

**ISTITUTO DI ISTRUZIONE
SUPERIORE "VOLTA"**
strada per Abbiategrasso 27100 PAVIA

**A.I.F.
SEZIONE DI PAVIA**
via Bassi, 6 27100 Pavia

**XXXII CORSO DI AGGIORNAMENTO IN FISICA
ANNO 2009
Terra e Universo**

Mariella Maggi e Graziella Margheritis

Misura della costante solare

Pavia - Autunno 2009

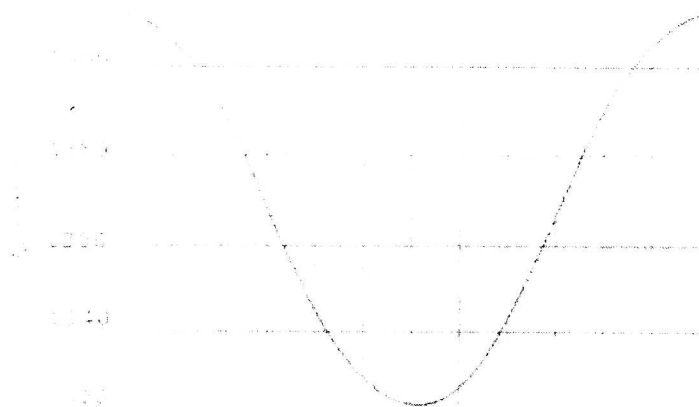
Costante solare

La costante solare, C , è definita come

l'energia che incide nell'unità di tempo su un metro quadrato di superficie posta su un piano perpendicolare ai raggi, misurata sul bordo superiore dell'atmosfera terrestre, alla distanza media della Terra dal Sole.

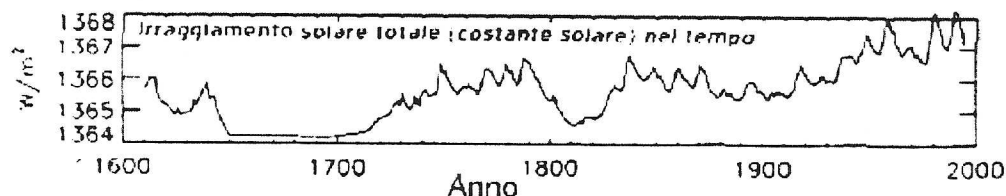
Le misure più recenti compiute dai satelliti forniscono un valore di 1367 W/m^2 .

Questo dato è da intendersi che può variare del $\pm 3,3 \%$ per effetto della distanza variabile tra il Sole e la Terra nel corso dell'anno. Considerando l'intera superficie sferica del pianeta, l'energia luminosa arriva sulla Terra con una potenza complessiva di 174 milioni di gigawatt.



Andamento dell'irraggiamento extraterrestre nel corso dell'anno

La costante solare tuttavia non è rigorosamente costante, ma varia a seconda dell'attività delle macchie solari. Si presume, ma non ancora dimostrato, sia una delle cause di cambiamenti climatici a lungo termine, ovvero a scala ultrasecolare, mentre influisce in maniera relativamente piccola sui cambiamenti climatici a breve termine.



La maggior parte dell'energia proveniente dal Sole è costituita di radiazioni elettromagnetiche con una lunghezza d'onda compresa tra $0,17$ e $4 \mu\text{m}$ circa.

