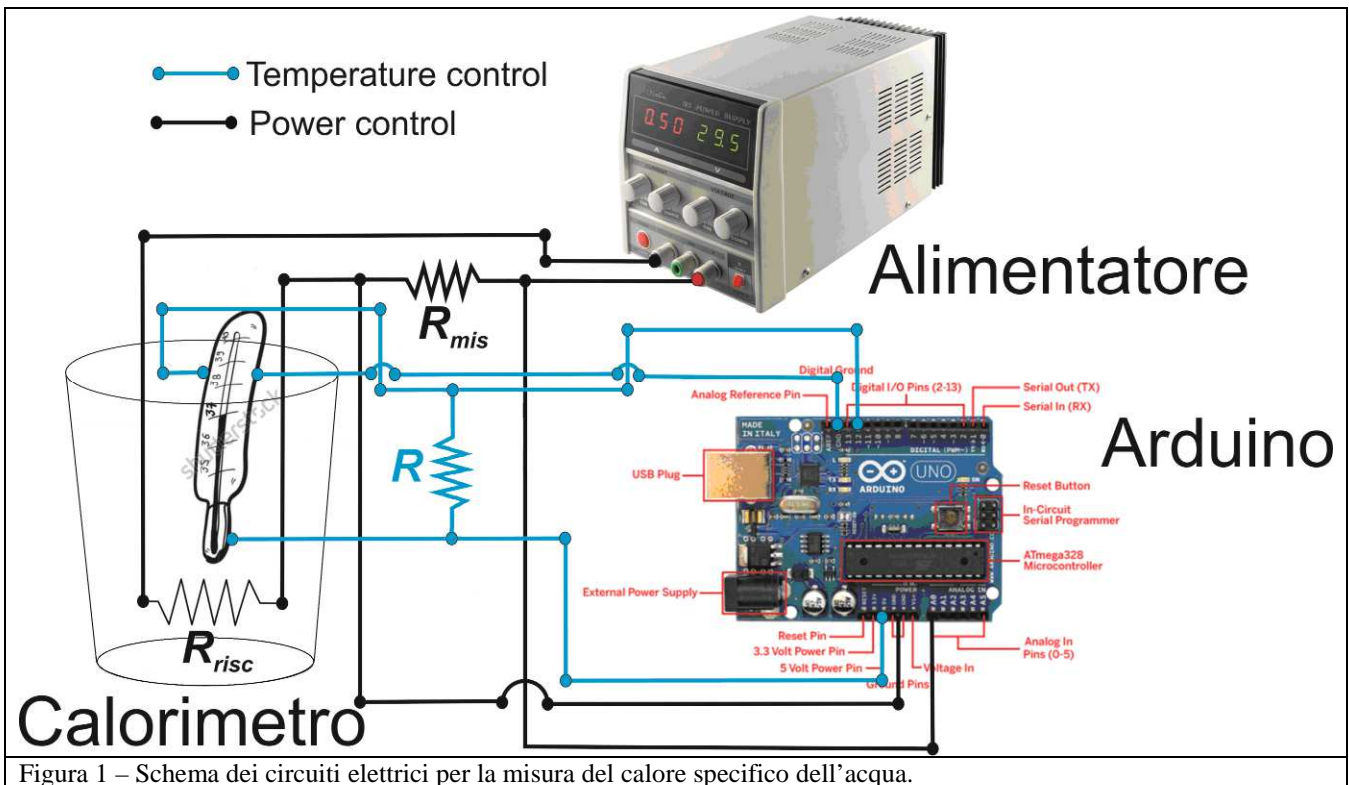


Figura 1 – Schema dei circuiti elettrici per la misura del calore specifico dell'acqua.

