

LA TEMPERATURA E IL CALORE

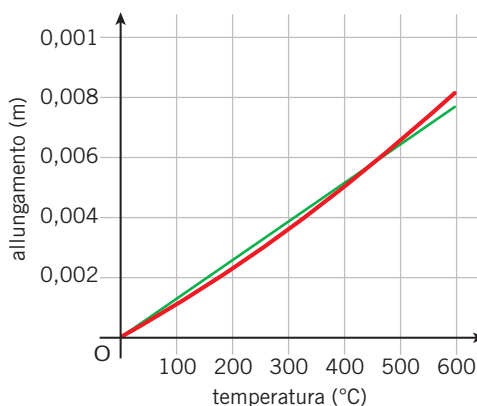
2. LA DILATAZIONE LINEARE DEI SOLIDI

La formula di dilatazione lineare è approssimata

La legge di dilatazione lineare è valida con buona approssimazione e in un ampio intervallo di temperature, ma non è perfettamente in accordo con i dati sperimentali. In effetti si tratta di una *legge fenomenologica*, come la legge della forza di Hooke o quella che fornisce la forza di attrito radente.

Una **legge fenomenologica** è una regolarità della natura molto utile per le applicazioni pratiche, ma che vale comunque in modo approssimato e in un ambito di fenomeni piuttosto ristretto.

Nella [figura](#) è rappresentato l'allungamento reale di una sbarra d'acciaio che, a 0 °C, misura un metro esatto e che è riscaldata fino a 600 °C. Come si vede, il comportamento sperimentale (linea rossa) segue bene, ma non perfettamente, un allungamento rettilineo (linea verde).



Ciò si può esprimere dicendo che il coefficiente di dilatazione lineare non è costante, ma varia leggermente con la temperatura.

3. LA DILATAZIONE VOLUMICA DEI SOLIDI E DEI LIQUIDI

Dimostrazione della dilatazione volumica dei solidi

Consideriamo un parallelepipedo omogeneo i cui spigoli, alla temperatura iniziale, misurano a_i , b_i e c_i . In tali condizioni, il volume del parallelepipedo è $V_i = a_i b_i c_i$. Con una variazione di temperatura Δt le lunghezze dei tre spigoli diventano:

$$a = a_i(1 + \lambda \Delta t), \quad b = b_i(1 + \lambda \Delta t), \quad c = c_i(1 + \lambda \Delta t),$$

dove c_i è il coefficiente di dilatazione lineare del materiale di cui il parallelepipedo è composto.

Calcoliamo ora il volume V finale del parallelepipedo; otteniamo:

$$\begin{aligned} V &= abc = a_i(1 + \lambda \Delta t) \cdot b_i(1 + \lambda \Delta t) \cdot c_i(1 + \lambda \Delta t) = \\ &= a_i b_i c_i (1 + \lambda \Delta t)^3 = V_i (1 + \lambda \Delta t)^3. \end{aligned}$$

Sviluppando il cubo del binomio troviamo

$$V = V_i [1 + 3\lambda \Delta t + 3(\lambda \Delta t)^2 + (\lambda \Delta t)^3].$$

Questa formula può essere semplificata. In effetti, in tutte le situazioni pratiche il numero $\lambda \Delta t$ è piuttosto piccolo. Ciò significa che i due termini $(\lambda \Delta t)^3$ e $(\lambda \Delta t)^2$ sono ancora più piccoli e, quindi, possono essere trascurati.

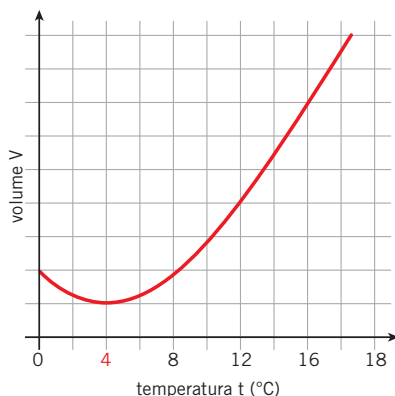
In conclusione, la legge che descrive con buona approssimazione la dilatazione di un solido è

$$V = V_0(1 + 3\lambda \Delta t),$$

che si riduce alla formula (5) se si pone $\alpha = 3\lambda$.

