bando DD.164/2018 Prot. n. 2594 del 29/10/2018

Esperienze di termologia

Proposta di un'attività di ricerca realizzabile in un laboratorio scolastico
A cura di Viviana Amati e Sara Sidoretti
Liceo Tito Lucrezio Caro di Roma

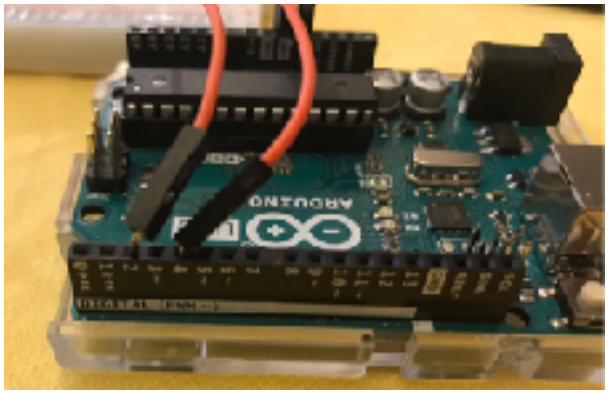
Introduzione

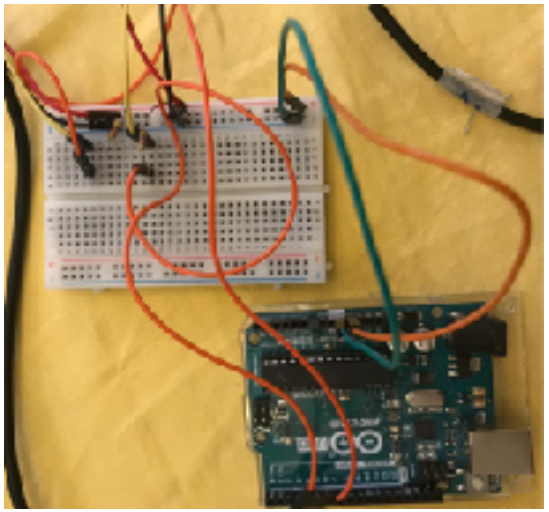
L'attività è stata sviluppata dalle docenti Amati e Sidoretti presso il laboratorio del liceo Tito Lucrezio Caro di Roma con la collaborazione degli studenti della scuola partecipanti al progetto Asl Lab2Go (A.S. 2018-19) e la partecipazione esterna del prof. Organtini.

Nel progettare questo percorso ci siamo ispirate ad alcune esperienze e attività di termologia presentate nei materiali didattici dei corsi inglesi IGCSE-Physics (Practice and Alternative to Practice papers).

Per la realizzare degli esperimenti abbiamo usato sonde termiche digitali a immersione, interfacciate a Arduino (codice ds18b20, range da -50°C a 125°C).

Il collegamento di queste sonde alla scheda Arduino richiede l'inserimento di una resistenza da 10 KOhm, come si vede dalla figura.





Prima di iniziare gli esperimenti, per verificare la taratura delle sonde, abbiamo controllato la compatibilità delle misure riportate dalle sonde termiche e da un termometro ad alcool del laboratorio.

Alcuni degli esperimenti illustrati sono stati realizzati insieme agli studenti. Non si è trattato di un'attività didattica, ma un vero lavoro di formazione e ricerca; anche per noi docenti era la prima volta che utilizzavamo queste sonde. In una collaborazione proficua abbiamo quindi imparato insieme agli studenti a mettere a punto gli strumenti per effettuare esperienze e misure.

Le Esperienze

Esperienze svolte con gli studenti

<u>Curva di raffreddamento dell'acqua</u>

- Immergere la sonda in un contenitore di alluminio con acqua calda (circa 50°C) e registrare la temperatura

- Leggere il grafico temperatura vs tempo e determinare la costante caratteristica

Questo esperimento è stato eseguito sia in modo tradizionale, misurando la temperatura con un termometro ad alcool ad intervalli di tempo fissati, sia facendo registrare la temperatura ad Arduino.