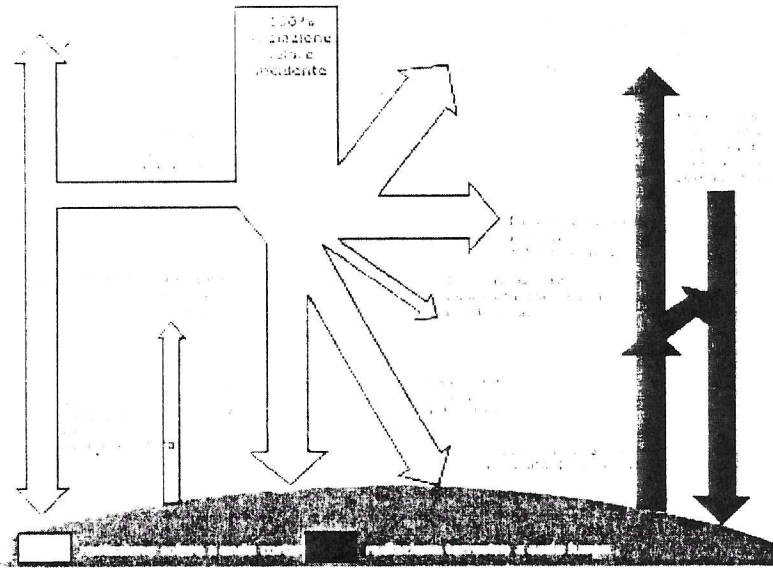
Queste radiazioni in meteorologia sono chiamate onde corte, mentre quelle con lunghezza d'onda superiore ai $4 \mu\text{m}$ sono dette onde lunghe.

Una considerevole frazione delle radiazioni solari viene assorbita e riflessa dall'atmosfera, cosicché solo il 51% circa della radiazione solare complessiva riesce a raggiungere la superficie terrestre. Quest'ultima non riesce a trattenere tutte le radiazioni solari che riceve, si ha infatti che in media il 4% di essa viene riflessa.

Le radiazioni effettivamente assorbite dal suolo terrestre costituiscono quindi circa il 47% della radiazione solare che investe il limite superiore dell'atmosfera (circa 80 milioni di gigawatt).

Questo naturalmente in tutta la parte illuminata del globo tenendo conto che giornalmente c'è sempre qualche zona coperta da nubi.

In una giornata serena mediamente la radiazione solare che giunge al suolo in un dato luogo col Sole allo zenit subisce una diminuzione del 26% (e quindi la costante solare al suolo in condizioni ottimali è circa 1000 W/m^2).



Bilancio radiativo complessivo dell'atmosfera

Le radiazioni assorbite dal suolo riscaldano la Terra, che a sua volta, irradia energia verso l'esterno sotto forma di onde lunghe. Queste onde vengono in gran parte assorbite dai gas atmosferici, in particolare dalle molecole di biossido di carbonio e di acqua. Il riscaldamento dell'atmosfera quindi deriva non solo dall'energia che riceve direttamente dal Sole, ma anche dalle onde lunghe provenienti dalla Terra.

La frazione di onde lunghe assorbita dall'atmosfera viene a sua volta rimessa in parte verso l'esterno, in parte verso la superficie terrestre, che così viene riscaldata anche da questa radiazione di ritorno. Il comportamento dell'atmosfera quindi è quello tipico dei vetri di una serra, impedendo la dispersione delle radiazioni emesse dal suolo, che così si mantiene caldo.

C'è da aggiungere inoltre che l'atmosfera viene riscaldata dal basso anche dal calore emesso durante il processo di evaporazione delle acque e dal calore trasmesso dalla superficie calda del terreno per conduzione o disperso nei moti dell'aria. Infine il valore della costante solare misurata (anche in condizioni di cielo sereno) dipende da latitudine, stagione, ora del giorno.

