

CALORE E TEMPERATURA

I fenomeni termici vengono trattati in tutti i libri di testo sia delle scuole medie inferiori che superiori, ma le schematizzazioni riportate si riferiscono per lo più a casi ideali, molto lontani sia dall'osservazione dei fenomeni della vita comune che da esperienze effettivamente realizzabili in un laboratorio didattico. Inoltre quasi sempre vengono descritte *situazioni all'equilibrio* senza entrare nel merito di come questo venga raggiunto, né di quali sono *tempi necessari* per poter parlare di equilibrio.

Nel seguito della scheda verranno descritte una serie di attività che si possono facilmente realizzare con strumentazione per l'acquisizione dati in tempo reale (RTL) - per esempio con l'interfaccia CBL e le calcolatrici grafiche TI89 o TI92 provviste del programma PHYSICS - corredata da:

- tre sonde per la temperatura ad asta rigida (codice MAD 8011)
- un apparecchio per lo studio della conducibilità termica (codice MAD 8203) costituito da
 - tre verghe di PVC, alluminio, ferro con fori adatti ad ospitare le sonde di temperatura
 - un supporto isolante per un bicchiere
 - un bicchiere di vetro
 - un tappo forato per il bicchiere
- un apparecchio per lo studio del raggiungimento dell'equilibrio termico tra solidi (codice MAD 8202) costituito da
 - un contenitore adiabatico con tappo forato
 - un cilindro cavo di alluminio
 - due cilindri pieni di alluminio e di ottone
- un apparecchio per lo studio dell'irraggiamento (codice MAD 8205) costituito da
 - ...
- un termos a pozzetto

Le attività proposte sono collegate tra loro e ben si prestano ad essere modificate dall'insegnante per essere meglio adattate alle caratteristiche dell'attività sperimentale della classe; esse costituiscono infatti soltanto alcuni esempi di indagini sperimentali che è possibile far svolgere agli studenti con questa attrezzatura.

Particolarmente efficace dal punto di vista didattico è far lavorare i gruppi su varianti della stessa esperienza. Dal confronto dei risultati ottenuti e dalla loro discussione gli studenti, guidati dal docente, potranno riorganizzare e sistematizzare i risultati della classe per costruire in modo più autonomo le loro conoscenze.

Per questo motivo per tutte le attività proposte vengono presentate alcune varianti.

[Attività 1: temperatura e sensazioni termiche](#)

[Attività 2: equilibrio termico](#)

[Attività 3: conduzione del calore nei solidi](#)

[Attività 4: convezione nei liquidi](#)

[Bibliografia](#)

Attività 1: temperatura e sensazioni termiche

Lo scopo è portare lo sperimentatore alla consapevolezza che le sensazioni di caldo e freddo rilevate dai nostri sensi non dipendono soltanto dalla temperatura degli oggetti ma anche dalla loro conducibilità termica e dalla temperatura iniziale del rilevatore (esperienza di Locke).

1.1. Caldo o freddo?

Eseguibile con

- tre sonde di temperatura
- apparato per la conducibilità

1.2. Esperienza di Locke

Eseguibile con

- tre sonde di temperatura
- tre bicchieri con acqua a diversa temperatura

1.1. Caldo o freddo?

In questa attività si chiede allo sperimentatore di confrontare le proprie sensazioni termiche col le misure fornite dai sensori; concettualmente è molto semplice, ma potrebbe essere complicato metterla in atto; infatti sono necessari oggetti di materiali diversi di cui sia facile misurare la temperatura, cioè che permettano un buon contatto termico con i misuratori. Le tre verghe fornite con l'apparato per la conducibilità termica, corredate dai termometri digitali, sono molto adatte a questo scopo. L'esperienza, pur nella sua semplicità richiede tuttavia qualche cura sperimentale; le verghe, infatti hanno una elevata capacità termica e occorre che effettivamente si trovino in equilibrio termico con l'ambiente. (vedi attività 2.1 - equilibrio termico)

Occorre innanzitutto misurare la temperatura ambiente. Le sonde in uso hanno una sensibilità nominale di 0.1°C.

Si predispose il sistema per l'acquisizione dati.¹

Sono state così ottenute le seguenti misure

14.37 ≈ 14.4

14.38 ≈ 14.4

14.26 ≈ 14.3

che mostrano che le tre sonde rilevano effettivamente la stessa temperatura a meno di 0.1°C.

Toccando le verghe si ha la sensazione che quella di pvc abbia una temperatura nettamente superiore alle altre due. Si possono ora inserire nelle verghe le sonde di temperatura.

Le misure ottenute sono

¹ Si collegano le tre sonde al CBL e questo alla calcolatrice grafica; si avvia il programma PHYSICS, e dopo avere predisposto le sonde (menù PREDISP. SONDE), si utilizza si sottomenù MONITORAGGIO del menù ACQUISIZIONE e si misura la temperatura ambiente leggendola direttamente sullo schermo della calcolatrice

14.46 \approx 14.5

14.58 \approx 14.6

14.59 \approx 14.6

Si può così verificare che oggetti che al tatto sembrano avere temperature diverse, in realtà hanno la stessa temperatura.

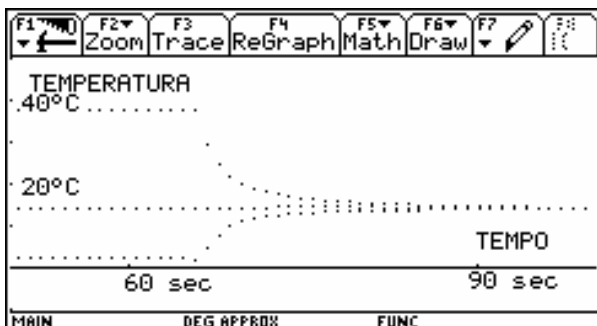
1.2. Esperienza di Locke

Con le sonde in dotazione si può riprodurre ed interpretare l'esperienza di Locke descritta in moltissimi libri di testo. Si preparano tre contenitori, il primo con acqua fredda (intorno ai 0°C), uno con acqua calda (intorno ai 50°C), il terzo con acqua ad una temperatura intermedia (intorno ai 15°C). Si immerge un dito nell'acqua calda e un altro nell'acqua fredda, poi entrambi nell'acqua tiepida. Le sensazioni termiche delle due dita, che pure si trovano immerse in uno stesso liquido a temperatura uniforme, sono differenti.