Il comportamento anomalo dell'acqua

L'acqua si comporta in modo diverso dagli altri liquidi ([figura](#)).

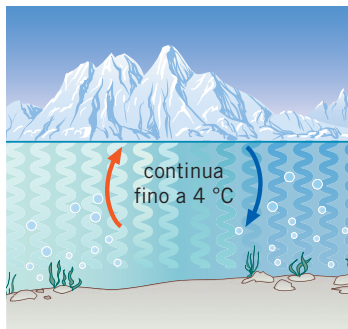


Da 0 °C (quando il ghiaccio si scioglie) a 4 °C il suo volume, invece di aumentare, diminuisce. Dopo i 4 °C il volume aumenta in modo regolare.

Questo comportamento anomalo spiega perché d'inverno i laghi gelano soltanto in superficie, mentre al di sotto l'acqua rimane liquida. Così i pesci riescono a sopravvivere anche in climi molto rigidi.

Capiamo il perché seguendo il grafico all'indietro, da destra a sinistra. Quando la temperatura esterna si abbassa, l'acqua che si trova in superficie comincia a raffreddarsi.

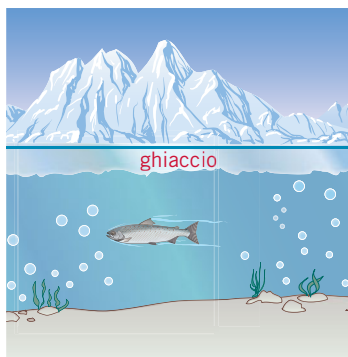
- Il volume dello strato superficiale diminuisce e la sua densità aumenta: l'acqua sopra diventa più densa dell'acqua sotto.
- Per la *legge di Archimede* lo strato superficiale più denso scende verso il fondo. Al suo posto sale dal basso l'acqua più calda (meno densa).
- In questo modo la temperatura dell'acqua diminuisce e il processo continua fino a quando tutta l'acqua raggiunge la temperatura di 4 °C (**figura**).



A causa dell'aria fredda, la temperatura dello strato in superficie continua a diminuire.

- Ora, però, il volume dello strato superficiale aumenta e la sua densità diminuisce: l'acqua sopra diventa meno densa dell'acqua sotto.
- Per la legge di Archimede lo strato superficiale meno denso non può scendere e rimane in superficie, dove continua a raffreddarsi, fino a che diventa ghiaccio.

Poiché da 4 °C a 0 °C l'acqua, invece di contrarsi, si dilata si crea nei laghi uno strato di ghiaccio che protegge la vita della fauna e della flora acquatica (**figura**).



8. IL CALORE SOLARE E L'EFFETTO SERRA

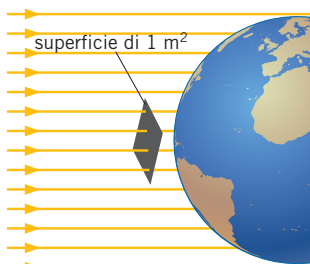
Grazie all'irraggiamento, l'energia emessa dal Sole (che ha una temperatura superficiale di circa 6000 K) giunge fino alla Terra sotto forma di onde elettromagnetiche.

Su una superficie di 1 m², disposta perpendicolarmente ai raggi del Sole appena fuori dall'atmosfera, arriva in ogni secondo un'energia di 1350 J (**figura**). Ciò equivale a dire che:

l'intensità della radiazione solare è pari a $1350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Questo valore si chiama **costante solare**.



Il calore solare e l'effetto serra



Della radiazione che proviene dal Sole, il 40% è assorbito o riflesso dalle nubi, il 15% è assorbito dall'aria e il rimanente 45% giunge a terra (**figura**).