Esempio di determinazione della costante solare utilizzando una lastrina di alluminio annerita esposta al sole perpendicolarmente:

Descrizione sintetica dell'esperimento (realizzato col metodo indicato da Zanetti e pubblicato come inserto de "La Fisica nella scuola")

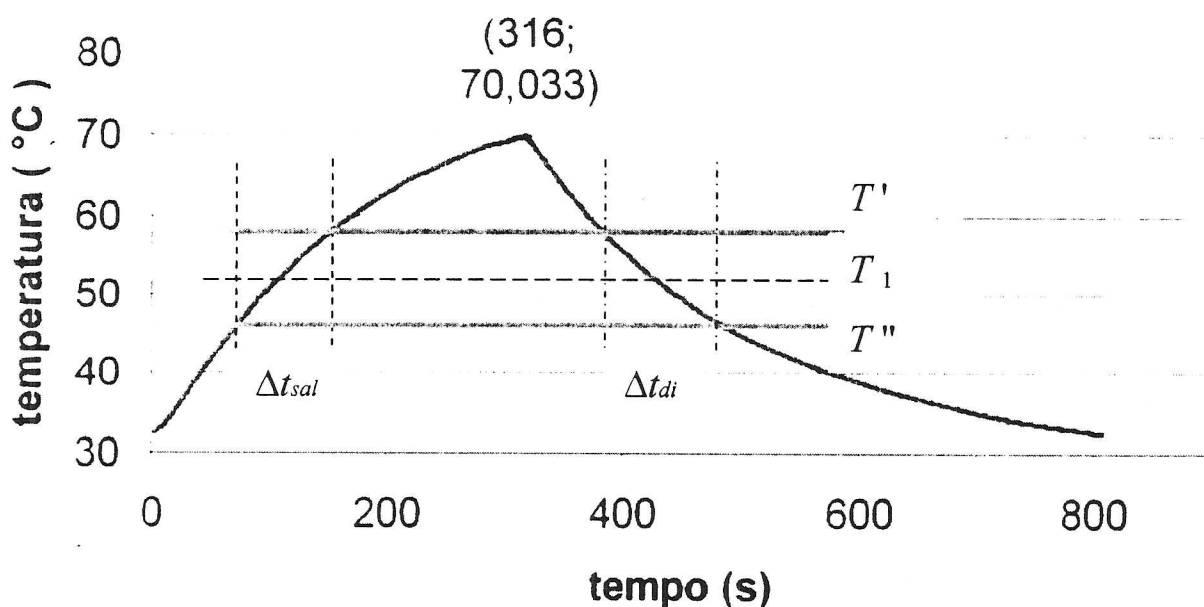
Una lastrina metallica annerita esposta perpendicolarmente ai raggi del Sole, aumenta la sua temperatura al passare del tempo.

Attraverso lo strumento GLX a cui è collegato un sensore di temperatura a contatto inferiormente con la lastrina si registrano (sia in grafico, sia in tabella) le variazioni di temperatura.

Non è necessario raggiungere la massima temperatura.

Si continua ad annotare il tempo e la temperatura (in diminuzione) anche dopo l'interposizione di uno schermo tra il Sole e la lastrina annerita.

Qui è rappresentato un esempio di grafico che si può ottenere.



Intervalli di tempo e di temperature scelti nella regione "più lineare" (in salita e in discesa):

$$\Delta T_{sal} = \Delta T_{di} = T'' - T' \quad (\text{variazioni di temperatura in aumento e in diminuzione})$$

$$\Delta t_{sal} = t(T''_{sal}) - t(T'_{sal}) \quad \Delta t_{di} = t(T'_{di}) - t(T''_{di}) \quad (\text{intervalli di tempo in cui avvengono le uguali variazioni di temperatura in aumento e diminuzione})$$

Potenza assorbita dalla lastrina:

Si usa la relazione fondamentale della calorimetria.