Utilizzando le sonde di temperatura si può simulare la situazione nella quale si sono trovate le due dita. Inizialmente si immergono le sonde nei tre bicchieri con acqua a diversa temperatura e si avvia il sistema di acquisizione dati².

Dopo circa un minuto si immergono tutte e tre le sonde nel bicchiere che contiene acqua a temperatura intermedia.

Nel grafico seguente viene riportato l'intervallo temporale di maggiore interesse della misura, la cui durata globale è stata di 4 minuti.



Dal grafico ottenuto è ben visibile il regime transitorio dei due sensori, l'uno che si riscalda e l'altro che si raffredda. Si può così spiegare che le sensazioni di caldo e freddo sono dovute, oltre alla conducibilità dei materiali, anche alla temperatura iniziale delle nostre mani. La sensazione di *freddo* o di *caldo* è infatti essenzialmente dovuta al fatto che l'oggetto toccato *sottrae* o *cede* energia termica alla mano.

Questa esperienza è riportata in diversi testi di laboratorio (Bertolotto et al.)

² Si collegano le tre sonde al CBL e questo alla calcolatrice grafica; si avvia il programma PHYSICS, e dopo avere predisposto le sonde (menù PREDISP. SONDE), si utilizza il sottomenù GRAFICO vs TEMPO del menù ACQUISIZIONE; l'intervallo tra i campionamenti in secondi è 1; il numero di campionamenti è 240; l'acquisizione dura quindi complessivamente 4 minuti. Per visualizzare i tre grafici insieme occorre lavorare in ambiente DATA/MATRIX.

Un'altra osservazione importante è legata al fatto che le sonde, come del resto tutti i misuratori di temperatura, hanno un tempo di risposta non trascurabile. In questo caso, ad esempio, le sonde forniscono una temperatura ragionevolmente vicina alla temperatura del liquido nelle quali sono immerse dopo almeno 30 secondi. Ciò dovrebbe far riflettere sul senso delle misure di temperatura risolte in tempo quando gli intervalli di campionamento diventano molto brevi. Nel caso appena presentato è evidente che la sonda rileva la sua propria temperatura e non quella del liquido nel quale è immersa. Il grafico sperimentale infatti dimostra che la sonda che era immersa nell'acqua calda *cede* calore (raffreddandosi) quando viene immersa nell'acqua a temperatura intermedia, mentre la sonda che era immersa nell'acqua fredda *riceve* calore (riscaldandosi).

Anche attraverso queste due attività lo sperimentatore dovrebbe essere indotto ad acquisire il fatto che le sensazioni di caldo e freddo sono legate all'energia in transito (calore) e non solamente alla temperatura del corpo. Ciò dovrebbe aiutare a non confondere, come spesso accade (Arons), i concetti di calore e temperatura.

Attività 2. Equilibrio termico

Il concetto di equilibrio termico è allo stesso tempo semplice e complesso. Nella maggior parte dei libri di testo viene presentata una situazione in cui due corpi a temperatura diversa vengono posti in contatto e si scambiano energia sotto forma di calore. In realtà questa è una situazione estremamente semplificata rispetto a ciò che è vicino all'esperienza comune. Una situazione più familiare, anche se non priva di sorprese, è quella di un oggetto caldo che lasciato nell'ambiente esterno si raffredda sino a raggiungere la sua temperatura. I tempi coinvolti in questo genere di processo sono più lunghi di quanto ci si potrebbe aspettare. Sono quindi questi i primi casi che in questa scheda vengono sottoposti all'attenzione dello sperimentatore.

In casi in cui i processi sono lenti è estremamente comodo poter utilizzare un acquisitore automatico di dati, che si fa carico di un lavoro ripetitivo e ci lascia del per progettare esperienze e per interpretare i risultati.

Vengono di seguito illustrate alcune attività sperimentali il cui obiettivo è far acquisire allo sperimentatore la consapevolezza che

- gli scambi di calore possono avvenire in molti modi diversi
- il raggiungimento dell'equilibrio termico non è istantaneo (vedi anche attività 1.2 sulla risposta delle sonde), ma può richiedere tempi anche molto lunghi
- gli oggetti che si raffreddano con difficoltà, si scaldano con altrettanta difficoltà
- per verificare la conservazione dell'energia termica occorre far avvenire la trasmissione di calore in un ambiente adiabatico, oppure occorre tenere conto delle variazioni di temperatura di tutti gli oggetti coinvolti.

2.1. Raffreddamento e riscaldamento delle verghe

Eseguibile con

- due verghe metalliche dell'apparato per la conducibilità termica
- tre sonde di temperatura

2.2 Raffreddamento o riscaldamento di un bicchiere d'acqua

Eseguibile con

- un bicchiere d'acqua calda
- una sonda di temperatura

2.3 Raffreddamento di un foglio di alluminio

- un foglio di alluminio
- una sonda di temperatura

2.4 Equilibrio termico tra solidi

- apparato per lo studio dell'equilibrio termico tra solidi
- due sonde di temperatura
- un elemento riscaldatore

2.5 Equilibrio termico tra liquidi

- due sonde di temperatura
- due palloncini
- un thermos a pozzetto

2.6 Equilibrio termico tra solidi e liquidi

- apparato per lo studio dell'equilibrio termico tra solidi
- due sonde di temperatura
- un sacchetto da freezer