In virtù del principio di conservazione dell'energia (supponendo che la quantità dispersa dal calorimetro sia trascurabile) possiamo uguagliare il calore assorbito dall'acqua ( $Q$ ) al calore prodotto dalla resistenza e quindi al lavoro ( $W$ ) fatto dal generatore. Da questa equazione possiamo determinare il *calore specifico* ( $C_{H_2O}$ ) dell'acqua.

$$[1] \quad \underbrace{Q = C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T}_{\text{Calore assorbito dall'acqua}} = \underbrace{R_{risc} \cdot I^2 \cdot \Delta t}_{\text{Lavoro fornito dal generatore}} = W$$

[1] Verranno utilizzati due calorimetri diversi, per le caratteristiche tecniche, e quindi anche per il valore di  $R_{RISC}$  vedere la tabella riportata più avanti.

Nella formula  $\Delta T$  è la variazione di temperatura dell'acqua e  $\Delta t$  è l'intervallo di tempo in cui questa avviene. C'è da tener conto che anche il calorimetro assorbe calore e tale quantità viene espressa in genere dalla massa equivalente  $m_E$ , ossia la massa d'acqua che assorbe la stessa quantità di calore del calorimetro<sup>[2]</sup>. La prima operazione da fare è misurare la quantità di acqua che si introduce nel calorimetro. A seconda del calorimetro utilizzato (vedi figura 2) il valore cambia. Per la misura della massa si ponga il calorimetro vuoto su una bilancia, se ne misuri la massa che indichiamo con  $m_V$ . Si inserisca l'acqua e si legga di nuovo la massa, sia  $m_P$ . Il valore di  $m_{H_2O}$  si ottiene da  $m_{H_2O} = m_P - m_V + m_E$ . Se si vuol stimare l'errore si ricordi che nella somma e nella differenza si sommano gli errori assoluti (per l'errore assoluto di  $m_V$  e  $m_P$  si può prendere la sensibilità della bilancia), mentre nel prodotto e nel quoziente si sommano gli errori relativi (si ricordi che l'errore relativo è il rapporto tra l'errore assoluto e il valore della grandezza).

**E' BUONA NORMA ANNOTARE TUTTI I VALORI MISURATI.**

Una volta riempito di acqua il calorimetro, si procederà con l'effettuare i collegamenti elettrici necessari. Come si vede nella figura 1 il circuito è composto da due parti indipendenti:

1. La **parte elettrica**, quella cioè che serve al riscaldamento dell'acqua, attraverso la resistenza  $R_{risc}$ , immersa in acqua, sulla quale si fa passare la corrente costante prodotta da un alimentatore. In serie alla resistenza di riscaldamento si trova una resistenza  $R_{mis} = 2,5 \Omega$ . Si presti attenzione a non far circolare una corrente troppo alta (circa 2 A), onde evitare un eccessivo surriscaldamento delle resistenze.

**ATTENZIONE LE RESISTENZE SONO MOLTO CALDE, NON TOCCARLE.**

---

[<sup>2</sup>] Il valore della massa equivalente viene fornito, ma si consiglia, se c'è tempo di provare a misurarlo. Si procede come segue;

- 1) si pone il calorimetro vuoto sulla bilancia e si misura la massa  $m_V$ ;
- 2) si inserisce nel calorimetro una massa d'acqua fredda (a temperatura ambiente) e si misura la massa  $m_P$ :  
 $m_1 = m_P - m_V$  è la massa d'acqua fredda inserita nel calorimetro;
- 3) si attende qualche minuto che l'acqua raggiunga la temperatura di equilibrio con il calorimetro e si misura la temperatura  $T_1$ ;
- 4) si prende, in un bicchiere, dell'acqua calda e si misura la temperatura  $T_2$ ;
- 5) si versa l'acqua calda nel calorimetro e si inserisce il termometro;
- 6) si attende che si raggiunga la temperatura di equilibrio  $T_e$ ;
- 7) si pone il calorimetro sulla bilancia nelle stesse condizioni di misura precedenti (per esempio: se era senza coperchio anche adesso deve essere senza coperchio) e si misura la massa finale  $m_F$ , la massa dell'acqua calda è:  
 $m_2 = m_F - m_P$ .