Un corpo a temperatura T_a e uno a temperatura T_b si scambiano una certa quantità di calore:

$$Q = mc\Delta T \quad (0)$$

dove m = massa del corpo; c = calore specifico del corpo (c alluminio: $921 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) e ΔT la differenza di temperatura

Per ricavare la potenza assorbita dalla lastrina di massa m e area S , dividiamo la (0) per $S \Delta t$ ottenendo: $q_i = mc \Delta T / S \Delta t$

Nel caso pratico della potenza q_i che ci giunge dal Sole al livello del suolo vale:

$$q_i = \frac{mc}{S} \left[\left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{sal} + \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{di} \right] \quad \frac{J}{m^2 s} = \frac{W}{m^2}$$

dove ΔT_{sal} : intervallo di temperatura nella fase di riscaldamento (salita);

ΔT_{di} : intervallo di temperatura nella fase di raffreddamento (discesa);

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{sal}$: pendenza della curva, nella fase di riscaldamento dello strumento, in un tratto rettilineo opportunamente scelto in prossimità di una certa temperatura di riferimento T_1 ;

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{di}$: pendenza della curva nella fase di raffreddamento, in valore assoluto, nello stesso intervallo di temperature considerate nella fase di riscaldamento.

La relazione

$$q_i = \frac{mc}{S} \left[\left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{sal} + \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{di} \right] \quad (1)$$

si spiega nel modo seguente.

Indichiamo con Q_{inc} l'energia che **incide** sulla lastrina nel tempo Δt , mentre con Q_{ced} la corrispondente energia che nello stesso tempo Δt viene **ceduta** dalla lastrina all'ambiente esterno (più freddo).

Quando la temperatura della lastrina non aumenta più, significa che queste due quantità di calore sono in valore assoluto uguali, cioè l'energia per unità di tempo e di superficie che assorbe la lastrina è pari a quella che dissipa.

Nella fase iniziale in cui la lastrina aumenta la sua temperatura (parte del grafico "in salita"), una certa quantità d'energia Q_{abs} è assorbita o immagazzinata, nel tempo Δt , nella lastrina stessa.

Per la *conservazione dell'energia* potremo quindi scrivere che l'energia incidente Q_{inc} è pari alla somma di quella assorbita dalla lastrina Q_{abs} e di quella che la lastrina cede **contemporaneamente** all'ambiente (più freddo) Q_{ced}

Ora, in base alla relazione fondamentale della calorimetria, l'energia immagazzinata Q_{abs} può essere così espressa:

$$Q_{abs} = mc\Delta T_{salita} \quad (2)$$

Questo termine è quindi "facile" da valutare.

Più problematica è la valutazione dell'energia Q_{ced} ceduta o dissipata dalla lastrina.

A questo serve l'analisi della curva nella fase di raffreddamento, cioè quando la lastrina è schermata.

Infatti, ora la lastrina perde calore verso l'ambiente proprio come quando era illuminata dal Sole ed era alla stessa temperatura, poiché non c'è ragione di pensare che la perdita di calore sia diversa (se non sono cambiate le condizioni meteorologiche o la temperatura dell'aria con cui scambia la lastrina annerita).

Perciò si può ancora utilizzare la relazione fondamentale della calorimetria, scritta per la fase di riscaldamento, nel calcolo dell'energia perduta dalla lastrina nel tempo

Δt considerato.

Ricapitolando, il bilancio energetico del disco può essere così formalizzato:

$$Q_{inc} = Q_{abs} + Q_{ced} \quad (3)$$

Allora l'energia incidente sull'unità di superficie ogni secondo sarà:

$$\text{potenza istantanea sull'unità di superficie} = \frac{Q_{abs}}{S \Delta t_{sal}} + \frac{Q_{ced}}{S \Delta t_{di}} \quad (4)$$

Ora, il primo membro può essere indicato con q_i e le sue unità di misura sono $\frac{J}{m^2 s}$,

ovvero rappresenta proprio l'energia che arriva per unità di area e di tempo, a livello del suolo.

Esplicitando i vari termini nella (4), si ottiene la relazione finale (1).

Se **valutassimo** la pendenza delle due parti della curva (riscaldamento e raffreddamento),

attorno a due diversi valori di temperatura, **dovremmo** ottenere due valore di q_i simili (entro gli errori sperimentali).