2.1.1. Raffreddamento delle verghe

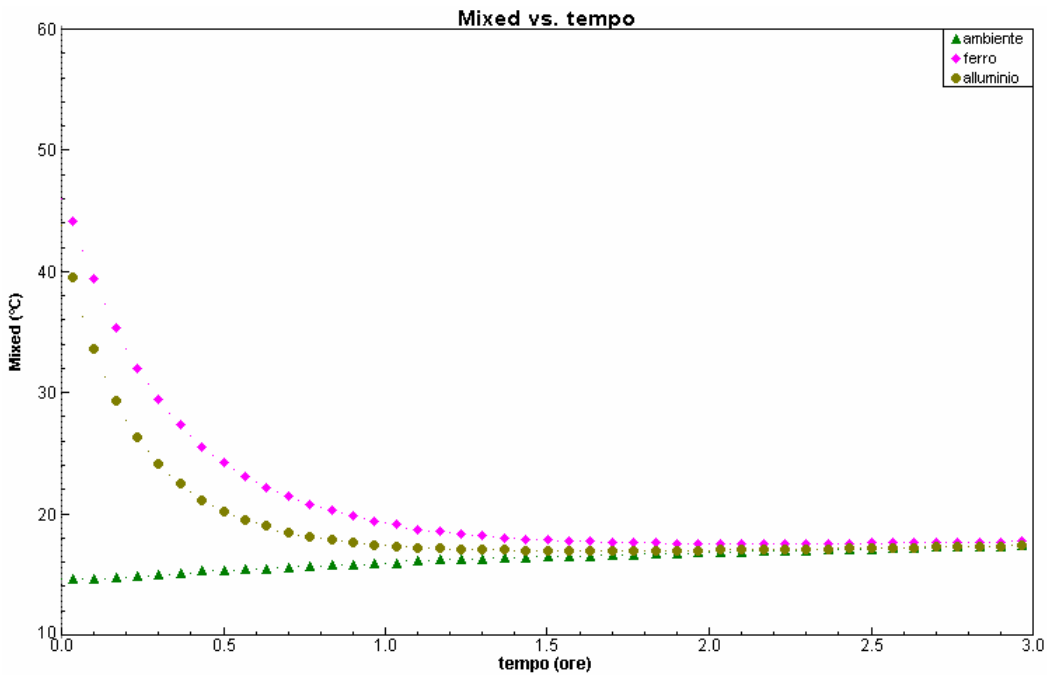
Le due verghe metalliche dell'apparato per lo studio della conducibilità vengono riscaldate, per esempio lasciandole per qualche decina di minuti immerse in un recipiente contenente acqua calda.

Vengono quindi lasciate raffreddare nell'ambiente esterno e si inizia l'acquisizione dei dati³.

Si rilevano la temperatura ambiente e quella delle due verghe per tre ore.

Il grafico sotto riportato è stato ottenuto col programma Graphical Analysis della Vernier, che consente di prelevare direttamente i dati sperimentali dalle calcolatrici.

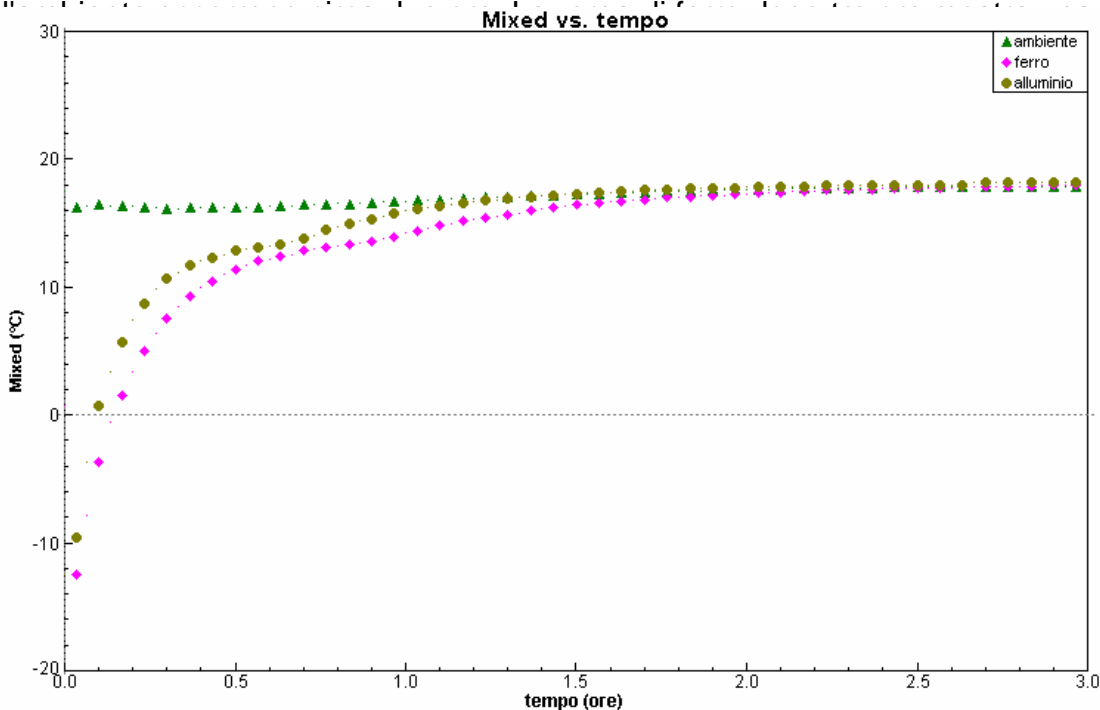
³ Si procede come per l'esperienza precedente; l'intervallo tra i campionamenti in secondi è 120; il numero di campionamenti è 90; l'acquisizione dura complessivamente 3 ore. Se si vuole utilizzare il programma Graphical Analysis occorre salvare i dati con questa opzione (dal menù SALVA, salva nuova var., occorre rispondere SI alla domanda SALVO per Graph. Analysis)



Nella tabella seguente vengono riportati alcuni dati sperimentali

tempo (ore)	T ambiente (°C)	T ferro (°C)	T alluminio (°C)
0	14.6	46.0	43.8
0,5	15.4	24.2	20.2
1	16.0	19.2	17.4
1,5	16.5	17.9	17.0
2	16.8	17.5	16.9
2,5	17.1	17.7	17.2
3	17.4	17.8	17.4

