

## L'evaporazione dell'acqua: misurazioni on-line e modellizzazione

Michele D'Anna Liceo cantonale di Locarno  
danna@lilo.lic.ti-edu.ch

Lässt man einen mit Wasser gefüllten Behälter für längere Zeit in Luft mit konstanter Temperatur stehen, so sinkt die Temperatur des Wassers unter die Temperatur der umliegenden Luft. Die Temperaturdifferenz, die erst nach einigen Stunden einen nahezu konstanten Wert erreicht, kann je nach Behälter, Luftfeuchtigkeit und Ventilation einige Grade betragen und lässt sich mit computergesteuerten Geräten messen und protokollieren. Gleichzeitig wird mit einer empfindlichen Waage die verdunstete Wassermenge erfasst. Im Beitrag wird gezeigt, wie die gemessene Temperatur-Zeit-Kurve mit Hilfe von Stella, einem Computerprogramm zur Simulation von dynamischen Systemen, modelliert werden kann. Durch Veränderung der Gefäßeigenschaften (Form, Füllgrad, Porösität der Wand, ...) und der Flüssigkeit (Wasser, Alkohol...) können sehr instruktive Messerien durchgeführt werden. Im Modell wird der thermische Widerstand den Messergebnissen optimal passt. Es ist vor allem die Synthese von deduktivem und induktivem Vorgehen, die diese Art von Schülerversuchen für das Schwerpunktfach PAM besonders wertvoll macht. Zudem hat man bei diesem Versuch die seltene Möglichkeit, ein offenes System quantitativ zu untersuchen.

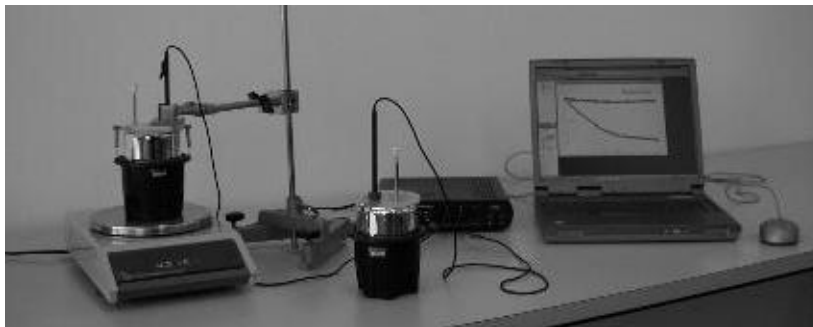
### 1. La temperatura dell'acqua contenuta in un recipiente

Una certa quantità di acqua si trova da lungo tempo in un recipiente aperto: sperimentalmente è facile verificare che la sua temperatura pu essere sensibilmente inferiore a quella dell'aria circostante. L'entità di questa differenza dipende dalla forma e dalle caratteristiche del recipiente considerato nonché dal grado di umidità relativa e dalla ventilazione dell'ambiente circostante. Per una spiegazione qualitativa di queste osservazioni è sufficiente ricordare che il fenomeno dell'evaporazione è spontaneo ed endotermico, ossia tende a far diminuire la temperatura del sistema al di sotto di quella ambientale, mentre il contatto termi-

co con l'aria circostante crea, in queste condizioni, un flusso nella direzione opposta: è pertanto ragionevole attendersi che dopo un certo tempo la temperatura dell'acqua raggiunga un valore stazionario, più basso della temperatura ambientale.

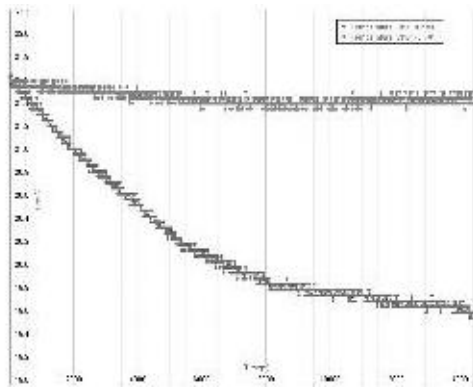
### 2. Uno studio sperimentale e le relative misure

Per lo studio quantitativo del processo che porta all'instaurarsi di un tale stato termico stazionario, possiamo servirci dell'apparecchiatura raffigurata sotto: ciascun recipiente è munito di una sonda termometrica che permette di registrare l'andamento della temperatura in funzione del tempo.



Dopo che nei due calorimetri è stata inserita una certa quantità di acqua, essi vengono chiusi con un coperchio e lasciati riposare per alcune ore; in questo modo i due recipienti raggiungono una situazione di equilibrio termico con l'ambiente circostante. In seguito uno dei due recipienti viene scoperto e posto su di una bilancia sufficientemente sensibile, allo scopo di determinare la massa di acqua che evapora in funzione del tempo; l'altro servirà unicamente come riferimento e controllo.

Con l'apparecchiatura raffigurata la situazione stazionaria viene raggiunta dopo alcune ore: la temperatura dell'acqua nel recipiente scoperto è scesa di circa  $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  rispetto alla temperatura ambientale. I dati riportati sotto sono stati raccolti per 4 ore con una frequenza di campionamento di 10 secondi.