Considerazioni sulla misura

L'elaborazione dei dati sperimentali porterà a valori della radiazione solare al suolo (potenza) compresi tra circa 500 e 900 W/ m². Le cause di questa variabilità di risultati sono da imputare principalmente alla diversa altezza del Sole sull'orizzonte e alle diverse condizioni meteorologiche.

Per poter valutare con precisione l'altezza del Sole sull'orizzonte e correggere il risultato ottenuto si può tenere presente questa tabella che permette di calcolare in una qualunque ora del giorno e a qualunque latitudine (purché in cielo sia sereno) la percentuale di radiazione che effettivamente arriva la suolo:

altezza pignone posto in verticale al suolo	$h =$
lunghezza ombra pignone	$l =$
angolo rispetto alla verticale	$\alpha = \text{artan}(l/h)$
lunghezza percorso raggio solare nell'atmosfera	$L = 1/\cos\alpha$
% assorbimento di uno spessore pari a 1 atmosfera	26%
% assorbimento di uno spessore pari a L atmosfere	$(L \cdot 26)\%$
% di radiazione che arriva al suolo dopo aver attraversato uno spessore pari a L atmosfere	$(1 - L \cdot 26)\%$

Infine per essere ancora più precisi bisogna tenere conto che l'alluminio annerito non assorbe tutta l'energia che riceve ma, a seconda che sia lucido o opaco, ha un coefficiente di assorbimento che è compreso tra 0,85 e 0,95.

MISURA COSTANTE CON CILINDRETTI PASCO (e osservazione del diverso comportamento di materiali con superfici di diverso colore.)

Materiale

Due cilindretti in alluminio che differiscono solo per il colore della superficie: uno nero, l'altro bianco. (lunghezza = 3.83 cm, diametro = 1.91 cm massa = 29.1 g calore specifico Al 0.90 J/g* °C)
Tre sensori di temperatura
Supporto forato in cui inserire i sensori
Asta per reggere il supporto
Becker con acqua (per controllo concordanza termometri)
Glx con piccola interfaccia già inserita sul retro per la raccolta dei dati di tempo e temperatura online

Procedura

Mettere i cilindretti in un luogo con temperatura inferiore a quella ambiente, (comodo il frigor) almeno mezz'ora prima di iniziare le misure. Oggi sono già stati messi.

Il Glx è già acceso (non spegnerlo mai durante il laboratorio) e predisposto per una data frequenza di raccolta dati, ne raccoglie uno ogni 5 sec, e poi fa la media su dieci dati. Perciò fornisce un valore ogni 50 sec. Inoltre è predisposto perché si visualizzino i dati su quattro colonne: una porta il numero della misura, l'altra il tempo, le altre due le due temperature

Tenere aperto il sostegno inferiore del Glx (in modo che non si surriscaldi)

Far partire le misure col tasto START-STOP. Questa raccolta verrà automaticamente indicata con "run 1"

Controllare immergendo i sensori nel becker che essi segnino tutti la stessa temperatura a meno di 0,1 °C (Osservare avendo posto il Glx nella funzione "tabella")

Interrompere la raccolta schiacciando STOP.

Tenendo sempre acceso il GLX, togliere l'alimentazione estraendo il cavetto. Ora si può uscire sull'aia a fare le misure

Inserire i sensori sul supporto dell'asta cercando di disporre i cilindretti in modo che i raggi del sole siano paralleli alle bacchette. Fissare lì nei pressi anche il sensore "molle" di temperatura

Far partire le misure (verranno chiamate run 2) (taglieremo poi gli intervalli non necessari)

Mettere i cilindretti sulle rispettive bacchette, annotando di quale cilindretto il sensore misura la temperatura

Osservare avendo posto il Glx nella funzione "tabella" (4 colonne) i valori che vengono raccolti.