L'energia che arriva a terra serve per riscaldare la crosta terrestre, per fare evaporare le acque, per mantenere i venti e le correnti, per fare crescere i vegetali.

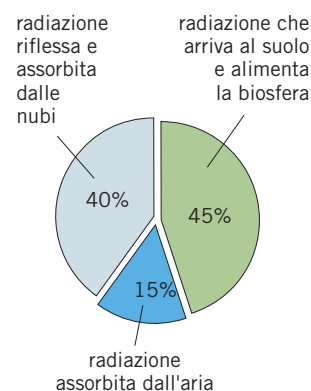
Questa energia che ogni secondo investe la Terra tenderebbe a riscaldarla. Ma la Terra emette verso lo spazio cosmico la stessa quantità di energia che assorbe. Essa rimane, così, in *equilibrio termico*.

Se non ci fosse l'atmosfera, la temperatura media della Terra sarebbe di circa -20°C . Invece, la temperatura media dell'atmosfera vale circa 14°C . La *temperatura media della Terra* è misurata registrando, durante tutto l'anno, la temperatura indicata in un grande numero di stazioni poste in tutto il mondo, sia sulla terraferma sia a bordo di navi che misurano la temperatura dell'acqua oceanica.

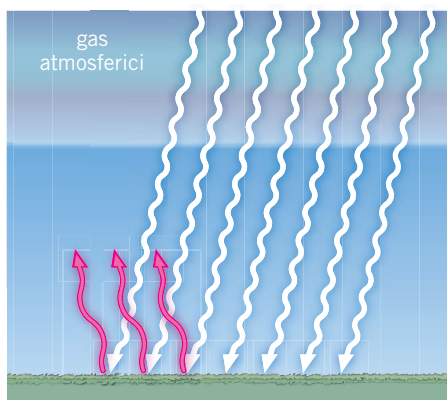
Sulla base di questi dati si ottiene una valutazione globale, che tiene anche conto della maggiore o minore densità di stazioni di rilevazione nelle varie parti del mondo e del fatto che, con lo sviluppo delle città, molte stazioni che si trovavano in zone poco abitate oggi sono oggi all'interno di centri abitati.

A causa di questi effetti, le temperature oceaniche (che non risentono dei mutamenti del paesaggio) sono particolarmente significative.

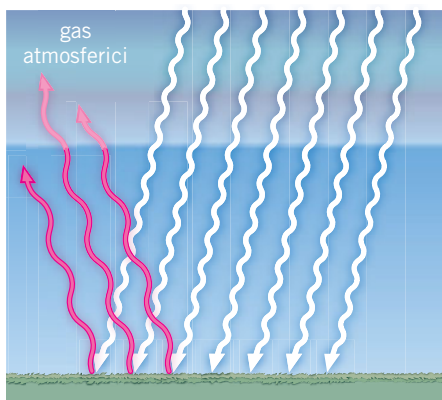
La temperatura media della Terra è decisamente maggiore del valore di -20°C che si avrebbe in assenza di atmosfera grazie alla presenza di diversi gas, quali il vapore acqueo e l'anidride carbonica, che sono detti *gas serra*.



A I gas serra sono trasparenti alla radiazione proveniente dal Sole, che raggiunge così il suolo terrestre, è assorbita da esso e viene in parte riemessa come radiazione infrarossa.



B Però l'energia trasportata dalla radiazione infrarossa non può disperdersi nello spazio perché è assorbita dai gas serra. Ciò provoca un riscaldamento dell'atmosfera.



Si chiama **effetto serra** il riscaldamento dell'atmosfera dovuto all'assorbimento di energia da parte dell'anidride carbonica e degli altri gas serra.

Senza l'effetto serra sulla Terra non vi sarebbe la vita come la conosciamo.