E' interessante notare come i tempi necessari affinché si possa parlare di equilibrio termico con l'ambiente siano tutt'altro che brevi. Per l'alluminio, che ha una conducibilità termica più elevata per ottenere temperature uguali a meno del decimo di grado con



temperatura

Ila misura

Come si può veder dal grafico la verga di alluminio raggiunge l'equilibrio termico prima di quella di ferro. Questo è spiegato dal fatto che la conducibilità termica dell'alluminio ($k_{Al}=239 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$) è maggiore di quella del ferro ($k_{Fe}=80 \text{ W/}^\circ\text{Cm}$) e inoltre la capacità termica ($C=mc=\rho Vc$) di un oggetto di ferro è maggiore di quella di un oggetto di alluminio con lo stesso volume V . Infatti il calore specifico dell'alluminio è $c_{Al}=846 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, mentre quella del ferro è $c_{Fe}=450 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, e le densità sono rispettivamente $\rho_{Al}=2675 \text{ kgm}^3$, e $\rho_{Fe}=7897 \text{ kgm}^3$. Il rapporto tra le due capacità termiche ($C_{Fe}/C_{Al}=\rho_{Fe}c_{Fe}/\rho_{Al}c_{Al}$) è quindi circa 1.6. A parità di variazione di temperatura ΔT e volume V l'energia termica da trasferire ($Q=\rho cV\Delta T$) è maggiore per la verga di ferro, e la velocità di trasferimento di tale energia tra la parte centrale delle verghe e la loro superficie in contatto termico con l'ambiente è maggior nel caso dell'alluminio, che ha maggior conducibilità termica.

2.2. Raffreddamento o riscaldamento di un bicchiere d'acqua

I tempi si fanno estremamente più lunghi se invece utilizzare oggetti di metallo si utilizza un bicchiere d'acqua. E' interessante vedere quali siano le stime dei tempi necessari per raggiungere l'equilibrio termico fatte non solo dagli studenti ma anche dai colleghi...

Si mette un po' d'acqua calda in un bicchiere e si avvia l'acquisizione delle temperature sia dell'acqua che dell'ambiente esterno. La determinazione del tempo necessario è lasciata alla curiosità dello sperimentatore.

2.3. Raffreddamento di un foglio di alluminio

Questa esperienza è stata già ben descritta (Foà O., 1998); è un interessante esempio di come il raggiungimento dell'equilibrio termico possa essere modellizzato con una funzione esponenziale e riporta una guida passo passo per questo tipo di analisi con le calcolatrici grafiche in uso.

A differenza dei casi precedentemente descritti l'oggetto utilizzato, un foglio di alluminio per uso alimentare, si raffredda rapidamente perché esso presenta un basso rapporto tra massa (ovvero capacità termica) e superficie esposta. Questo sistema è quindi molto adatto ad essere studiato in un'unica lezione di laboratorio.

L'articolo citato viene riportato in appendice.

2.4. Equilibrio termico tra solidi

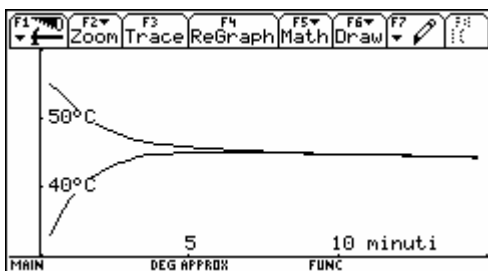
Tra le attività di seguito descritte, solo le prime due si avvicinano abbastanza alla situazione che più di frequente viene descritta nei testi scolastici, in cui due corpi a diversa temperatura vengono posti in contatto tra loro e raggiungono l'equilibrio termico.

I tre cilindri metallici del kit per lo studio dell'equilibrio termico sono fatti in modo da consentire un ottimo scambio di calore e possono essere contenuti in un recipiente isolato termicamente: permettono perciò di riprodurre abbastanza bene le situazioni descritte e di verificare - anche se in modo non immediato - la relazione fondamentale della calorimetria.

2.4.1. Cilindro di alluminio cavo - cilindro di alluminio pieno in ambiente adiabatico

Il cilindro di alluminio pieno è stato portato ad una temperatura prossima ai 60°C e rapidamente inserito all'interno del cilindro cavo, che si trova a temperatura ambiente, e a sua volta è contenuto nel recipiente isolato.

Occorre predisporre il sistema⁴ e collegare le due sonde al CBL e quindi inserirle negli appositi fori dei due cilindri. Prima di iniziare la misura è bene aspettare qualche minuto perché il sistema si stabilizzi. In queste condizioni l'equilibrio termico viene raggiunto in un tempo inferiore al quarto d'ora, come si può osservare dal grafico registrato durante la misura.



Poiché i due oggetti hanno circa la stessa massa e quindi stessa capacità termica, ci si aspetta che la temperatura all'equilibrio, ed anche istante per istante, sia pari alla media aritmetica delle temperature iniziali.

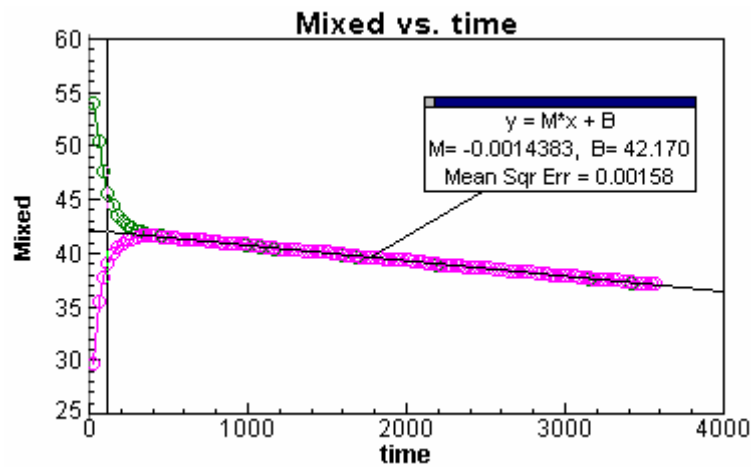
Si registra invece che la media tra le due temperature decresce al passare del tempo.