Per velocizzare il processo di raffreddamento si consiglia di versare l'acqua calda, 50-60 ml a circa 50°C, dentro un pirottino di alluminio.

L'alluminio favorisce lo scambio termico e sarà così possibile nell'arco di tempo di un'ora di lezione il raggiungimento dell'equilibrio termico a circa 20°C.

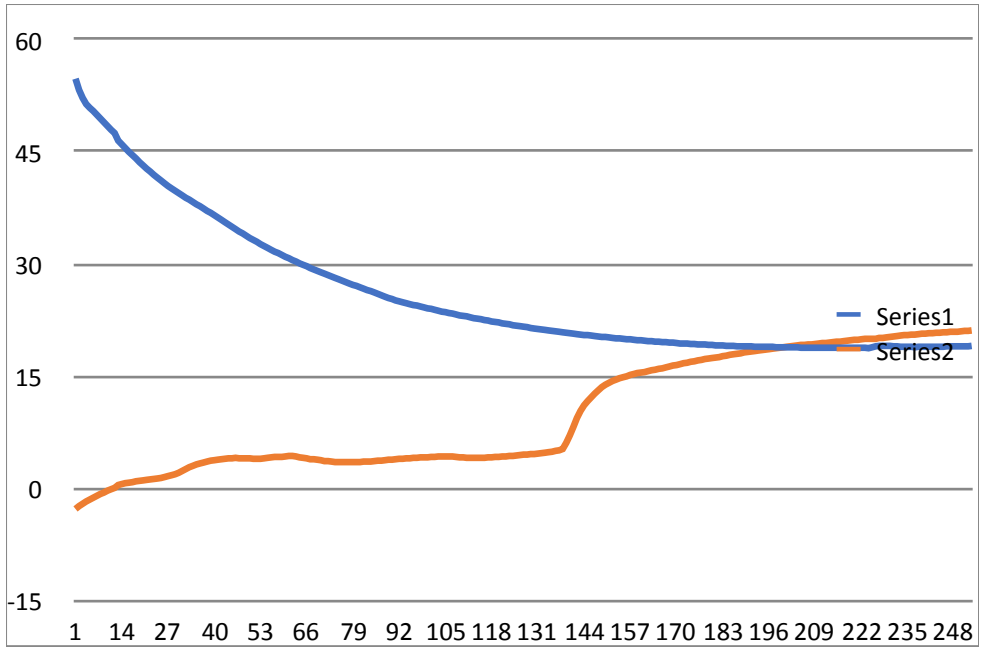
I dati registrati presentano il tipico andamento di un esponenziale decrescente. Per stimare la costante di raffreddamento si potrà disegnare la tangente alla curva all'istante iniziale e determinare graficamente l'ascissa del punto di intersezione tra la tangente e l'asintoto orizzontale alla curva.

In calce la descrizione dettagliata dell'attività

<u>Curva di raggiungimento dell'equilibrio termico</u>

- immergere dentro un calorimetro pieno di acqua fredda un contenitore pieno di acqua calda
- inserire due sonde termiche per registrare le temperature delle due acque
- leggere il grafico delle due temperature

Grafico dell'equilibrio termico tra acqua calda e acqua fredda



Passaggio di stato

Non siamo ancora soddisfatte dei risultati raggiunti su questo argomento. Non siamo infatti riuscite a trovare un metodo semplice per misurare il calore ceduto dall'acqua calda alla sostanza in fusione.

Vorremmo provare rovesciando il punto di vista e provare invece il processo di solidificazione della paraffina.