Trascurando le dispersioni di calore nell'ambiente, possiamo affermare che il calore ceduto dall'acqua calda è uguale al calore assorbito dall'acqua fredda e dal calorimetro; il valore della massa d'acqua equivalente  $m_E$  al calorimetro si determina dall'equazione  $c_{H_2O} \cdot m_2 \cdot (T_2 - T_e) = c_{H_2O} \cdot m_1 \cdot (T_e - T_1) + c_{H_2O} \cdot m_E \cdot (T_e - T_1)$ , ossia  $m_E = m_2 \frac{T_2 - T_e}{T_e - T_1} - m_1$ . Lo skech per far funzionare il solo termometro si trova in fondo alla scheda.

La resistenza  $R_{\text{mis}}$  determina una caduta di potenziale  $V$  al passaggio di corrente, che può essere misurata attraverso una delle porte analogiche della *scheda Arduino*, fornendoci così la misura della corrente  $I$  che attraversa il circuito di riscaldamento ( $I = V/R_{\text{mis}}$ ).

Indichiamo con  $N_{\text{mis}}$  il numero massimo di misure da effettuare (nello sketch si porrà  $N_{\text{mis}}=100$ ), allora  $t_i = \frac{\Delta t}{N_{\text{mis}}}$  è l'intervallo di tempo tra una misura e la successiva. Se la

corrente nel circuito rimanesse costante dall'inizio alla fine, il lavoro fornito dall'alimentatore sarebbe:  $W = \frac{R_{\text{risc}} V^2}{R_{\text{mis}}^2} \sum_{i=1}^{N_{\text{mis}}} (t_i) = \frac{R_{\text{risc}} V^2}{R_{\text{mis}}^2} \Delta t$ . Poiché ciò non potrebbe verificarsi a causa di piccoli

sbalzi di tensione utilizziamo la relazione  $W = \frac{R_{\text{risc}}}{R_{\text{mis}}^2} \sum_{i=1}^{N_{\text{mis}}} (V_i^2 \cdot t_i)$ .

<p>Figura 2 – Caratteristiche dei calorimetri utilizzati</p>		
<p>Capacità massima consigliata [cm<sup>3</sup>] o [g]</p>	<p>350</p>	<p>400</p>
<p>Equivalentente in acqua [g]</p>	<p>13 ± 1</p>	<p>26 ± 6</p>
<p><math>R_{\text{risc}}</math> [Ω]</p>	<p>3.2</p>	<p>4.6 9.5 (non utilizzare)</p>
<p><math>R_{\text{mis}}</math> [Ω]</p>	<p>2.5 4 resistenze da 10 Ω in parallelo</p>	<p>2.5 2 resistenze da 1 Ω in parallelo in serie ad una da 2 Ω</p>
<p><math>R</math> [kΩ]</p>	<p>5 (due resistenze da 10 kΩ in parallelo)</p>	<p>4.7</p>

2. La **parte termica** è costituita da un *termometro digitale*, che viene letto direttamente attraverso una delle *porte logiche di Arduino*. La resistenza  $R$  che si vede nella figura 1 serve all'alimentazione del sensore (costituito da un *diodo a giunzione*).

## Esecuzione dell'esperimento

La prima cosa che ci serve, nell'esecuzione dell'esperimento, è costruire il sistema di acquisizione dati. Si utilizzerà una scheda *Arduino uno R3* (vedi figura 2) su cui verrà caricato lo *sketch* in grado di leggere il sensore di temperatura e simultaneamente la tensione ai capi di  $R_{\text{mis}}$ .

Per leggere i dati utilizzeremo il *monitor seriale* che fa parte del programma *Arduino*.

Per alimentare il circuito di riscaldamento si utilizza l'alimentatore di corrente, come si è detto, a circa 2 A. Prima di iniziare le misure, accendere l'alimentatore e utilizzando le manopole portare la corrente a circa 2 A. **Prima di effettuare questa manovra chiamate un docente.**

Le porte di lettura che si devono utilizzare su *Arduino* sono una *porta digitale*, per leggere la *temperatura* e una porta analogica per leggere la tensione. Nella modalità di misura, il segnale di tensione deve avere un *range* da **0 a 5 V**. Il valore misurato, dal *convertitore analgico/digitale* (ADC)

della porta analogica, restituisce un numero intero da **0** a **1023** (*10 bits*). Per ottenere il valore in volt dobbiamo quindi prendere il valore letto dalla porta e moltiplicarlo per  $5\text{ V}/1023$ .