Negli ultimi secoli la concentrazione dei gas serra nell'atmosfera è aumentata a causa di attività umane, quali l'utilizzo di combustibili fossili (petrolio, metano, carbone...) e la deforestazione, che ha diminuito l'assorbimento di CO_2 da parte delle piante. Tutto ciò ha portato negli ultimi quarant'anni a un aumento della temperatura media terrestre stimato tra $0,3^{\circ}\text{C}$ e $0,6^{\circ}\text{C}$.

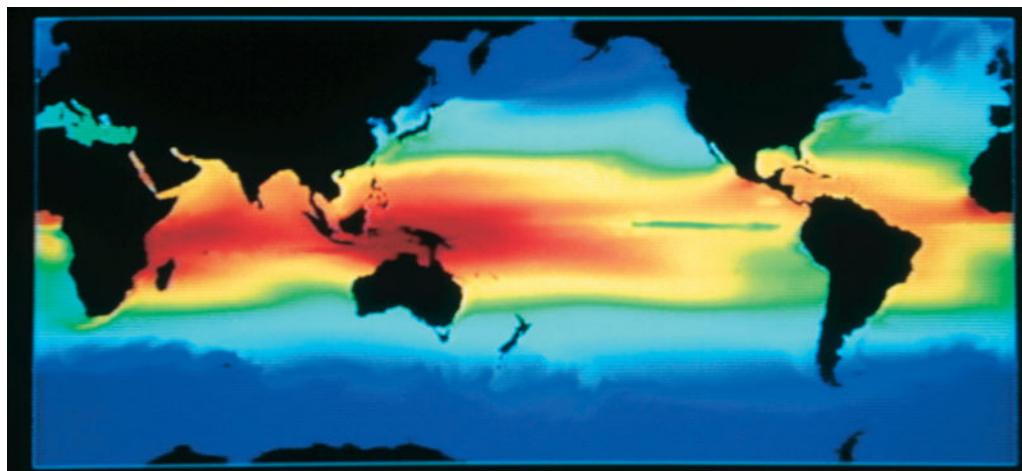
A fronte dell'ulteriore aumento previsto della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, diversi gruppi di scienziati hanno elaborato modelli meteorologici e climatici mol-

CONCENTRAZIONE DI CO_2

Prima dell'era industriale la concentrazione di CO_2 nell'atmosfera era di 280 parti per milione (ppm). Nel 2010 era arrivata a 390 ppm.

to dettagliati, che sono oggi alla base di programmi di simulazione che sono eseguiti dai più potenti calcolatori.

Questi modelli sono basati sulle migliori conoscenze della fisica dell'atmosfera e tengono conto degli scambi di energia tra la crosta terrestre, le masse d'aria e gli oceani. Contengono inoltre la descrizione della forma e dell'estensione delle terre emerse, inclusa la presenza di catene montuose. Così è possibile stimare la variazione di temperatura da zona a zona e nel tempo. Per esempio, nell'[immagine](#), elaborata al computer, è possibile vedere quali sono le zone calde (in rosso) e più fredde (in blu) del nostro pianeta.



Ray Nelson/Photo take NYC

Secondo questi modelli, in assenza di correzione alle attività umane che producono gas serra, entro il 2100 la concentrazione di CO_2 arriverà a 500 parti per milione e possiamo aspettarci un aumento della temperatura media terrestre compreso tra $1,1^\circ\text{C}$ e $6,4^\circ\text{C}$. Ciò causerebbe un aumento del livello degli oceani compreso tra 18 cm e 59 cm. Per evitare che ciò accada occorre quindi diminuire le emissioni di anidride carbonica, limitare la deforestazione e diminuire l'utilizzo di combustibili fossili, privilegiando le fonti di energia che non producono anidride carbonica e che sono: energia idroelettrica, nucleare, solare, eolica ecc.

ESERCIZI

2. LA DILATAZIONE LINEARE DEI SOLIDI

ESERCIZI NUMERICI

- 17** ★★★ Una barra di rame è lunga 5,50 m alla temperatura di 20,0 °C. La barra viene messa in una fornace e si allunga di 3,50 cm.