Quando la temperatura del cilindretto nero è di 4 - 5 gradi superiore a quella ambiente si possono interrompere le misure (può essere interessante continuarle, sapendo che si è raccolto l'essenziale per l'obiettivo che ci si è preposto, fino a quando la temp. rimane circa costante: calore assorbito = calore ceduto; poi togliere i cilindretti dal sole e studiare di nuovo l'andamento della temperatura)

Salvare i dati raccolti

Riportare i dati delle tre temperature in un grafico su carta millimetrata, valutando da che istante è interessante iniziare

Elaborazione dati

Si noterà subito che il cilindretto nero si scalda molto più velocemente di quello bianco. Nell'istante in cui il grafico della T ambiente interseca quello del cilindro nero, il cilindro non sta cedendo calore all'ambiente perché le due temperature sono uguali. Perciò se in quel punto ricavo la pendenza della tangente, posso calcolare il calore assorbito istantaneamente dal cilindretto che corrisponde a tutta l'energia incidente istantanea.

Perciò potenza incidente per unità di superficie e di tempo = $\text{Massa} \cdot C_s \cdot (DT/Dt) / \text{superficie}_{\text{ort}}$

N.B.

La superficie $_{\text{ort}}$ corrisponde alla sezione del cilindretto passante per il suo asse

Considerazioni molto più ricche ed approfondite si trovano sul sito della Pasco cercando "solar constant set TD- 8497"

SEQUENZA DI ISTRUZIONI PER UTILIZZARE GLX

L'esperienza proposta necessita il rilievo contemporaneo di due temperature per chi lavora con la tavoletta, di tre temperature per chi usa cilindretti Pasco. Tali rilievi verranno fatti automaticamente con lo strumento Glx, che ci presenterà i dati raccolti in una tabella. Tali dati dovranno poi essere letti manualmente e trasferiti manualmente su carta millimetrata per la loro interpretazione (non essendo oggi disponibili i p.c con data studio)

Qui di seguito sono elencati i comandi che si possono eseguire (con la successione scritta) per far misure e ottenere tale tabella. Naturalmente chi sa usare il Glx operi come ritiene meglio.

Lo strumento presenta sulla faccia superiore:

Schermo: diviso in: barra superiore, quadro centrale, banda inferiore

Serie tasti F

4

Tasti freccia (> <)(per spostarsi) e tasto conferma (V centrale)

5

Tasti vari (in senso orario):uscita, home, cancello ,bandiera, start-stop (nel centro)

5

Tastiera alfanumerica

16

Come procedere :

N.B. qualche volta bisogna attendere qualche istante prima che la pressione del tasto HOME sia efficace

TASTO	COMPARE
>START	Dati di temperatura
HOME	Quadro con 12 icone
SPOSTARSI >	datafiles
CONFERMA V	untitled
CONFERMA V	Spazio in una striscia ove scrivere il nome del file
ALFANUMERICA	digitare
CONFERMA V	
F2(save)	Nome file numero kb

Controllare le temperature: HOME - TABELLE.

Quando la temperatura del corpo nero è almeno 4:-: 5 gradi al di sopra di quella ambiente si hanno due scelte:

1) Interrompere (Tasto STOP) le misure: si dovrà usare il metodo della tangente nel punto d'intersezione con la curva della temp. ambiente (gruppi con i cilindretti)

2) Oscurare il corpo nero (mettendolo all'ombra), interrompendo le misure quando la sua temperatura sarà tornata vicino alla T ambiente (scelta vincolante per chi ha la tavoletta, possibile per chi ha i cilindretti)

ELABORAZIONE DATI..

HOME

CONFERMA

SPOSTARSI sul file salvato

F1

HOME

F2

Mettere i dati in grafico sulla carta millimetrata

TASTO	DESCRIZIONE
START	Start di temperatura
HOME	Quanto con 12 comm.
SPOSTARSI	dati file
CONFERMA V	unita
CONFERMA V	spazio in una stringa o/e scrivere il nome del file
ALFANUMERICA	digitare
CONFERMA V	Nome file numero kb
F2 (save)	