I collegamenti del termometro e dell'alimentazione alla scheda vanno fatti seguendo attentamente le indicazioni della Figura 1 e le etichette poste sui vari fili di connessione

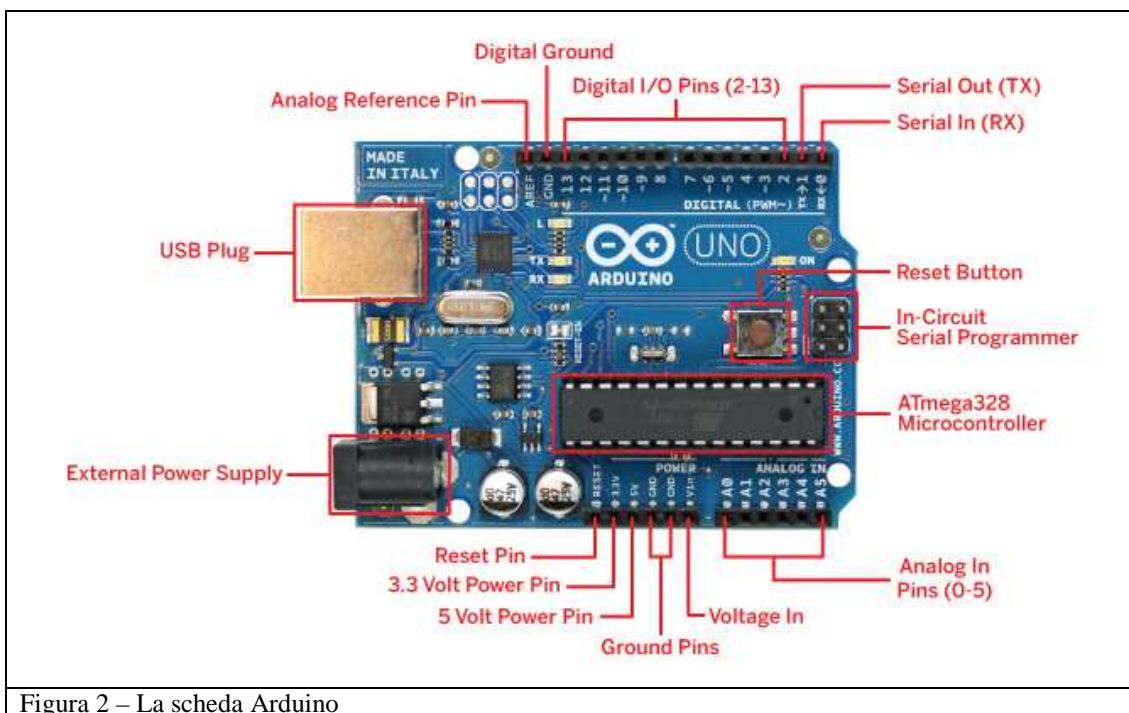


Figura 2 – La scheda Arduino

## Sketch per Arduino

```
// IMPORTAZIONE DELLE LIBRERIE DA UTILIZZARE
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// DEFINISCO IL PIN DIGITALE USATO PER MISURARE LA TEMPERATURA
#define ONE_WIRE_BUS 2

// INIZIALIZZAZIONE DEL TERMOMETRO
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// DEFINISCO LA PORTA ANALOGICA PER FARE LA MISURA DI CORRENTE
double AnalogInputPin = 0;

void setup(void)
{
  // INIZIALIZZAZIONE DELLA COMUNICAZIONE CON IL SENSORE
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  bitClear(ADCSRA,ADPS0);// INIZIALIZZAZIONE DELL'ADC USATO NELLA MISURA
}

void loop(void)
{
  int i; // Indice delle misure
  int deltatime=30000; //Intervallo di tempo tra una misura e l'altra
  int Nmis=100; //Numero massimo di misure da effettuare
  int cnt=0;
  int Deltatemp=5; //Massima escursione termica per la registrazione delle misure
  int sw=1; //Interruttore dello stand by
```

```

double rrisc=2.8;//Valore della resistenza di riscaldamento
double dlt=1.02;//Tempo morto nelle misure di temperatura
double Intemp; //Temperatura iniziale rilevata dal termometro
double tm[Nmis]; //Vettore dei tempi
double Vartemp[Nmis]; //Vettore delle variazioni di temperatura misurata dal termometro
double Vr[Nmis]; //Vettore del voltaggio ai capi della resistenza del calorimetro
double tmp;//Variabile di buffer

Serial.println("STO ASPETTANDO CHE IL SISTEMA RAGGIUNGA L'EQUILIBRIO TERMODINAMICO");
delay(60000);

sensors.requestTemperatures();//SI INVIA UN SEGNALE AL SENSORE PER LEGGERE LA TEMPERATURA
Intemp=sensors.getTempCByIndex(0);//SI LEGGE LA TEMPERATURA


Serial.println("ACCENDERE IL GENERATORE QUANDO IL CONTATORE SEGNA 0");
for(i=1;i<7;i++)
{
  Serial.println(6-i);
