

# Spigolature astronomiche\*

A cura di Annibale D'Ercole

INAF · Osservatorio Astronomico di Bologna

## La costante solare

Claudio Elidoro

**I**N tempi in cui il controllo dell'impiego e la limitazione degli sprechi dell'energia assume un'importanza davvero strategica – e non solo per le nazioni, ma anche per il semplice bilancio familiare – può essere istruttivo provare a fare i conti in tasca alla nostra stella domestica ragionando sulla fine che fa l'energia che irradia tutt'intorno. Un controllo bonario, tenendo sempre in primo piano il fatto che dall'energia irraggiata dal Sole nello spazio dipende in modo stringente l'esistenza di ogni forma di vita sul nostro pianeta.

Dopo i primi tentativi di determinare quanta radiazione solare arrivasse sulla Terra effettuati nella prima metà dell'Ottocento dal francese Claude Matthias Pouillet (1790-1868) con un piroeliometro di sua concezione, la misurazione assunse un carattere sistematico alla fine dello stesso secolo, grazie all'assiduo lavoro di Samuel Pierpont Langley (1834-1906), inventore del bolometro e fondatore dello Smithsonian Astrophysical Observatory. Una traccia dell'opera di questo astronomo statunitense è rimasta nell'unità di misura – il *langley*, appunto – introdotta nel 1947 per indicare la distribuzione di energia su una superficie (un *langley* corrisponde a una caloria termochimica su centimetro quadrato o, seguendo il Sistema Internazionale, a 41840 joule su metro quadrato).

Nel Novecento il problema della determinazione della “costante solare” – come nel frattempo era stato battezzato il valore dell'irraggiamento della nostra stella misurato al limite superiore dell'atmosfera

– venne affrontato da Charles Greeley Abbot (1872-1973), inizialmente segretario dello Smithsonian Institute e poi successore di Langley alla guida dello Smithsonian Observatory. Le misurazioni, effettuate a diverse altitudini e in diverse regioni distribuite in tutto il mondo, condussero Abbot a stimare il valore medio della costante solare in circa 2 calorie al centimetro quadrato ogni minuto. Dai dati raccolti, però, emergeva anche la presenza di variazioni periodiche, riconducibili nel breve periodo al moto della Terra intorno al Sole e, in un più lungo periodo, al ciclo undecennale che caratterizza l'attività della nostra stella.

Le successive misurazioni, effettuate con il decisivo apporto dei satelliti che possono tener conto dell'energia a tutte le lunghezze d'onda, hanno sostanzialmente confermato sia il valore suggerito da Abbot, sia la variabilità della quantità di radiazione solare che raggiunge il nostro pianeta. Il valore medio standard solitamente assegnato alla costante solare è di 1,95 cal/cm<sup>2</sup> min corrispondenti a 1365 W/m<sup>2</sup>.

Trascurando la variabilità imputabile al ciclo solare, è immediato comprendere come debba necessariamente esistere un andamento annuale del valore della costante solare, ricordando come l'orbita percorsa dalla Terra intorno al Sole non sia circolare, bensì ellittica. Proprio la presenza di un momento di massima vicinanza al Sole all'inizio del mese di gennaio (perielio) e di massima lontananza all'inizio del mese di luglio (afelio) dà ragione della variazione annuale che appare nel grafico di FIG. 1.

Il valore della costante solare è dunque la potenza che investe ogni metro quadrato della superficie del nostro pianeta. Allo stesso identico modo, però, raggiunge ogni metro quadrato che compone la gigantesca superficie sferica che ha per centro il Sole e per raggio la distanza che ci separa dalla nostra stella. Questa semplice considerazione geometrica e un paio di calcoli elementari ci permettono dunque di risalire alla potenza emessa dal Sole nello spazio.

Infatti, utilizzando per la distanza Terra-Sole il valore medio di 150 milioni di chilometri (dunque  $1,5 \times 10^{11}$  metri) e ricordando che la superficie di una

\* Questa rubrica si propone di presentare in modo sintetico e, per quanto possibile, autoconsistente argomenti che stanno alla base della conoscenza astronomica, spesso trascurati nella letteratura divulgativa, in quanto ritenuti di conoscenza generale oppure troppo difficili o troppo noiosi da presentare ad un pubblico non specialistico. Questi “fondamenti di astronomia”, volutamente trattati in uno spazio limitato, possono essere letti a due livelli; eventuali approfondimenti per i lettori che desiderino ampliare la conoscenza dell'argomento vengono esposti in carattere corsivo e incorniciati. Si suggerisce questa rubrica, quindi, a studenti dei vari tipi e livelli di scuole. Le *Spigolature astronomiche* si possono trovare anche in rete, nel sito Web del «Giornale di Astronomia», [www.bo.astro.it/sait/giornale.html](http://www.bo.astro.it/sait/giornale.html).

sfera vale  $4 \pi R^2$  possiamo facilmente ricavare che la potenza totale emessa dal Sole è di  $3,8 \times 10^{26}$  watt.