► Calcola la temperatura della fornace.

[394 °C]

- 18** ★★★ Una barra di zinco si trova in un ambiente alla temperatura di 20 °C. Successivamente, viene messa in una fornace alla temperatura di 100 °C. Nella fornace, la sua lunghezza è pari a 257 cm.

► Quanto era lunga la barra prima di essere messa nella fornace?

[256 cm]

3. LA DILATAZIONE VOLUMICA DEI SOLIDI E DEI LIQUIDI

ESERCIZI NUMERICI

- 24** ★★★ Una bottiglia che contiene glicerina ($\alpha = 0,53 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) si trova alla temperatura di 12,0 °C. Poi viene riscaldata e durante la fase di riscaldamento il volume della glicerina passa da 1,77 L a 1,88 L.

► Calcola la temperatura finale raggiunta.

[$1,3 \times 10^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]

- 25** ★★★ Vogliamo far aumentare del 10% il volume di una certa quantità di etanolo ($\alpha = 1,12 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$).

► Calcola di quanto dobbiamo aumentare la sua temperatura.

[89 K]

- 26** ★★★ Una sfera d'argento, alla temperatura di 20,00 °C, ha un volume di 1,500 dm³. Aumentando la sua temperatura di 400,0 K, il volume della sfera diventa 1,534 dm³.

► Calcola il coefficiente di dilatazione volumica dell'argento.

► Calcola il coefficiente di dilatazione lineare dell'argento.

[$5,667 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$; $1,889 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$]

4. CALORE E LAVORO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 29** Hai appena messo una bottiglia piena d'acqua a temperatura ambiente in frigorifero. In quale direzione avviene lo scambio di calore tra acqua e frigorifero?

- 30** Perché il cerchione di una bicicletta si riscalda durante una frenata?

ESERCIZI NUMERICI

- 31** ★★★ In un mulinello di Joule, quando entrambi i pesi si abbassano di 1,00 m, la temperatura di 1,00 kg di acqua aumenta di 1,00 K.

► Qual è la massa di ciascuno dei due pesi?

[214 kg]

6. CAPACITÀ TERMICA E CALORE SPECIFICO

ESERCIZI NUMERICI

- 46** ★★★ Un serbatoio cilindrico di raggio pari a 2,0 m e alto 12 m è riempito per 2/3 di acqua. (Puoi trascurare gli scambi di calore con l'esterno).

► Calcola la capacità termica dell'acqua contenuta nel serbatoio.

► Qual è la quantità di calore necessaria per scaldare di 15 °C l'acqua del serbatoio?

[$4,2 \times 10^8 \text{ J/K}$; $6,3 \times 10^9 \text{ J}$]

- 47** ★★★ Una pentola che contiene 3,0 L d'acqua è posta su un fornello che le trasmette 800 J al secondo.

► Quanto tempo serve per scaldare l'acqua di 20 °C?

[$3,1 \times 10^2 \text{ s}$]

- 48** ★★★ Un cilindro di ferro a 150 °C viene immerso in una vasca piena d'acqua. Il cilindro ha diametro 40 mm e altezza 80 mm, e la temperatura di equilibrio è di 20 °C. La densità del ferro è 7870 kg/m³.

► Calcola la capacità termica del cilindro di ferro.

► Calcola la quantità di calore ceduta all'acqua dal cilindro.

[$3,6 \times 10^2 \text{ J/K}$; $4,7 \times 10^4 \text{ J}$]

7. IL CALORIMETRO

ESERCIZI NUMERICI

57 ★★ Un blocco di 12,0 kg di alluminio alla temperatura di 420 K viene immerso in una vasca che contiene 30,0 L di acqua alla temperatura di 303 K.

- Determina la temperatura di equilibrio raggiunta dall'alluminio e dall'acqua. Trascura ogni forma di dispersione termica.