  delay(2000);//INTERVALLO DI TEMPO NEL CONTO ALLA ROVESCIA
}
Serial.println("STO INIZIANDO LA MISURA");


for(i=1;i<Nmis+1;i++)
{
  delay(deltatime/dlt);//INTERVALLO DI TEMPO TRA UNA MISURA E L'ALTRA
  sensors.requestTemperatures();//SI INVIA UN SEGNALE AL SENSORE PER LEGGERE LA
  TEMPERATURA
  tmp=sensors.getTempCByIndex(0);//SI LEGGE LA TEMPERATURA
  if(tmp-Intemp<Deltatemp)
  {
    tm[i]=deltatime*0.001*i;//TEMPO IN SECONDI
    Vartemp[i]=tmp-Intemp;//SI REGISTRA LA VARIAZIONE DI TEMPERATURA
    Vr[i]=(5.0/1023.0)*analogRead(AnalogInputPin);//SI LEGGE IL VOLTAGGIO AI CAPI DELLA RESISTENZA
    DI MISURA
    cnt++;
    Serial.print(Vartemp[i]);//VARIAZIONE DI TEMPERATURA
    Serial.print(" ");
    Serial.print(rrisc*(Vr[i]/2.5)*(Vr[i]/2.5)*tm[i]);//LAVORO FORNITO DAL GENERATORE
    Serial.print(" ");
    Serial.print(1);//ERRORE SULLA TEMPERATURA. 0.5 GRADI
    Serial.print(" ");
    Serial.println(0.01*(rrisc*(Vr[i]/2.5)*(Vr[i]/2.5)*tm[i]));//ERRORE SUL LAVORO. 1% DEL VALORE MISURATO
  }
  if(tmp-Intemp>Deltatemp)
  {
    deltatime=100;//QUANDO SI RAGGIUNGE DELTATEMP>10 SI SMETTE DI REGISTRARE LA MISURA E IL
    DELAY TRA LE MISURE DIVENTA MOLTO PIU' BREVE
  }
}
Serial.println("HO TERMINATO LA MISURA. POTETE SPEGNERE IL GENERATORE.");
delay(5000);
Serial.println("RICORDATEVI DI SPEGNERE IL GENERATORE!");
delay(5000);
Serial.println("VI SIETE RICORDATI DI SPEGNERE IL GENERATORE?");
while(sw=2){};//L'ARDUINO E' IN STAND BY
}

```

### **Installazione dello sketch su Arduino e inizio della misura.**

Per caricare gli sketch su Arduino si usa il software *Arduino* che si trova sul *desktop*. Una volta aperto appare la schermata di figura 3 bisogna copiare lo sketch precedente al suo interno e poi salvare il file

su una cartella (il comando salva si trova dentro il sottomenu File). Una volta salvato, si può verificare la corretta scrittura del codice con il pulsante *compila* . Effettuare i collegamenti dei fili con *Arduino*. Ricordarsi di collegare anche la porta USB.