Dalla tabella dati

tempo (minuti)	temperatura 1	temperatura 2	media
1	52.3	38.2	45.2
5	45.8	45	45.4
10	44.8	44.8	44.8
15	44.3	44.2	44.3

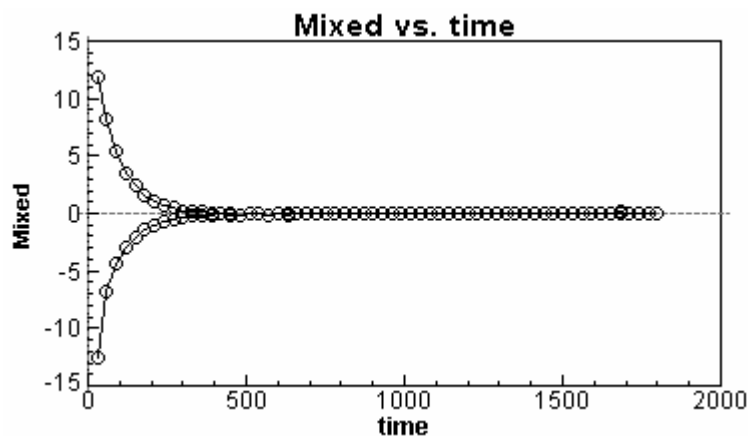
Ciò è dovuto al fatto che il sistema non è perfettamente isolato come si può verificare analizzando i dati registrati per un tempo lungo dopo che i due corpi hanno raggiunti l'equilibrio termico. Per utilizzare questo apparato come un calorimetro per solidi, occorre tenere conto di questo andamento ed effettuare alcune correzioni ai dati sperimentali. Il grafico riportato è stato ottenuto con una misura della durata di un'ora.

⁴ Si procede come per le esperienze precedenti; l'intervallo tra i campionamenti in secondi è 20; il numero di campionamenti è 45; l'acquisizione dura complessivamente 15 minuti.



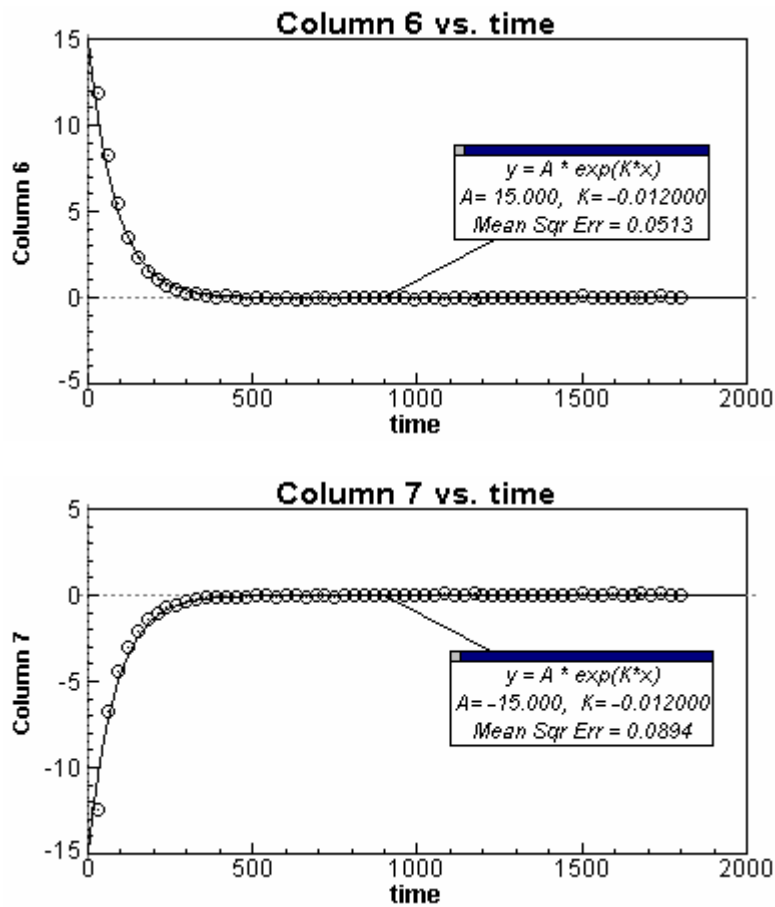
Conviene effettuare queste correzioni con un programma di elaborazione dati, per esempio Graphical Analysis. Dal grafico si vede chiaramente che la dinamica del raffreddamento del sistema nel suo complesso ha un andamento lineare; interpolando la parte finale dei dati si può determinare l'equazione della retta che descrive questo andamento.

Calcolando la differenza tra le temperature misurate e i valori interpolati ($\Delta T1$ e $\Delta T2$) si ottiene una curva 'raddrizzata', a valore medio nullo, nella quale risulta maggiormente evidente la simmetria del sistema.



Il modello matematico che descrive le due curve è una funzione esponenziale decrescente nel tempo, del tipo $Y = A \cdot \exp(-kx)$ (Foa et al; Branca et al. 2001, riportati in appendice).

All'interno del programma di elaborazione dati in uso è possibile parametrizzare queste funzioni. I grafici seguenti mostrano il modello matematico sovrapposto ai dati sperimentali ed il valore dei parametri per i due corpi.

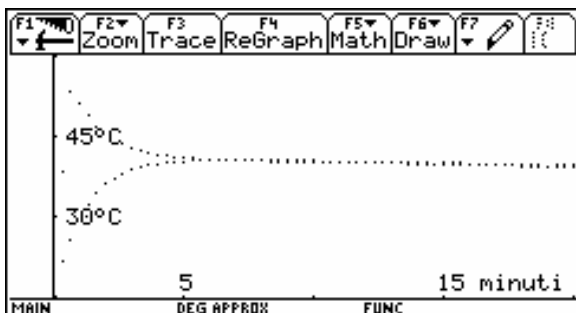


I due modelli matematici sono tra loro simmetrici; il loro andamento rispecchia la simmetria del sistema dovuta al fatto che i due corpi, avendo all'incirca la stessa massa ed essendo costituiti dallo stesso materiale hanno capacità termiche circa uguali.

2.4.2.. Cilindro di alluminio cavo - cilindro di ottone pieno

Una misura leggermente più complessa come interpretazione può essere effettuata utilizzando, invece del cilindro di alluminio, il cilindro di ottone. Si ripete esattamente la stessa procedura dell'esperienza precedente e si ottiene il seguente grafico.

Il primo punto della parte discendente del grafico è dovuto al fatto che la sonda non si trova ancora in equilibrio termico con l'oggetto. Per evitare questo inconveniente bisogna aver cura di inserire la sonda nel foro mentre il cilindro di ottone viene riscaldato. Per le successive elaborazioni dati questo punto non verrà preso in considerazione.