1. fusione della paraffina

- preparare la sonda termica, ricoprendola con una quantità nota di paraffina solida
- sospendere la sonda in modo che venga raggiunta dai vapori di acqua in ebollizione
- i vapori porteranno lo strato esterno della paraffina allo scioglimento, che sgocciolerà via dalla sonda

- leggere il grafico della temperatura della sonda

In questo caso si osserva dapprima un aumento di temperatura tendenzialmente lineare; poi, raggiunta la temperatura di fusione della paraffina (intorno ai 40°C) si osserva una riduzione del gradiente di crescita della temperatura, fino al completo scioglimento della paraffina (sosta termica del passaggio di stato); successivamente la temperatura torna a crescere molto rapidamente.

Il trasferimento del calore tramite vapori non consente di misurare il calore assorbito dalla paraffina

2. Esperimenti svolti solo dalle docenti – fusione del burro

Abbiamo pensato di studiare il processo di fusione del burro. Perché il burro? Cercavamo una sostanza che fonda all'incirca a temperatura ambiente.

La messa a punto dell'esperimento ha richiesto numerosi tentativi per risolvere diverse difficoltà pratiche.

Per eseguire l'esperimento abbiamo raffreddato nel frigorifero una massa nota di burro, contenuta in un involucro di plastica, insieme a una sonda termica. Successivamente abbiamo messo il burro con la sonda, dentro un calorimetro riempito con acqua calda. Un'altra sonda termica misurava la temperatura dell'acqua.

Obiettivo: volevamo misurare la quantità di calore scambiato e metterlo in relazione con il grafico temperatura-vs tempo del burro. Speravamo di poter così stimare il calore latente di fusione del burro.

Numerosi i problemi incontrati.

Per svolgere le nostre esperienze è stato necessario pensare a come passare dal progetto astratto alla realizzazione concreta

- Abbiamo così costruito un calorimetro piuttosto efficiente (adeguato ad una scuola) costruendo una scatola senza coperchio di polistirolo spesso, rivestita all'interno con un sacchetto di plastica per alimenti (che resista alle basse e alte temperature), fissata con delle puntine al bordo superiore della scatola. Abbiamo poi costruito un coperchio a incastro di polistirolo che sigilli la scatola (per una maggiore aderenza abbiamo rivestito lo spessore dell'incastro con un materiale per imballaggi morbido. Poi abbiamo praticato dei fori nel coperchio per inserire le sonde e un agitatore casalingo.