### 3. La modellizzazione

Un modello dinamico per il processo in questione è rappresentato qui di seguito: esso si basa sul bilancio energetico relativo all'acqua contenuta nel recipiente; come visto in precedenza, occorre tener conto di due distinti fattori: da una parte vi è il processo endotermico dell'evaporazione (determinato sostanzialmente dalla quantità di acqua che evapora per unità di tempo), dall'altra il contributo della conduzione termica dall'ambiente verso il recipiente (determinato essenzialmente dal gradiente di temperatura momentaneo e dalla resistenza termica complessiva). Il valore della quantità di acqua che via via evapora è inserito nel modello numericamente, sulla base delle indicazioni fornite dalla bilancia (nella situazione considerata è stato aggiornato ogni 15 minuti), mentre il valore della resistenza termica è un parametro libero il cui valore viene adattato sulla base dei dati sperimentali. Il grafico riportato qui di seguito mette a confronto le previsioni del modello (curve 1 e 2) con le misu-

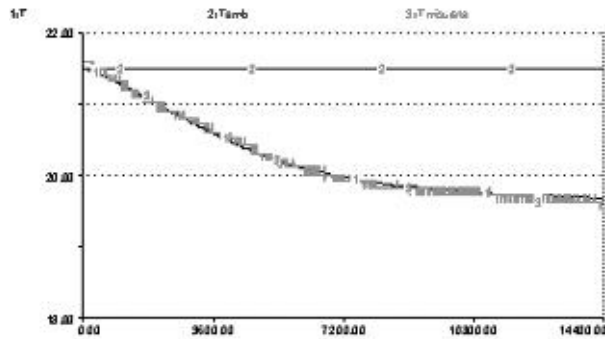
re sperimentali (curva 3), importate direttamente nel modello come grandezza indipendente: il programma di modellizzazione scelto accetta infatti sequenze di dati numerici esterni.

La situazione sperimentale qui proposta pu essere approfondita sotto diversi punti di vista: innanzitutto si possono inserire quantità di acqua diverse nel medesimo recipiente (per indagare, a parità degli scambi con l'esterno, l'effetto del cambiamento di capacità termica), oppure, cambiando recipiente, si possono modificare la superficie di evaporazione e/o la qualità del contatto termico con l'ambiente circostante e così indagare sperimentalmente gli effetti dovuti ad una modifica degli scambi energetici. Un caso interessante è quello ben noto di un recipiente poroso, dove praticamente l'intera superficie contribuisce all'evaporazione e quindi all'effetto di raffreddamento.

Ritornando alla situazione proposta, notiamo per finire come essa costituisca un esempio di studio di un sistema aperto (vi è una continua evaporazione!), offrendo quindi interessanti agganci con le altre discipline sperimentali.

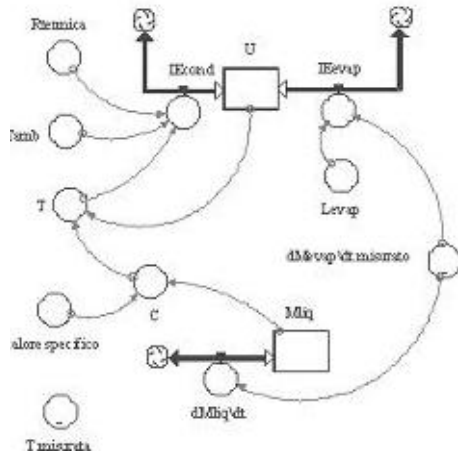
### 4. Alcune considerazioni generali

L'esperienza proposta mostra come l'impiego congiunto di un sistema di acquisizione dati on-line e di uno strumento di modellizzazione consenta allo studente di penetrare gradualmente nella struttura delle leggi fisiche e parallelamente di scoprire la matematica come strumento essenziale per esprimere precise relazioni tra concetti, mettendone in evidenza il ruolo e la portata unificante, superando così la limitante connotazione di mero strumento di calcolo. Un tale approccio permette inoltre di affrontare anche situazioni sperimentali che vanno oltre agli usuali casi di regimi costanti e/o stazionari solitamente trattati nella scuola secondaria superiore, dando quindi la possibilità di confrontarsi con situazioni meno scolastiche e più reali. In questo senso non si tratta di aggiungere nuovi argomenti ad un programma di per sé già carico, ma di riconsiderarne alcuni da nuovi punti di vista, mirando a quelle competenze che, attraverso l'acquisizione di metodologie generali, si ritiene possano qualificare l'apprendimento dello studente. In definitiva un tale approccio permette di avvicinarsi all'obiettivo posto alla base della nuova opzione specifica *Fisica e applicazioni della matematica*: educare lo studente a costruirsi modelli matematici a partire dai dati sperimentali raccolti in situazioni fisiche concrete.



$M_{liq}(t) = M_{liq}(t - dt) + (dM_{liq}/dt) * dt$   
 INIT  $M_{liq} = 0.167 \text{ {kg}}$   
 INFLOWS:  
 $dM_{liq}/dt = -dM_{evap}/dt_{misurato}$

$U(t) = U(t - dt) + (IE_{cond} + IE_{evap}) * dt$   
 INIT  $U = C * T_{amb}$   
 INFLOWS:  
 $IE_{cond} = (T_{amb} - T) / R_{termica}$   
 $IE_{evap} = -Levap * dM_{evap}/dt_{misurato}$



$C = M_{liq} * calore\_specifico$   
 $calore\_specifico = 4.18e3 \text{ {J/(K.kg)}}$   
 $Levap = 2.6e6 \text{ {J/kg}}$   
 $R_{termica} = 18.5 \text{ {W/ K}}$   
 $T = U / C$   
 $T_{amb} = 21.5 \text{ {C}}$

$dM_{evap}/dt_{misurato} = GRAPH(TIME)$   
 (0.00, 6.11e-008), (900, 7.22e-008),  
 (1800, 8.88e-008), (2700, 8.88e-008), ...

$T_{misurata} = GRAPH(TIME)$   
 (0.00, 21.6), (10.0, 21.6), (20.0, 21.6),  
 (30.0, 21.6), (40.0, 21.6), (50.0, 21.6),  
 (60.0, 21.6), (70.0, 21.6), (80.0, 21.6),  
 (90.0, 21.6), (100, 21.6), (110, 21.6),  
 (120, 21.6), .....