[312 K]

9. I PASSAGGI TRA STATI DI AGGREGAZIONE

ESERCIZI NUMERICI

71 ★★ Dell'alcol etilico inizialmente a 22 °C viene riscaldato fornendogli calore alla potenza costante di 1,75 kW. L'alcol giunge a ebollizione dopo 7 min 20 s. Il calore specifico dell'alcol etilico è 0,581 cal/(g·K).

- Calcola la massa d'alcol.
- Continuando a fornire la stessa quantità di calore, quanto tempo impiega l'alcol a evaporare completamente?

[5,7 kg; 46 min]

PROBLEMI GENERALI



11 PROBLEMA SVOLTO

Efficienze a confronto

Vuoi confrontare l'efficienza di un fornello elettrico con quella di un bollitore elettrico nel portare a ebollizione 2,0 L d'acqua inizialmente a 20 °C. L'efficienza di conversione energetica è definita dal rapporto tra l'energia termica assorbita dall'acqua e l'energia elettrica utilizzata dall'apparecchio. Il fornello consuma 2,0 kW e impiega 10 min a portare l'acqua a bollore; il bollitore consuma 3,0 kW e impiega 4 min 10 s.

- Calcola l'efficienza del fornello e quella del bollitore. Esprimi i risultati in percentuale.



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Massa dell'acqua	m	2,0 kg	Equivalente a 2,0 L d'acqua
	Differenza di temperatura	ΔT	80 K	Da 20 °C a 100 °C
	Potenza del fornello	P_f	2,0 kW	
	Tempo impiegato dal fornello	Δt_f	600 s	10 min
	Potenza del bollitore	P_b	3,0 kW	
	Tempo impiegato dal bollitore	Δt_b	250 s	4 min 10 s
INCOGNITE	Efficienza del fornello	η_f	?	
	Efficienza del bollitore	η_b	?	

RAGIONAMENTO

- L'energia termica assorbita dall'acqua per passare da 20 °C a 100 °C (ebollizione) si ricava da: $Q = c m \Delta T$.
- L'energia elettrica consumata da ciascun apparecchio per portare l'acqua a ebollizione si ricava dalla potenza, definita da $P = \Delta E / \Delta t$. Perciò $\Delta E = P \Delta t$.
- L'efficienza è definita dal rapporto tra l'energia termica assorbita dall'acqua e l'energia elettrica utilizzata dall'apparecchio: $\eta = Q / \Delta E$.

RISOLUZIONE

Calcoliamo la quantità di calore assorbita dall'acqua: $Q = cmT = (4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times (2,0 \text{ kg}) \times (80 \text{ K}) = 670 \text{ kJ}$.

L'energia elettrica consumata dai due apparecchi è data da:

$$E_f = P_f t_f = (2,0 \text{ kW}) \times (600 \text{ s}) = 1200 \text{ kJ};$$

$$E_b = P_b t_b = (3,0 \text{ kW}) \times (250 \text{ s}) = 750 \text{ kJ}.$$

L'efficienza di conversione risulta quindi:

$$\eta_f = \frac{Q}{E_f} = 0,56 = 56\%; \quad \eta_b = \frac{Q}{E_b} = 0,89 = 89\%.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO:

Il bollitore è più efficiente del fornello nel convertire l'energia elettrica in energia termica, quindi consuma meno energia elettrica del fornello per far bollire la stessa quantità d'acqua, anche se la potenza richiesta è maggiore.

Il bollitore elettrico funziona con un resistore immerso nell'acqua, riducendo così la dispersione di calore che, nel caso del fornello, si trasferisce anche alla pentola e all'aria circostante.

**12 TECNOLOGIA Il pannello solare**

★★★

Il pannello solare è un dispositivo che converte la radiazione solare in energia termica scaldando dell'acqua, che viene successivamente utilizzata per il riscaldamento domestico. Un pannello ha un'efficienza di conversione del 45%; l'acqua entra con una temperatura di 18 °C ed esce a 52 °C. Considera una giornata in cui la potenza media della radiazione solare incidente sia 180 W/m².