Se la compilazione è andata a buon fine si può caricare il programma sulla scheda *Arduino* con il pulsante *carica* .

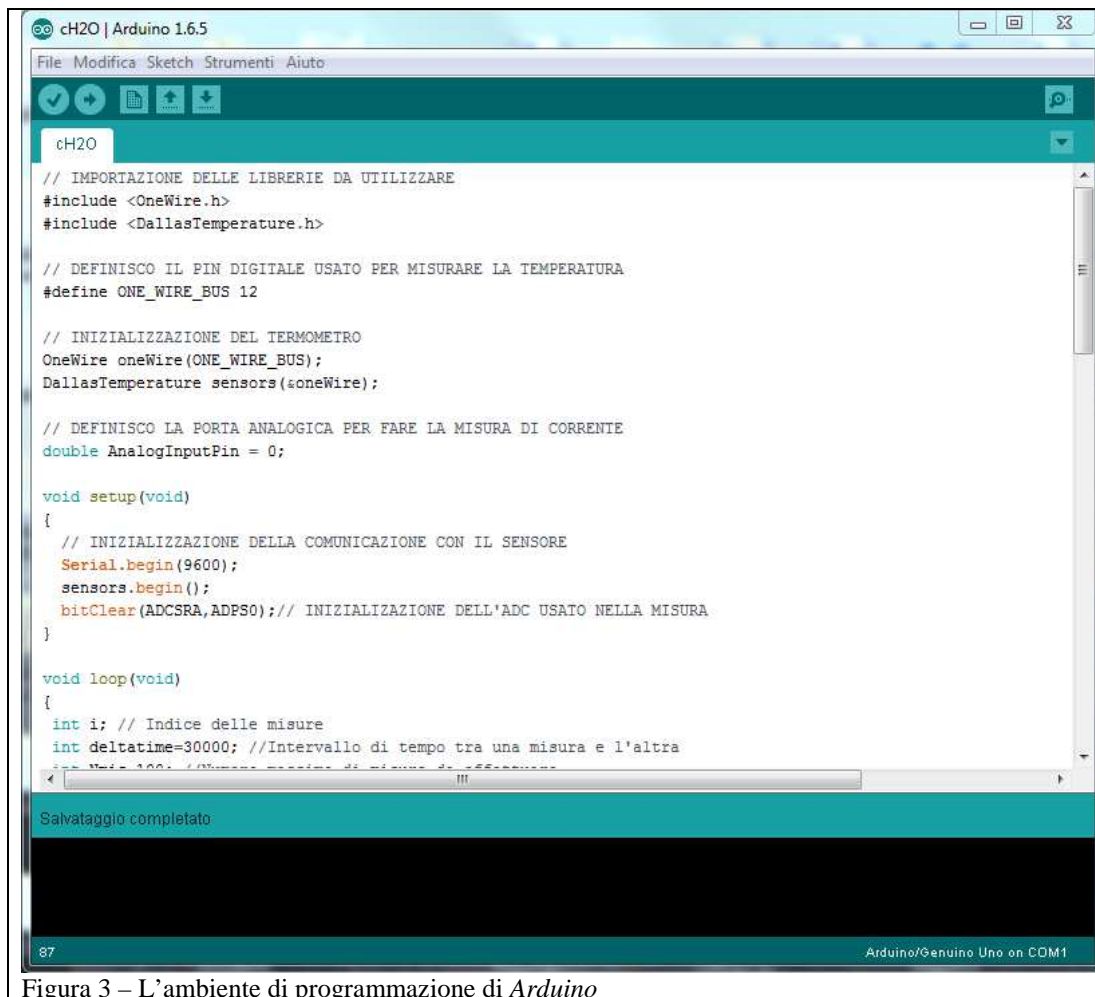


Figura 3 – L'ambiente di programmazione di *Arduino*

Per avviare l'esecuzione dello sketch cliccare su *Strumenti* e quindi su *Monitor seriale* (vedi figura 4)