La temperatura all'equilibrio non differisce molto dalla media aritmetica delle temperature iniziali dei due cilindri (appena 0.2° C), ma anche questa volta è osservabile un raffreddamento del sistema.

tempo	temp. ottone (°C)	temp. alluminio (°C)	media (°C)
40 sec	53.3	25.8	39.6
2 min	45.6	36.1	
3 min	43.0	38.7	
15 min	39.7	39.8	39.8

Per poter inquadrare meglio la situazione occorre valutare le capacità termiche dei due oggetti in questione:

	Cilindro alluminio cavo	Cilindro ottone
Massa	392 g	986 g
Densità	2.7 g/cm ³	8.7 g/cm ³
Calore specifico	0.846 J/g°C	0.38 J/g°C
Capacità termica	338 J/°C	375 J/°C
Conducibilità termica	239 W/m/°C	61 W/m/°C

Le capacità termiche, nel seguito indicate con C1 e C2, non sono quindi così differenti come si potrebbe pensare, dato che la densità maggiore dell'oggetto in ottone è in parte compensata dal suo minor calore specifico.

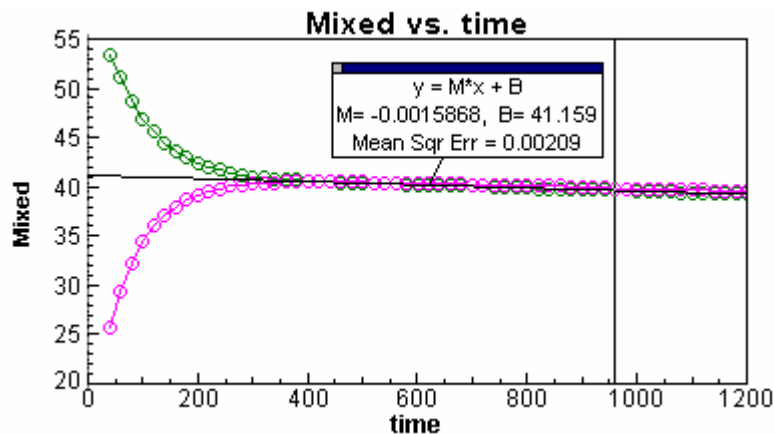
Applicando la relazione fondamentale della calorimetria, secondo cui il calore Q1 ceduto dal primo corpo è uguale al calore Q2 assorbito dal secondo, se è trascurabile il calore ceduto all'ambiente.

poiché $Q1 = C1 \cdot \Delta T1$
e $Q2 = C2 \cdot \Delta T2$ e quindi $C1 \cdot \Delta T1 = C2 \cdot \Delta T2$

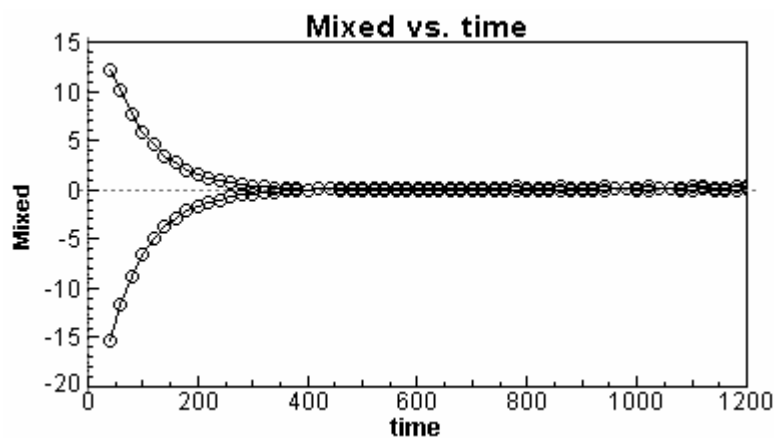
risulta che $\Delta T1 / \Delta T2 = C2 / C1$

nel nostro caso poiché $C2 / C1 \approx 1,1$ ci aspettiamo un rapporto $\Delta T1 / \Delta T2$ dello stesso ordine di grandezza.

Anche questa volta dal grafico si vede chiaramente che il calore ceduto all'ambiente non è del tutto trascurabile e la dinamica del raffreddamento del sistema nel suo complesso ha un andamento lineare; interpolando la parte finale dei dati si può determinare l'equazione della retta che descrive questo andamento.

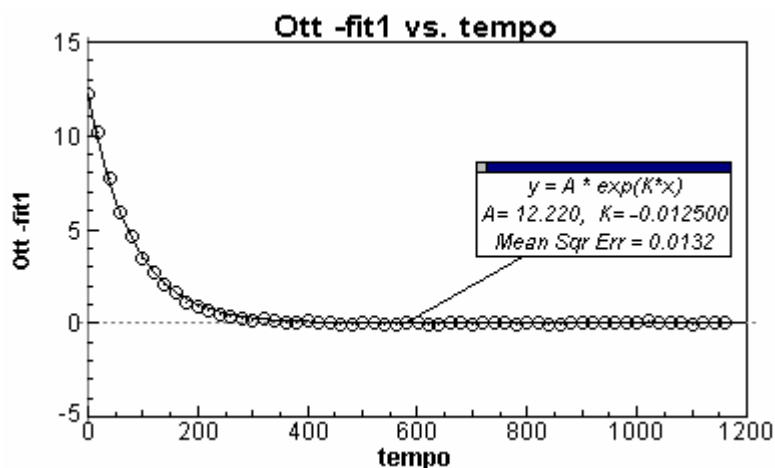
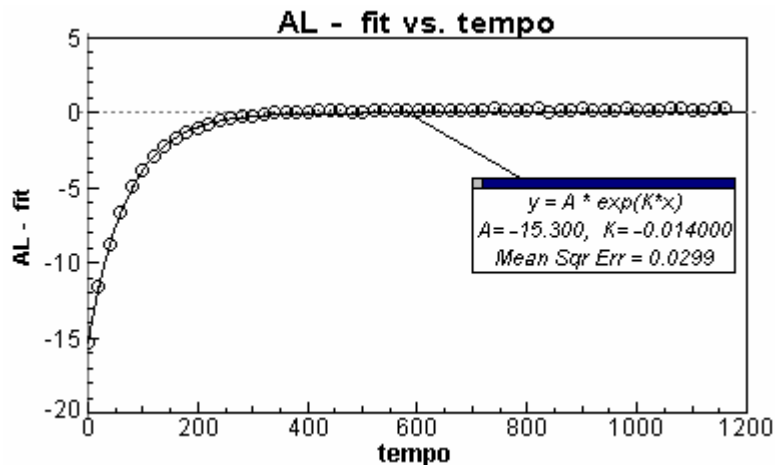


Calcolando la differenza tra le temperature misurate e i valori interpolati ($\Delta T1$ e $\Delta T2$) si ottiene una curva 'raddrizzata', come nel caso precedente.