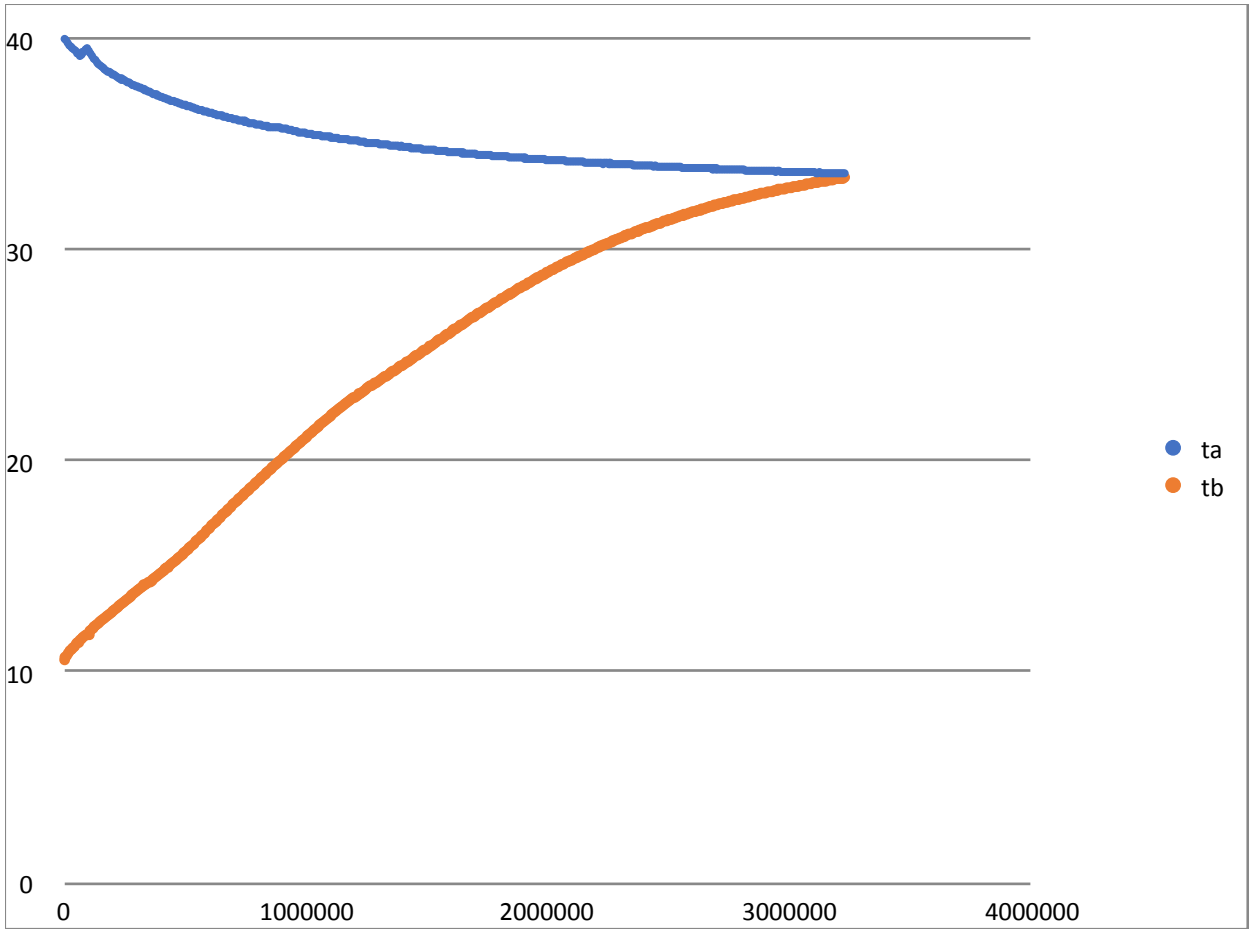
- Per eseguire la misura dovevamo impedire al burro di disperdersi nell'acqua man mano che fondeva. Quindi lo abbiamo inserito nel calorimetro ancora dentro l'involucro, ma questa soluzione non è risultata molto efficiente.

- Non è semplice stabilire le quantità di acqua e burro nonché le rispettive temperature ideali per eseguire le misure. Si deve considerare

che mentre è ben nota la relazione dell'equilibrio termico tra i calori scambiati tra l'inizio e la fine del processo di fusione, non conosciamo bene come avviene nel tempo il processo. È giusto pensare che l'assorbimento di calore nel burro avviene più rapidamente se l'acqua è a temperatura molto alta? Lo studio delle curve di raffreddamento indicano questo. Se dunque la temperatura dell'acqua è troppo alta, il burro si scioglie molto velocemente e non si registra il passaggio di stato a causa della durata troppo breve del processo. D'altronde se la temperatura dell'acqua è bassa, di poco superiore alla temperatura di fusione, il grafico tenderà ad appiattirsi sulla temperatura di equilibrio senza evidenziare il cambiamento di regime durante il passaggio di stato.

- C'è infine un ulteriore problema legato alla composizione del burro, un materiale grasso, di consistenza pastosa, composto da glomeruli di grasso che intrappolano goccioline di acqua. Ha senso parlare di calore latente di fusione di una simile sostanza?

- grafico fusione del burro nel calorimetro



La curva inferiore rappresenta i dati della temperatura del burro. La fusione avviene tra i 25° e i 30°.

Dal grafico non si evidenzia il passaggio di stato. Al massimo siamo riusciti a vedere una flessione nel grafico. Ci siamo spiegate questo risultato inaspettato considerando che il burro è sostanzialmente composto da acqua, che a 25° è già nella fase liquida. Quindi la fusione coinvolge solo la componente grassa, che evidentemente assorbe una quantità di calore troppo esigua per poterla evidenziare nei nostri dati.

