

Titolo: CHIARO COME IL SOLE

Autore: Bruno Jannamorelli

Descrittore: energia, energia solare, laboratorio.

Obiettivo di applicazione: utilizzo e disponibilità dell'energia solare

Il rinnovato interesse per una fonte energetica inesauribile e pulita come l'energia solare solleva subito due questioni:

a) Come può essere utilizzata l'energia solare?

b) Quanta energia solare è disponibile?

Andando a cercare le risposte a queste due domande si scopre che l'energia solare può essere utilizzata in diverse maniere: a scopi elettrici con le celle fotovoltaiche e a scopi termici con i sistemi solari attivi o passivi (1). In ogni caso, però, l'uso dell'energia solare deve essere "appropriato", cioè il sistema tecnologico per catturare il sole deve essere scelto in base alle esigenze dell'utente e alle caratteristiche climatiche del luogo (2). Bisogna guardarsi intorno, studiare i movimenti del sole per scegliere la posizione ottimale dei collettori solari e stimare la quantità di energia solare disponibile per ogni stagione dell'anno.

Si potrebbe obiettare che questi studi devono farli i tecnici e che le tabelle dei dati riguardanti le quantità di energia solare disponibile vanno compilate in appositi laboratori gestiti dagli enti locali pubblici. Ma non è così semplice. Se si vuole risolvere il problema energetico diffondendo l'uso di energie rinnovabili, non basta delegare tutto nelle mani di un ente pubblico più o meno decentralizzato. Il passaggio dall'attuale modello di sviluppo del mondo industrializzato a una società che decida di riconciliarsi con la natura comporta un profondo cambiamento culturale.

Occorre, in primo luogo, recuperare quella cultura contadina-artigiana che si è sviluppata in armonia con le leggi della natura: basta confrontare le vecchie costruzioni dei paesini di montagna con i moderni casermoni di città per rendersi conto della scarsa attenzione dedicata dagli ingegneri alla coabitazione e all'esposizione degli edifici.

L'unica preoccupazione dell'era industriale è stata riservata all'aumento del Pil (prodotto interno lordo) per cui, se un edificio non è ben coibentato si fa ricorso a una caldaia potente che inghiotte tanto gasolio, e così il Pil cresce due volte: per la vendita dell'edificio e per la vendita del petrolio raffinato (3).

In secondo luogo, bisogna diffondere la cultura tecnico-scientifica a livello popolare per fare in modo che i sistemi tecnologici alimentati con energia rinnovabile possano essere gestiti, adattati, migliorati dall'utente a seconda dell'uso a cui sono destinati.

E' in questo senso, allora, che la scuola acquista un ruolo centrale per passare dall'era nucleare all'era solare, da una società centralizzata e sprecona a una società decentralizzata e responsabile. Il problema energetico può diventare il cardine del rinnovamento della didattica delle discipline scientifiche: una didattica per problemi fondata su un problema sociale (4). Se si chiede di misurare la costante solare (irraggiamento solare), cioè la quantità di energia solare che arriva a terra in un secondo su una superficie di un metro quadrato, lo studente capisce che sta eseguendo una misura importante perché utile alla soluzione di un problema vero, come può essere la scelta di un collettore solare.

I tre esperimenti che vengono di seguito proposti possono essere eseguiti a diversi livelli scolari, anche in scuole prive di un laboratorio di fisica, in quanto richiedono l'uso di materiali facilmente reperibili. La serra solare che viene descritta potrebbe essere realizzata anche nelle scuole elementari, sicuramente nelle scuole medie, per familiarizzare con l'effetto serra, per ottenere tabelle di dati, per affrontare problemi di costi-benefici quando si discute del numero di lastre di vetro che coprono la serra o dello spessore dell'isolante termico.

Molto semplice è anche il primo metodo proposto per la misura dell'irraggiamento solare, che potrebbe essere sperimentato già nella

scuola media di primo grado, mentre il secondo metodo è riservato a studenti di scuola media superiore dei primo biennio o dei triennio dei licei.

Riferimenti bibliografici

- (1) F. BUTERA, *Quale energia per quale società*, Mazzotta, Milano (1979).
- (2) V. SILVESTRINI, *Uso dell'energia solare*, Editori Riuniti, Roma (1979).
- (3) R. GARAUDY, *Progetto speranza*, Cittadella Editrice, Assisi (1976).
- (4) A. DRAGO, *Per un programma didattico di termodinamica*, "Quale Energia", n. 1 (gennaio-marzo 1981).