Questa volta però si nota una certa asimmetria che può meglio essere posta in evidenza cercando il modello matematico per le due curve.

Facendo uso del programma di elaborazione dati è possibile parametrizzare queste funzioni. I grafici seguenti mostrano il modello matematico sovrapposto ai dati sperimentali ed il valore dei parametri per i due corpi, effettuate le correzioni e traslato l'asse dei tempi.



In questo secondo caso si vede che i due modelli matematici non sono tra loro simmetrici; il loro andamento rispecchia asimmetria del sistema dovuta al fatto che i due corpi non hanno esattamente la stessa capacità termica, né la stessa conducibilità termica. La maggior capacità termica e minor conducibilità dell'ottone corrisponde ad una costante di tempo maggiore.

Se si analizzano le differenze di temperatura $\Delta T1$ e $\Delta T2$ (in valore assoluto) rispetto alla temperatura di equilibrio in diversi momenti della misura si ottengono dei risultati in buon accordo con la teoria, come mostrato nella tabella seguente

tempo	$\Delta T1$	$\Delta T2$	$\Delta T1/\Delta T2$
0	12.1	15.3	1.2
20	10.1	11.7	1.1
40	7.7	8.9	1.1
60	5.9	6.6	1.1
80	4.6	4.9	1.1

100	3.4	3.8	1.1
120	2.7	2.9	1.1
140	2.1	2.2	1.1
160	1.6	1.7	1.1
180	1.1	1.2	1.1
200	0.9	1.0	1.1

2.5. Equilibrio termico tra liquidi

Questa esperienza è stata già descritta (Branca M. et al 2000, riportato in appendice); è un interessante esempio di come il raggiungimento dell'equilibrio termico tra liquidi possa essere studiato con le calcolatrici grafiche e l'apparato di acquisizione in uso.

2.6. Equilibrio termico tra solidi e liquidi

L'apparato sperimentale può essere usato anche per studiare la dinamica di equilibrio tra il cilindro cavo di alluminio e dell'acqua.

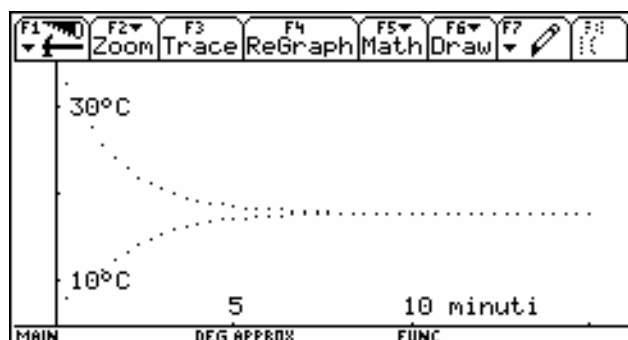
Nella misura descritta di seguito il cilindro cavo di alluminio è stato leggermente scaldato (40°C circa) e posto all'interno del contenitore coibentato. In una bustina da freezer si sono versati circa 160g di acqua fredda (circa 5°C). Per l'acquisizione dati si è scelta la stessa modalità dei casi precedenti.

Questa volta le capacità termiche sono molto diverse:

	Cilindro alluminio cavo	Acqua
Massa	392 g	163 g
Calore specifico	0.846 J/g°C	4,18 J/g°C
Capacità termica	338 J/°C	681 J/°C

Il loro rapporto $C1/C2$ risulta circa uguale a 2, per cui si aspetta che il rapporto tra le variazioni di temperatura $\Delta T2/\Delta T1$ abbia lo stesso ordine di grandezza ed il grafico sperimentale sia visibilmente asimmetrico.

Questo il grafico ottenuto con una misura della durata di 15 minuti:



Attività 3: Conduzione del calore nei solidi

L'obiettivo di queste attività è mostrare che l'energia termica può fluire attraverso alcuni tipi di materiali solidi (conduttori termici) e non attraverso altri (isolanti termici). Mostra inoltre che anche i conduttori si comportano in modo differente l'uno dall'altro; il calore si propaga con velocità diverse nel ferro e nell'alluminio.

Le esperienze sono eseguibili con

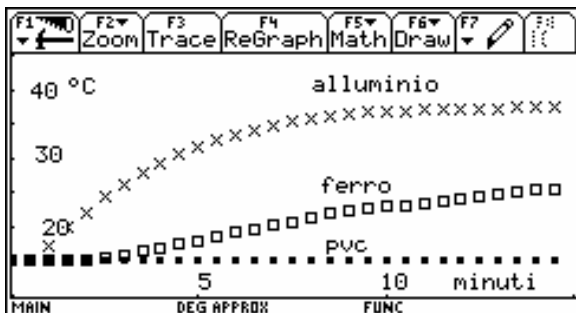
- tre verghe metalliche dell'apparato per la conducibilità termica
- tre sonde di temperatura

3.1.1. Esperienza di base: verghe immerse in acqua calda

Le tre verghe di materiali differenti (alluminio, ferro, pvc) sono preparate in modo da poter ospitare al loro interno le sonde di temperatura fornite col kit e da essere sostenute dal coperchio del bicchiere, a sua volta fornito di un supporto.

L'esperienza più semplice consiste nell'immergerle simultaneamente nel bicchiere precedentemente riempito con acqua calda.

Il grafico riportato si riferisce ad una misura della durata di 15 minuti; le misure di temperatura sono state rilevate ogni 30 secondi per 30 volte.