Considerazioni Finali e considerazioni didattiche sull'uso di Arduino

Come già detto sopra, alcuni esperimenti sono stati eseguiti insieme agli studenti del Liceo partecipanti al progetto Lab2Go, 10 per la precisione, di terza e quarta liceo classico Cambridge.

Hanno partecipato alla fase di progettazione, preparazione, esecuzione e discussione dei risultati.

Per loro e anche per noi docenti è stata un'esperienza nuova, in quanto non solo gli studenti, ma anche noi insegnanti non avevamo già da principio chiaro come si sarebbe evoluta l'esperienza e le risposte per allestire al meglio l'esperimento.

I ragazzi hanno con noi cercato le informazioni per un ottimale utilizzo delle sonde, abbiamo scritto lo sketch di presa dati (modificandone uno preso in rete) e ci hanno visto discutere e ragionare e procedere a volte per tentativi alla ricerca della strada migliore.

Non tutti hanno partecipato con la stessa determinazione, ma per tutti è stata l'occasione di vedere in atto una piccola attività di ricerca.

Gli esperimenti sul raffreddamento sono molto semplici da realizzare e per questo adatti ad essere ripetuti in classe. Il nostro suggerimento è di far eseguire gli esperimenti in modo tradizionale, senza Arduino, e contemporaneamente allestire anche un esperimento con Arduino.

Nel modo tradizionale infatti i ragazzi hanno modo di seguire tutti i passi della misurazione, nella seconda modalità invece potranno sperimentare tecnologie più attuali e vicine alla loro dimensione, che tuttavia hanno il limite di risultare come una scatola nera, di cui non è necessario comprendere il funzionamento. I dati però in questo caso consentono una rappresentazione grafica molto analitica, con un leggero rumore di fondo, istruttivo per riflettere sulla differenza tra una misura tradizionale, con pochi dati, interpolati a partire da un'idea preconcetta sulla relazione matematica sottostante, quindi condizionata da un modello preconcetto e un vero grafico sperimentale, ricco di dati.

Roma, 30 ottobre 2019

Viviana Amati

Sara SIdoretti

ESPERIENZA 1 – CURVA DI RAFFREDDAMENTO DELL'ACQUA

Scopo dell'esperimento è la stima del tempo caratteristico della curva di raffreddamento dell'acqua.
L'esperimento è stato eseguito in modo tradizionale, usando un termometro ad alcool con sensibilità di 1°C e con una sonda termica digitale a immersione interfacciate a Arduino (ds18b20, range da -50°C a 125°C). Per il collegamento si veda la foto di sopra.

Riportiamo di seguito lo sketch utilizzato per la presa dei dati:

```
raffreddamento_1s_di_delay
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// pin di comunicazione
OneWire t1(2);
// dichiarazione del sensore
DallasTemperature s1(&t1);
void setup(void)
{
  // Inizializza la porta USB
  Serial.begin(9600);
  // Inizializza il sensore
s2.begin();
}
void loop(void)
{
  // chiede i dati al sensore
```

```
  unsigned long t = millis();
  s1.requestTemperatures();
  // scrive sul serial monitor il valore letto
  Serial.print(t);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(s1.getTempCByIndex(0));
  // aspetta 1 s
  delay(1000);
}
```

Abbiamo quindi versato 50ml di acqua calda in un pirottino di alluminio e vi abbiamo inserito la sonda termica e il termometro avendo cura di non far toccare agli strumenti le pareti del recipiente.