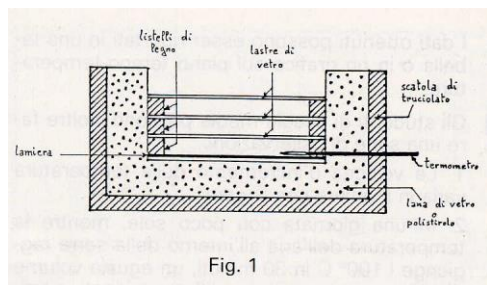
Modello di forno solare

SCHEDA 1

Serra solare da laboratorio

Descrizione del modello

E' un modello che serve a dimostrare come può essere catturata l'energia solare per essere utilizzata a scopi termici. Una piccola serra può essere realizzata con una scatola di truciolato da 2 cm senza coperchio (dimensioni interne 30 cm x 30 cm x 15 cm). L'interno della scatola viene ricoperto con fibra di vetro o polistirolo dello spessore di 5 cm. Sul fondo della cavità ottenuta si depone una lamierina metallica dipinta di nero, fissata su una tavoletta di truciolato. Sul bordo di questa lamiera si fissano due listelli di legno di sezione 2 cm x 2 cm. Sui listelli si dispone una lastra di vetro da 3 mm, avente le stesse dimensioni della lamiera. Una parete della scatola deve essere forata in modo da permettere l'inserimento di un termometro. Sulla prima lastra di vetro se ne possono disporre ancora una o due, poggiate sempre su listelli di legno (Fig. 1).



Esperimento

Esponendo la serra al sole, gli studenti rilevano la temperatura dell'interno della scatola ricoperta con una sola lastra di vetro, a intervalli di tempo di 15 minuti. Saranno sorpresi nell'osservare la notevole differenza tra questa temperatura e quelle dell'ambiente esterno. È interessante notare la differenza tra l'aumento di temperatura in questa serra e in quelle ricoperte con due o tre lastre di vetro, possibilmente avendo a disposizione tre serre delle stesse dimensioni ed esponendole contemporaneamente al sole. Ad esempio, in una giornata serena, la temperatura interna di una serra con due lastre di vetro può salire fino a 70°C in 15 minuti, arrivando a 100°C nei successivi 15 minuti, approssimandosi poi asintoticamente ai 120°C . L'aggiunta di una terza lastra di vetro produce un incremento di temperatura che avviene approssimativamente alla stessa velocità, ma si raggiunge un massimo di 140°C .

I dati ottenuti possono essere riportati in una tabella o in un grafico sul piano tempo-temperatura.

Gli studenti di scuola media possono inoltre fare una serie di osservazioni.

1. La velocità d'incremento della temperatura varia in maniera non lineare.
2. In una giornata con poco sole, mentre la temperatura dell'aria all'interno della serra raggiunge i 100°C in 30 minuti, un eguale volume d'acqua contenuta in un collettore identico arriva all'ebollizione dopo alcune ore: quindi la velocità d'incremento della temperatura diminuisce con l'aumentare della capacità termica* del fluido.
3. L'incremento della temperatura all'interno della serra è funzione dell'inclinazione della scatola, o dell'angolo che i raggi del sole formano con la perpendicolare alla scatola.
4. Continuando a rilevare le temperature dell'aria all'interno della serra quando questa non è più esposta al sole, si può studiare l'abbassamento di temperatura in funzione del numero di lastre di vetro, ma anche dello spessore del materassino di lana di vetro. Per fare questo esperimento si dovrebbe avere almeno la possibilità di dimezzare e di raddoppiare lo spessore del materassino e quindi, a parità di volume d'aria riscaldata, si dovrebbe disporre di scatole di truciolo di dimensioni opportune.

* La capacità termica di un corpo è la quantità di calore che occorre somministrargli per aumentarne di 1°C la temperatura.

SCHEDA 2

L'irraggiamento solare misurato in casa

Un metodo molto semplice per misurare l'irraggiamento solare consiste nel calcolare l'energia solare, assorbita da un disco di alluminio, necessaria a sciogliere una certa quantità di ghiaccio. Se l'esperimento viene eseguito con cura è possibile ottenere risultati molto vicini all'effettivo irraggiamento misurabile con un solarimetro professionale.

Materiali necessari

Due bicchieri di plastica;
 due dischi di alluminio (diametro 5 cm, spessore 1 mm) con una faccia dipinta di nero;
 una siringa di plastica da 20 ml;
 un orologio, che preferibilmente conti anche i secondi;
 un frigorifero,

Preparazione dell'esperimento

I due bicchieri vengono tagliati con un seghetto da polistirolo lungo un piano parallelo alle basi e sistemati come in Fig. 2.