- Quanti metri quadrati di pannello servono per fornire 120 L d'acqua calda in una giornata?

Suggerimento: Il pannello solare assorbe un'energia E_{sol} , pari alla potenza media solare moltiplicata per la superficie da trovare per il tempo, cioè un giorno. Di questa energia, solo il 45% viene usata per riscaldare l'acqua.

[2,4 m²]**13 TECNOLOGIA Il pannello fotovoltaico**

★★★

Un prototipo di argano a energia solare è fornito di un pannello fotovoltaico che copre una superficie quadrata di lato 20 cm. Il pannello fotovoltaico converte la radiazione solare in energia elettrica; l'energia elettrica aziona un motore che solleva un oggetto di massa 1,0 kg. L'efficienza η del pannello è del 15%, mentre il motore trasforma in energia meccanica tutta l'energia elettrica da cui è alimentato.



Shawn Hempel/Shutterstock

- Calcola il tempo necessario a sollevare il corpo di 2,5 m. Assumi una potenza solare di 1000 W/m² (condizioni di forte illuminazione).
- Quanto tempo serve se l'illuminazione scende a 100 W/m²?

Suggerimento: La potenza fornita dal pannello è data dalla potenza solare moltiplicata per la superficie del pannello e per l'efficienza. L'energia corrispondente è uguale all'energia potenziale gravitazionale del corpo.

[4,1 s; 41 s]

**14 CUCINA Cucina con l'energia del Sole**

★★★

Una cucina solare è composta di uno specchio parabolico di diametro 1,00 m che concentra i raggi solari su una pentola posta sul fuoco della parabola. La pentola contiene 3 L d'acqua a 30 °C, e la potenza della radiazione solare è di 1000 W/m².

- Quanto tempo impiega l'acqua per giungere a bollore? Assumi che tutta l'energia del sole incidente sullo specchio venga assorbita dall'acqua.

Suggerimento: Puoi calcolare l'energia assorbita dall'acqua per passare da 30 °C a 100 °C come $E = c_{acqua} mT$. Dall'energia assorbita dall'acqua e dalla potenza della radiazione solare moltiplicata per la superficie πr^2 dello specchio, puoi ricavare il tempo impiegato a far bollire l'acqua.)

[1,1 × 10³ s]**15 LA FISICA DEL CITTADINO Lavorare sotto il Sole****Domanda 1:**

Pietro sta facendo lavori di riparazione a una vecchia casa. Egli ha lasciato una bottiglia d'acqua, alcuni chiodi di metallo e un'asse di legno dentro il bagagliaio della sua auto. Dopo che l'auto è rimasta sotto il sole per tre ore, la temperatura interna dell'auto raggiunge circa i 40 °C.

- Che cosa succede agli oggetti nell'auto? Fai un cerchio intorno a «Sì» o a «No» per ciascuna delle affermazioni proposte.

COSA SUCCEDDE ALL'OGGETTO/AGLI OGGETTI?	SÌ O NO?
Tutti gli oggetti hanno la stessa temperatura.	Sì / No
Dopo un po' di tempo l'acqua comincia a bollire.	Sì / No
Dopo un po' di tempo i chiodi di metallo cominciano a diventare incandescenti.	Sì / No
La temperatura dei chiodi di metallo è più alta di quella dell'acqua.	Sì / No

Domanda 2:

Per bere durante la giornata, Pietro ha a disposizione una tazza di caffè caldo, a una temperatura di circa 90 °C, e una tazza di acqua minerale fredda ad una temperatura di circa 5 °C. Le tazze sono dello stesso materiale e della stessa dimensione e il volume delle bevande è lo stesso. Pietro lascia le tazze appoggiate in una stanza, dove la temperatura è di circa 20 °C.