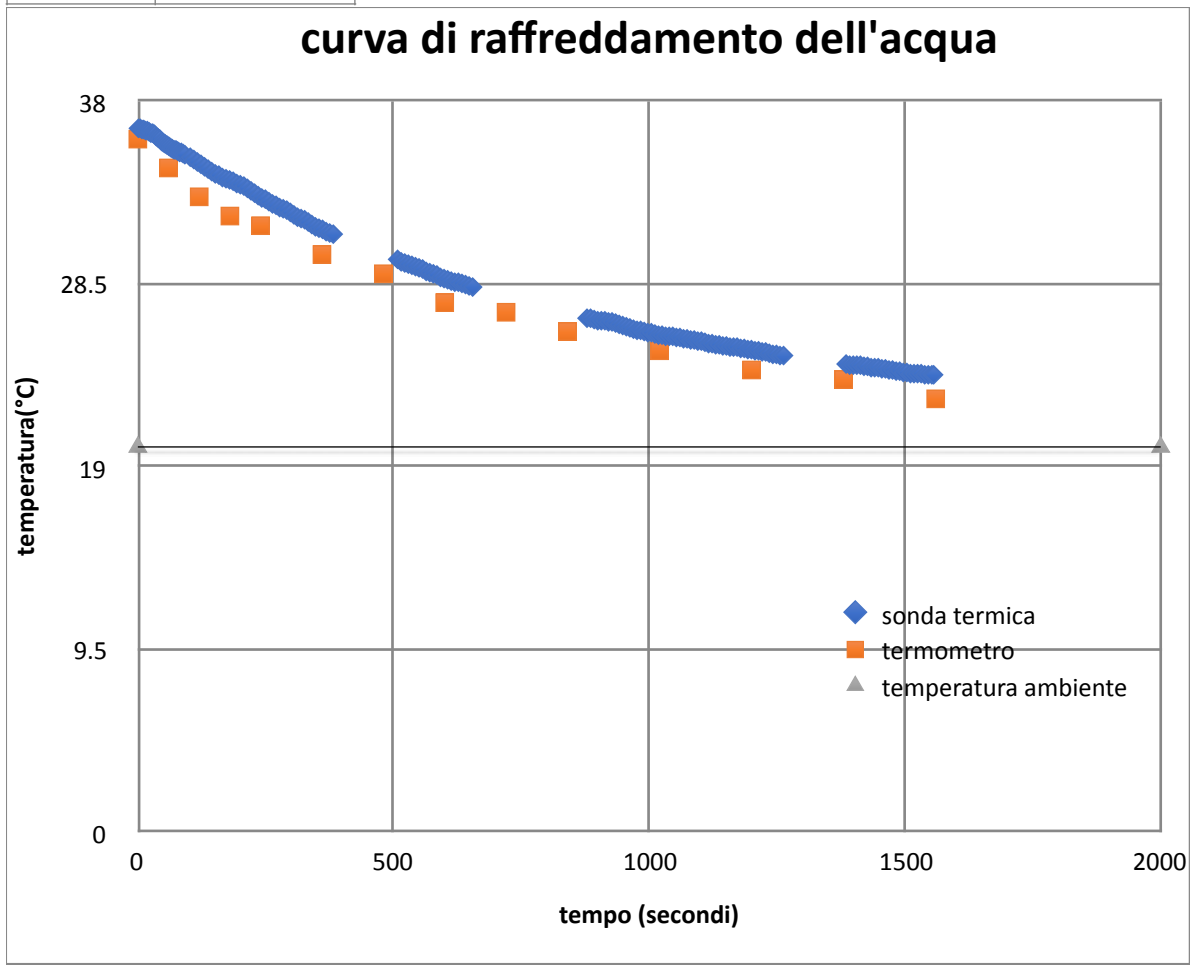
La temperatura iniziale era di circa 36°C, la temperatura ambiente di circa 20°C.