Le parti superiori di ogni bicchiere vengono rovesciate e usate come basi stabilizzanti per le due parti inferiori.

Le due coppette così ottenute si riempiono per $\frac{2}{3}$ di acqua e vengono sistemate nella ghiacciaia del frigorifero. Non appena si è formato il ghiaccio (l'acqua ha raggiunto la temperatura di 0°C) le coppe devono essere prelevate dal frigorifero, ricoperte con un disco di alluminio rivolgendosi verso il sole la faccia annerita del disco, in una coppa, e quella non annerita nell'altra. L'acqua accumulata nelle due coppe deve essere scolata prima di iniziare l'esperimento.

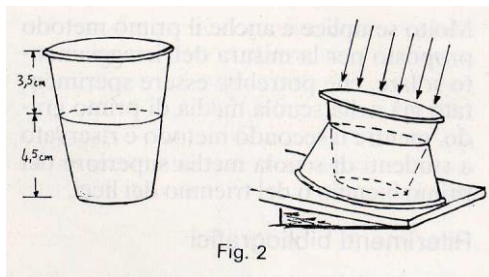


Fig. 2

Esecuzione dell'esperimento

Le due coppe vengono esposte alla luce solare in modo che i due dischi siano perpendicolari ai raggi del sole. Il disco annerito assorbirà circa il 95% dell'energia solare incidente, mentre l'altro ne assorbirà solo il 15% e nelle due coppe si verificherà la liquefazione di una parte del ghiaccio. La liquefazione sarà parzialmente provocata anche dal calore ambiente, ma in egual misura nelle due coppe. Dopo che i due dischi sono stati esposti per uno stesso tempo t alla luce del sole, gli scambi di calore per ognuna delle due coppe possono essere così indicati.

$$0,95 S + \text{calore ambiente} = (80 \text{ cal/g}) M_1 g \quad [1]$$

$$0,15 S + \text{calore ambiente} = 80 \text{ cal/g}) M_2 g \quad [2]$$

dove S indica la quantità di energia solare incidente su ogni disco nel tempo t ; M_1 e M_2 sono le masse di ghiaccio liquefatto, rispettivamente nella coppa coperta dal disco annerito e in quella coperta dal disco non annerito; 80 cal/g è il calore latente di fusione del ghiaccio (bisogna fornire una quantità di calore di 80 calorie a un grammo di ghiaccio, a 0°C , per ottenere, senza alterarne la temperatura, il passaggio completo allo stato liquido). Pertanto, il prodotto $(80 \text{ cal/g}) M_1 g$ rappresenta la quantità di calore assorbito dal ghiaccio contenuto nella prima coppa, durante la fusione.

Sottraendo le due equazioni [1] e [2] si ottiene:

$$0,80 S = (80 \text{ cal/g}) (M_1 - M_2) g \quad [3]$$

da cui si ricava facilmente

$$S = 100 (M_1 - M_2) \text{cal}$$

e quindi la costante solare (misurata in watt/m^2) sarà

$$\text{cost. solare} = \frac{S(\text{incalorie})}{(\text{area del disco in } \text{m}^2)(t \text{ in sec.})} = \frac{4,18 S(\text{joule})}{(\text{area disco in } \text{m}^2)(t \text{ in sec.})}$$

Le uniche misure richieste sono quelle delle due masse di ghiaccio liquefatto, che vengono effettuate aspirando con la siringa l'acqua formatasi nelle due coppe. Moltiplicando per 100 la differenza di queste due masse, si ottiene la quantità di energia solare incidente su ognuno dei due dischi nel tempo t .

E' bene eseguire l'esperimento quando il sole è vicino allo zenit, per non essere costretti a inclinare troppo le due coppette che devono poggiare su un piano perpendicolare ai raggi del sole. Inoltre è consigliabile esporre le due coppe al sole non contemporaneamente ma a distanza di qualche minuto l'una dall'altra, per avere il tempo di aspirare l'acqua dopo che entrambe sono rimaste al sole per 10 o 15 minuti.