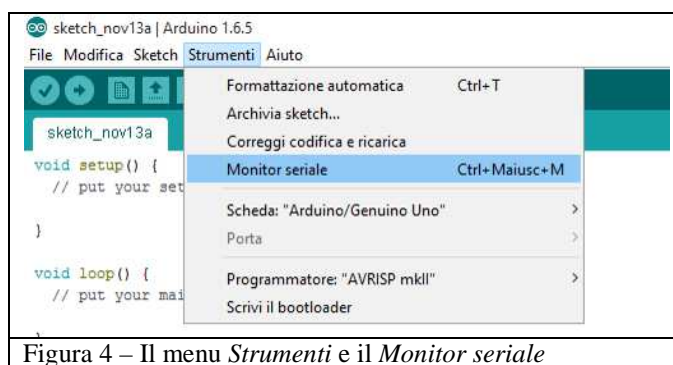


Figura 4 – Il menu *Strumenti* e il *Monitor seriale*

Attendere quindi le istruzioni che indicano la fine delle misure. Sul Monitor seriale vengono stampati quattro valori per ogni riga, sono: variazione di temperatura, lavoro fatto, errore sulla variazione di temperatura (1°C), errore sul lavoro (stimato nell'1%).

Lo sketch è stato realizzato in modo che vengano salvati quindi il lavoro fatto dal generatore W e la variazione di temperatura corrispondente DT. Il definitiva la [1] può essere scritta nella forma lineare:

$$[2] \quad W = k \cdot \Delta T$$

Dai dati acquisiti dobbiamo quindi ricavare  $k$  e, confrontando con la [1], si ha:

$$[3] \quad C_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{k}{m_{\text{H}_2\text{O}}}$$

I dati che appaiono sul Monitor seriale vanno salvati in un file di testo per la successiva rielaborazione. Per fare ciò:

- 1) Aprire *Blocco Note* di Windows.
- 2) Marcare i dati sul Monitor seriale e utilizzare il comando *copia* .
- 3) Posizionare il mouse nel Blocco Note e con il comando *incolla* trasferire i dati.
- 4) Salvare il file dandogli un nome.

## Elaborazione dati

Per l'elaborazione dati:

- 1) Aprite un foglio Excel.
- 2) Importate i dati come indicato nel punto 2 (pag. 5) della scheda RAPPRESENTAZIONE GRAFICA E ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI CON EXCEL.
- 3) Fate il grafico dei dati come indicato nel punto 1 (pag. 1) della stessa scheda.
- 4) Fate la regressione lineare dei dati come indicato nel punto 3 della scheda (pag. 8).
- 5) Calcolate  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  utilizzando la [3] e facendo anche la stima dell'errore.
- 6) Salvare il foglio Excel con il nome calore\_specifico\_GNN (NN è il numero del gruppo: 01,02, 03, ecc.).

### Sketch – TERMOMETRO

```
// IMPORTAZIONE DELLE LIBRERIE USATE
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 2 // DEFINISCO IL PIN DIGITALE USATO DAL TERMOMETRO

// INIZIALIZZAZIONE DEL TERMOMETRO
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

double Temp; //VARIABILE PER LA TEMPERATURA

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600); // INIZIALIZZAZIONE DELLA COMUNICAZIONE CON LA SERIALE
  sensors.begin(); // INIZIALIZZAZIONE DELLA COMUNICAZIONE CON IL SENSORE
}

void loop(void)
{
  sensors.requestTemperatures(); //SI INVIA UN SEGNALE AL SENSORE PER LEGGERE LA
  TEMPERATURA
  Temp=sensors.getTempCByIndex(2); //SI LEGGE LA TEMPERATURA
  Serial.println(Temp); //SI SCRIVE LA TEMPERATURA SUL MONITOR SERIALE
  delay(1000); //SI ASPETTA UN SECONDO PER LA MISURA SUCCESSIVA
}
```