Abbiamo scelto in delay di 1000ms=1s, l'esperimento è durato circa 30 minuti.
I dati raccolti dalla sonda sono quindi moltissimi.
Questo ci ha permesso di verificare bene la regolarità nella distribuzione delle misure.
Per lo studio del grafico abbiamo poi ridotto i dati, selezionandone uno ogni quattro, quindi come se la misura fosse stata presa ogni 4 secondi.
Le misure con il termometro invece sono state prese all'inizio a intervalli di 1 minuto, poi abbiamo aumentato l'intervallo a 2 minuti e infine a 3 minuti.

Riportiamo sotto solo i dati presi con il termometro e il grafico excel con entrambe le serie di dati:

tempo (secondi)	Temperatura (°C)
0	36
60	34,5
120	33
180	32
240	31,5
360	30
480	29
600	27,5
720	27
840	26
1020	25

1200	24
1380	23,5
1560	22,5



Si osserva che le letture fatte con il termometro sono leggermente inferiori a quelle riportate dalla sonda.

Va detto che la lettura del termometro è soggetta ad errori di parallasse e che la corrispondenza tra tempo e lettura è sempre un po' spostata, cioè la lettura corrisponde sempre a un tempo in realtà maggiore di quello riportato. Ciò è dovuto al processo di interruzione del cronometro, lettura della temperatura e ripartenza del cronometro. Questo sfasamento si verifica ad ogni lettura, quindi alla fine assume un valore di una certa consistenza
Comunque non è da escludere un errore nella taratura della sonda, anche se era stata fatta una verifica all'inizio dei lavori.
Si nota che i dati registrati dalla sonda hanno in alcuni tratti delle interruzioni; probabilmente la registrazione ha subito dei brevi momenti di interruzione.

Per determinare la funzione che meglio approssima la curva e poi determinare la costante di tempo, abbiamo sollecitato i ragazzi a ragionare sull'andamento atteso e l'aspetto del grafico.
Domanda:
Cosa vi aspettate che accada continuando le misure per tempi più lunghi?
Risposta attesa:
comportamento asintotico verso la temperatura ambiente
Domanda:
La funzione che descrive la dipendenza della temperatura dal tempo potrebbe essere una retta?
Risposta attesa:
no, perché contraddice la risposta precedente
Domanda:
Quale funzione conoscete che descrive un andamento asintotico come quello osservato
Risposta attesa:
La funzione esponenziale con esponente negativo o la funzione y=1/x

La seconda si può scartare, perché ha anche un altro asintoto verticale, si può far riflettere che questo porta a una situazione inaccettabile.
Procediamo quindi a determinale la forma della funzione:

$$f(x) = a \cdot e^{-x/\tau} + b$$

le condizioni iniziali sono: T(0)= 36°C, T_{finale}=20°C, quindi:

$$T(t) = (T(0) - T_f) \cdot e^{-t/\tau} + T_f$$

Per determinare τ graficamente, abbiamo quindi proceduto alla linearizzazione della funzione:

$$T(t)-T_f=(T(0)-T_f)\cdot e^{-t/\tau} \quad \Rightarrow \quad \frac{T(t)-T_f}{T(0)-T_f}=e^{-t/\tau} \quad \Rightarrow \quad \ln\left(\frac{T(t)-T_f}{T(0)-T_f}\right)=-\frac{1}{\tau}\cdot t \quad \Rightarrow \quad y=-\frac{1}{\tau}\cdot t$$