Un altro suggerimento da tener presente è quello di scegliere giornate serene per eseguire l'esperimento, altrimenti si rischia di ottenere valori della costante solare che si allontanano di molto dai valori effettivi. Per il resto, c'è da sottolineare che la semplicità di esecuzione dell'esperimento, che non presenta difficoltà di calcolo, consente di effettuare molte misure della costante solare anche a studenti privi di strumenti matematici. Infine, la semplicità della preparazione e la facile reperibilità in casa dei materiali occorrenti (bicchieri di plastica, siringhe, frigorifero) permettono di eseguire l'esperimento al di fuori del laboratorio scolastico. E' il balcone della cucina che diventa laboratorio dalle 12,30 alle 14,30 nei giorni di sole, e sono i familiari che diventano assistenti di laboratorio. In questo modo si riesce a disporre di un buon numero di valori della costante solare che possono esser riportati in un grafico in aula e, per ogni giorno, si può considerare il valore medio. I valori dell'insolazione misurati con questo metodo in giorni sereni, in primavera, oscillano da un minimo di 696 W/m^2 a un massimo di 905 W/m^2 *.

* Rielaborazione della scheda *The solar constant: a take home lab*, di B.G. HEATON, R. Di GEERR e P. FREIER, University of Minnesota, "The Physics Teacher" (marzo 1977).

SCHEDA 3

Calorimetro di Oppegard *

* Questo calorimetro è stato descritto da Milo Oppegard in "The Physics Teacher" (marzo 1975); in questa scheda esso viene riportato con alcune modifiche.

E' una scatoletta di alluminio (o rame) (cm 4 x cm 4 x cm 3), rivestita di polistirolo (spessore cm 3), avente una massa di 65 g ricoperta con una lastrina di vetro (2 mm). La base interna della scatola è annerita (con vernice nero-opaco oppure con il fumo di una candela), in modo che il metallo riesca ad assorbire meglio l'energia solare.

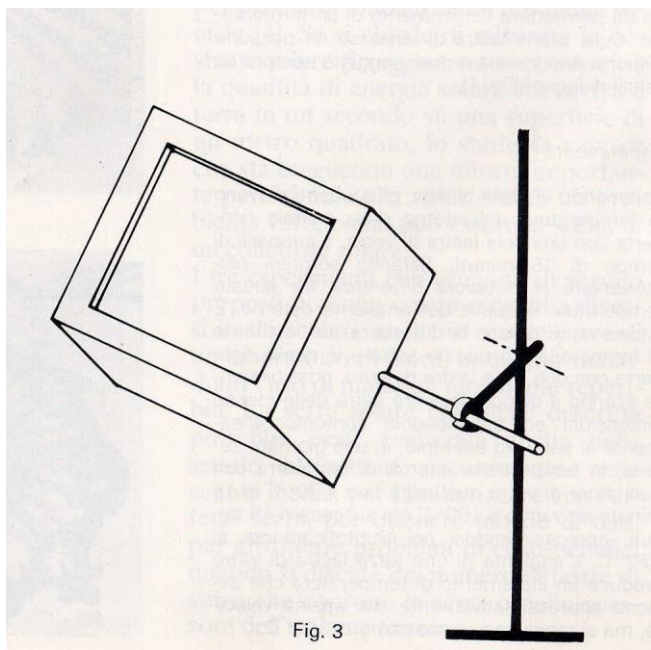


Fig. 3

Una faccia laterale della scatola deve essere forata in modo da permettere l'inserimento di un termometro che sia a contatto con il fondo.

Il calorimetro va montato su un'asta in modo che la faccia trasparente possa essere sempre ortogonale ai raggi del sole.

Esperimento

L'esperimento consiste nel misurare gli aumenti di temperatura del metallo nel calorimetro dovuti all'assorbimento di energia solare. Comunque, il metallo riscaldato irraggia a sua volta energia termica e le emissioni aumentano con l'aumentare della sua temperatura.

I valori delle temperature vengono presi a intervalli regolari di tempo (ogni 5 minuti), con il calorimetro esposto al sole, per costruire la curva di assorbimento del calore solare; e successivamente, quando si è raggiunta la temperatura massima, tenendo il calorimetro all'ombra per costruire la curva di emissione.

L'irraggiamento solare può essere determinato per ogni intervallo di temperatura dal grafico di Fig. 4.

L'energia totale ceduta dal sole alla scatoletta è costituita sia dall'energia assorbita che da quella emessa; quindi la somma di entrambe le quantità di energia, per un dato intervallo di temperatura, fornisce l'irraggiamento solare al livello del suolo. L'irraggiamento solare medio al livello del terreno è dato dalla media aritmetica dei valori calcolati su tutti gli intervalli di temperatura, come appare dalla Tabella.