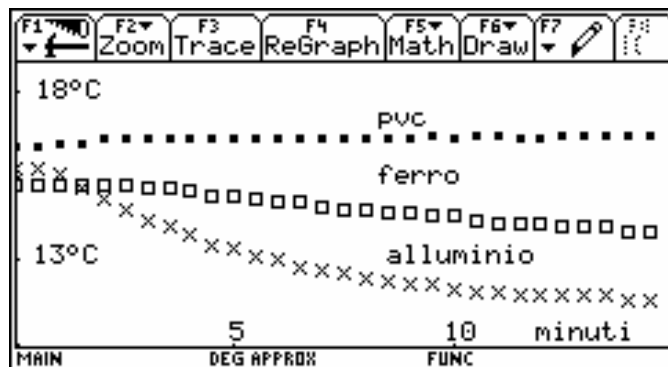
Si può osservare che:

- la temperatura della verga di pvc praticamente rimane costante
- la temperatura della verga di alluminio è quella che cresce più rapidamente e sembra approssimarsi ad una temperatura limite
- la temperatura della verga di ferro è intermedia tra le due; si può anche notare come inizi a scaldarsi in ritardo rispetto a quella di alluminio; la sua temperatura inizia a variare in modo apprezzabile rispetto alla temperatura iniziale circa un minuto in ritardo rispetto alla verga di alluminio.

3.1.2. Verghe immerse in acqua fredda

Per questa esperienza è meglio utilizzare un thermos invece del bicchiere in modo che la temperatura dell'acqua non vari troppo durante la misura. Occorre assicurarsi che le verghe abbiano raggiunto l'equilibrio termico con l'ambiente (il che avviene in tempi assai più lunghi di quanto di quanto ci si potrebbe aspettare, vedi anche attività 2.1.1 e 2.1.2). Il thermos viene riempito di acqua fredda prelevata da un contenitore con acqua e ghiaccio. E' bene che non siano presenti cubetti di ghiaccio in modo che la temperatura sia abbastanza uniforme all'interno del thermos.

Le condizioni di raccolta dati sono le stesse dell'esperienza precedente



Questa seconda misura conferma e rafforza le considerazioni fatte in precedenza. E' da notare che le scale di temperatura sono diverse.

Nota: potrebbe essere interessante far cercare agli studenti su un Handbook (Andersen et al) le conducibilità dei materiali usati

conducibilità termica del ferro:	80 W/m·°C
conducibilità termica dell'alluminio:	239 W/m·°C
conducibilità termica del PVC	0,12-0,17 W/m·°C

e farli confrontare con conducibilità di altri materiali di uso comune.

Attività 4: convezione nei liquidi

Alcuni esempi di misure adatte a porre in evidenza la convezione dei liquidi con l'apparecchiatura a disposizione sono in pubblicazione (Soletta et al, 2002).

Bibliografia

Andersen E.S., Jespersgaard P., Østergaard O.
Data Book
Edizione Studio Tesi, 1985

Arons A.B
Guida all'insegnamento della fisica
Zanichelli, 1992

Bertolotto, Casella, Mani, Marucchi, Moro, Rondi
Il computer nel laboratorio di fisica – volume 2° - pagine 87 e seguenti
Pubblicazione del MPI anno di pubblicazione non indicato

Branca M., Soletta I.,
Esperimenti on-line sull'equilibrio termico
Ipotesi, n.1, 2001

Foà O., Rambelli A.
Raffreddamento di un corpo, 1998
nel CD 'Risorse per la didattica della matematica e delle scienze con le nuove tecnologie'
ADT 2001

Soletta I., Branca M.
Dilatazione termica: il comportamento anomalo dell'acqua
inviato ad Ipotesi, 2001

Appendice 1 – sintesi dell'articolo

Foà O., Rambelli A.

Raffreddamento di un corpo, 1998

nel CD 'Risorse per la didattica della matematica e delle scienze con le nuove tecnologie'
ADT 2001

Viene descritto come studiare il raffreddamento di un corpo ad elevata conducibilità termica e modesta capacità termica, cioè un foglio di alluminio.

Esso viene scaldato con un asciugacapelli e poi lasciato raffreddare nell'ambiente. Una sonda posta al suo interno, collegata con il sistema di acquisizione dati CBL + calcolatrice grafica, permette di registrare le temperature durante il raffreddamento, che dura pochi minuti.

Gli autori propongono una guida passo-passo per costruire un modello matematico che descriva il sistema e confrontarlo con i dati sperimentali ottenuti. Viene utilizzato un ambiente tipo 'foglio di calcolo' residente nella calcolatrice.

Appendice 2 – sintesi dell'articolo

Branca M., Soletta I.,

Esperimenti on-line sull'equilibrio termico

Ipotesi, n.1, 2001

Riporta alcune considerazioni sullo scambio di calore tra liquidi in ambiente adiabatico.

All'interno di un thermos a pozzetto viene messa dell'acqua ad una certa temperatura; in essa viene immerso un palloncino contenente dell'altra acqua o un altro liquido a temperatura diversa. I due sistemi, avendo temperature inizialmente diverse, scambiano calore, sino a raggiungere l'equilibrio termico. Utilizzando due sonde di temperatura (collegate con il sistema di acquisizione dati CBL + calcolatrice grafica) l'una posta nell'acqua contenuta nel thermos, l'altra all'interno del palloncino, si può seguire la dinamica del raggiungimento dell'equilibrio, modellizzare le due curve, fare alcune osservazioni sulla simmetria o la asimmetria dei fenomeni di riscaldamento e raffreddamento dei due sistemi.

Appendice 3 – sintesi dell'articolo

Soletta I., Branca M.

Dilatazione termica: il comportamento anomalo dell'acqua
inviato ad Ipotesi, 2001

Illustra un semplice metodo per porre in evidenza che l'acqua ha un comportamento anomalo rispetto alla dilatazione termica, ossia che essa presenta un massimo di densità intorno alla temperatura di circa 4°C. La misura si realizza con tre sonde di temperatura immerse in acqua fredda contenuta in un cilindro. Col sistema di acquisizione dati è possibile seguire la dinamica del riscaldamento del sistema e fare alcune considerazioni sulle correnti convettive nei liquidi. Viene riportato un confronto tra il comportamento dell'acqua e dell'alcol.