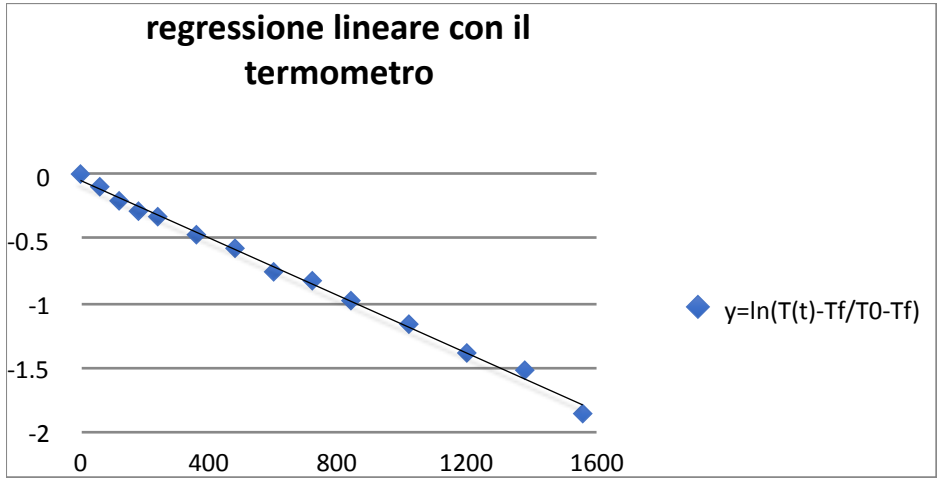
Abbiamo quindi calcolato le y e fatto la regressione lineare dei dati per determinare la costante di tempo τ

Di seguito i grafici e i valori stimati di τ

MISURA DI τ CON IL TERMOMETRO

Dati presi con il termometro	
tempo (secondi)	y
0	0
60	-0,09844
120	-0,20764
180	-0,28768
240	-0,33024
360	-0,47000
480	-0,57536
600	-0,75769
720	-0,82668
840	-0,98083
1020	-1,16315

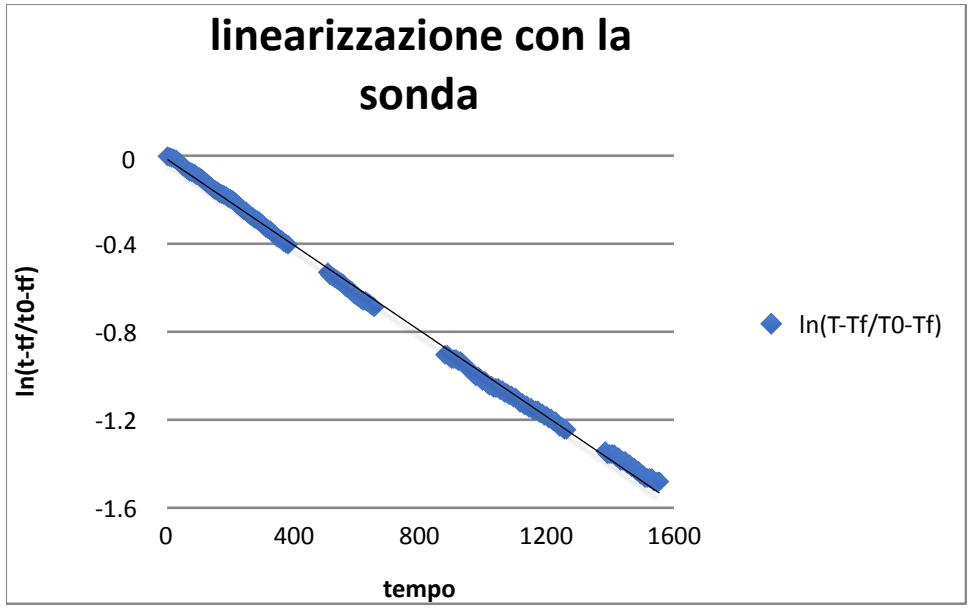
1200	-1,38629
1380	-1,51983
1560	-1,85630



In questo caso la costante di tempo stimata risulta essere di **896 secondi**

MISURA DI τ CON LA SONDA

Dati presi con la sonda	
tempo(s)	ln…
1	0
5	0
8	-0,003629768
12	-0,003629768
15	-0,007272759
19	-0,007272759
22	-0,010929071
26	-0,015211732
29	-0,015211732
33	-0,01889724
36	-0,026309257
40	-0,03065844
….	…..



In questo caso la costante di tempo stimata risulta essere di **<u>1019 secondi</u>**

Tra le due misure c'è una differenza del 5% circa.