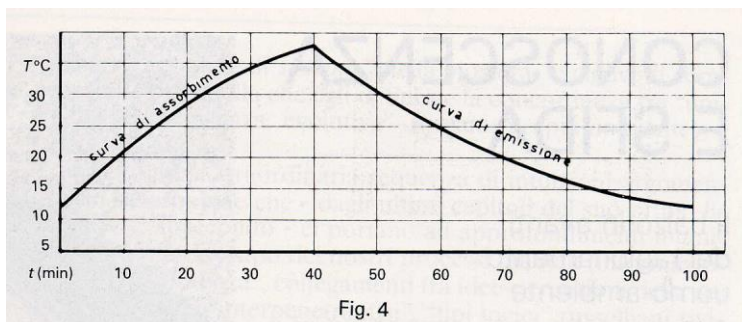


Fig. 4

Calcolo dell'irraggiamento solare in un dato intervallo di temperatura

Sia E l'irraggiamento solare, A l'area della faccia annerita della scatoletta, L la trasmittanza del vetro e a l'assorbenza della superficie nera della scatoletta.

Il valore della trasmittanza L è circa 0,87 ed è dato dal prodotto della trasmittanza del vetro (circa 0,95) per il fattore di riflessione: essendoci una perdita del 4% dovuta alla riflessione dei raggi solari

per ogni superficie di separazione aria-vetro, nel nostro caso le superfici di separazione sono due, e quindi il fattore di riflessione è $(0,96)^2 = 0,92$.

Quindi si ha:

$$L \cong 0,95 \times 0,92 \cong 0,87$$

Il fattore di assorbenza è $a = 0,97$.

Sia t_1 il tempo (in sec) occorrente per far salire la temperatura da $T_1^\circ \text{C}$ a $T_2^\circ \text{C}$ durante il ciclo di riscaldamento (calorimetro esposto al sole) e sia t_2 il tempo necessario per far scendere la temperatura da T_2 a T_1 durante il ciclo di raffreddamento (calorimetro all'ombra).

L'energia solare ricevuta dal calorimetro nel tempo t_1 è data da

$$W = E A L a t_1 \text{ (joules)}$$

L'energia richiesta per aumentare la temperatura della scatoletta è

$$Q = c m (T_2 - T_1)$$

dove m è la massa della scatoletta (in grammi, $m = 65 \text{ g}$) e $c = 0,214 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 0,894 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$ è il calore specifico dell'alluminio. Sia R l'energia irradiata dalla scatola in un secondo quando la sua temperatura passa da T_1 , a T_2 ,

Allora si ha

$$W = Q + R t_1$$

Ossia

$$E A L a t_1 = c m (T_2 - T_1) + R t_1 \quad [1]$$

Durante il ciclo di raffreddamento l'energia R irradiata in ogni secondo può essere considerata la stessa che viene irradiata nel periodo di riscaldamento per lo stesso intervallo di temperatura, quindi

$$R t_2 = c m (T_2 - T_1)/t_2 \quad [2]$$

da cui

$$R = c m (T_2 - T_1)/t_2$$

e sostituendo nella [1] si ha

$$E A L a t_1 = c m (T_2 - T_1) + c m (T_2 - T_1) t_1/t_2 = c m (T_2 - T_1) (1 + t_1/t_2)$$

Quindi

$$E = \frac{cm(T_2 - T_1)}{ALat_1} \left(1 + \frac{t_1}{t_2} \right) = \frac{cm(T_2 - T_1)}{ALa} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \quad [3]$$

L'esperimento è stato eseguito in laboratorio in due ore, mentre la preparazione del calorimetro ha richiesto diverso tempo (non è stata fatta in aula), soprattutto per la difficoltà di reperimento della scatola di alluminio.

Sono stati usati un termometro digitale e un solarimetro professionale per il confronto dei risultati (nell'esperimento riportato in Tabella l'irraggiamento medio misurato dal solarimetro è stato di 844 W/m^2).

Risultati sperimentali

Intervalli di temperatura $T_2 - T_1 = \Delta T$	Tempo per passare da T_1 a T_2 t_1	Tempo per passare da T_2 a T_1 t_2	$\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}$	$(T_2 - T_1) \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right)$
27,5° C - 25° C = 2,5° C	180 s	400 s	0,00805	0,02012
38° C - 34° C = 4° C	240 s	700 s	0,00558	0,02232
44° C - 42° C = 2° C	200 s	320 s	0,00812	0,01624
			Valore medio	0,01956

$$E = \frac{65 \times 0,214 \times 4,18 \times 0,01956}{0,0016 \times 0,87 \times 0,97} \cong 842 \text{ W/m}^2$$