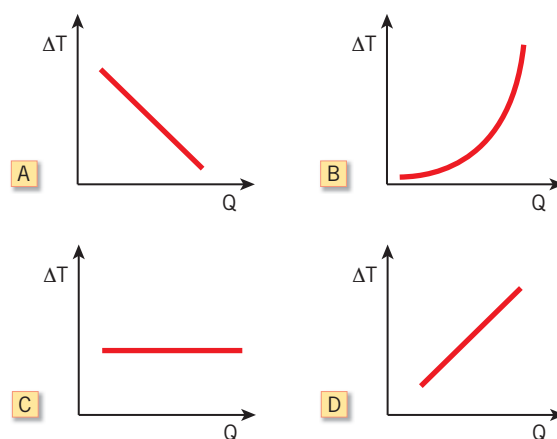
- Quali saranno con ogni probabilità le temperature del caffè e dell'acqua minerale dopo 10 minuti?

- 70 °C e 10 °C
- 90 °C e 5 °C
- 70 °C e 25 °C
- 20 °C e 20 °C

Tratto da prove PISA (Project for International Student Assessment), anno 2006.

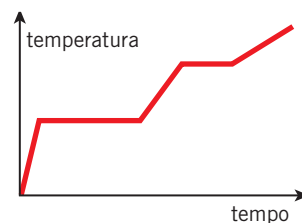
GIOCHI DI ANACLETO

- 14** Un pezzo di ferro che si trova alla temperatura di 100 °C viene introdotto in un calorimetro che contiene 1 kg d'acqua alla temperatura di 35,0 °C. Dopo abbastanza tempo, raggiunto l'equilibrio termico, ferro ed acqua hanno una temperatura di 41 °C. Il calorimetro si può considerare perfettamente isolato. Quale tra i seguenti grafici meglio rappresenta la relazione tra la variazione di temperatura dell'acqua, ΔT , e il calore Q , trasmesso dal ferro durante il suo raffreddamento?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2007)

- 15** Il grafico rappresenta l'andamento della temperatura di un campione di sostanza, inizialmente allo stato solido, mentre viene riscaldato da un fornello che fornisce calore a ritmo costante. Nel grafico non è riportata la scala numerica però, osservandone l'andamento, è possibile trarre alcune conclusioni sulle proprietà termiche di quella sostanza. Nella tabella che segue sono riportati i valori di calori specifici e calori latenti per alcune sostanze: quale riga potrebbe corrispondere alla sostanza a cui si riferisce il grafico?



	CALORE SPECIFICO DEL SOLIDO Cal/(g · °C)	CALORE SPECIFICO DEL LIQUIDO Cal/(g · °C)	CALORE SPECIFICO DEL GAS Cal/(g · °C)	CALORE LATENTE DI FUSIONE Cal/g	CALORE LATENTE DI VAPORIZZAZIONE Cal/g
A	0,7	0,7	0,7	40	40
B	0,8	0,4	0,2	70	35
C	0,5	1,0	0,5	80	160
D	0,2	0,4	0,8	70	35

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2005)

- 16** Nella tabella sono riportate le temperature di fusione e di ebollizione delle sostanze A, B, C, D in condizioni normali di pressione.

► Quale sostanza può essere liquida a 20 °C?

SOSTANZA	TEMPERATURA DI FUSIONE (°C)	TEMPERATURA DI EBOLLIZIONE (°C)
A	-142	-78
B	-66	42
C	-95	4
D	90	189

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2006)

- 17** Per raffreddare una bibita si può aggiungere 10 g d'acqua a 0 °C o 10 g di ghiaccio a 0 °C. Quale metodo è preferibile?

- a. È preferibile aggiungere il ghiaccio perché fonde lentamente e la bibita rimane fresca più a lungo.
- b. È preferibile aggiungere il ghiaccio perché la fusione del ghiaccio assorbe energia.
- c. È preferibile aggiungere il ghiaccio perché rimane in superficie e riduce il riscaldamento dovuto al contatto con l'aria.
- d. I due metodi sono equivalenti.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2000)