Già sappiamo che solo una minima parte di questo smisurato flusso energetico viene intercettata dal nostro pianeta (rimandiamo il calcolo al livello avanzato), ma dobbiamo anche evidenziare come non tutta la radiazione che investe la Terra raggiunga il suolo a causa dell'azione schermante esercitata dalla nostra atmosfera. Nell'interagire con l'atmosfera, infatti, la radiazione solare è soggetta a fenomeni di riflessione, assorbimento e diffusione per opera dei gas presenti e delle particelle solide in sospensione nell'atmosfera stessa (si pensi, per esempio, alle ceneri immesse dalle eruzioni vulcaniche e alla presenza delle stesse nubi). Poiché questi fenomeni sono strettamente legati alla frequenza della radiazione, inoltre, lo spettro solare ne risulta modificato e appare più irregolare rispetto a quello originario, mostrando le tipiche bande di assorbimento.

Non tutta la radiazione che giunge a lambire la Terra, si diceva, è destinata anche a raggiungere il suolo. Tutti i corpi celesti, infatti, riflettono nello spazio una parte della radiazione che li colpisce. La Terra per esempio – che non fa eccezione – respinge direttamente al mittente circa il 37% della radiazione solare che la investe. Gli astronomi indicano tale capacità riflettente con il nome di “albedo” e, tra l'altro, è proprio questo fenomeno che ci permette di osservare la Luna, i pianeti e i loro satelliti e gli asteroidi.

Per definizione, l'albedo massima vale 1 (tutta la radiazione viene riflessa), mentre il valore minimo è 0 (tutta la radiazione viene assorbita). Ogni superficie, a seconda del materiale che lo compone e della sua morfologia, è caratterizzata da un preciso valore dell'albedo: per esempio, quello della neve fresca è circa 0,90 mentre il valore tipico per una lavagna in ardesia è di circa 0,15.

Giusto per avere un'idea più concreta del fenomeno in campo astronomico, la TAB. 1 riporta i va-

*Può essere interessante valutare quantitativamente la variazione nel corso dell'anno della costante solare che abbiamo imputato all'orbita ellittica percorsa dal nostro pianeta. Il parametro che descrive geometricamente quanto un'orbita ellittica sia prossima al cerchio oppure molto schiacciata è detto “eccentricità” e per la Terra il suo valore è 0,0167. È grazie a questo parametro orbitale che possiamo determinare quanto varia la distanza pianeta-Sole dal suo valore minimo (al perielio) a quello massimo (all'afelio).*

*Tali distanze sono facilmente calcolabili partendo dal valore di un altro parametro orbitale: il semiasse maggiore dell'orbita (che nel caso della Terra vale 149,6 milioni di chilometri). Infatti, indicando con  $q$  e  $Q$  rispettivamente la distanza al perielio e all'afelio, con  $e$  l'eccentricità dell'orbita e*

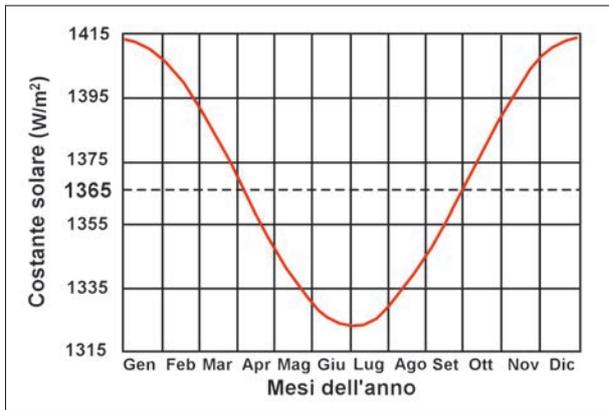


FIG. 1. Andamento annuale della costante solare. Si può notare dal grafico come il valore minimo corrisponda ai nostri mesi estivi. L'apparente incongruenza è dovuta al fatto che è proprio quando il nostro emisfero è in piena estate che la Terra è più distante dal Sole.

lori delle albedo della Terra e di alcuni oggetti del Sistema solare:

Oggetto	Venere	Terra	Luna	Marte	Saturno
Albedo	0,65	0,37	0,12	0,15	0,47

TABELLA 1

Tabella istruttiva, che ci permette di comprendere come l'elevata luminosità di Venere (è l'astro più brillante del nostro cielo) non dipenda solo dal fatto che il pianeta è più vicino al Sole, ma soprattutto dalla sua albedo davvero elevata, conseguenza del fitto involucro di nubi che avvolge il pianeta. Lascia certamente un po' perplessi il bassissimo valore dell'albedo lunare, paragonabile a quello del vecchio asfalto delle nostre strade (il cui valore riportato dalla tabella della norma UNI 8477 è 0,10). In questo caso, però, diventa fondamentale l'estrema vicinanza – in termini astronomici – della Luna al nostro pianeta.

*con  $a$  il suo semiasse maggiore, valgono le seguenti relazioni:*

$$q = a(1 - e)$$

$$Q = a(1 + e)$$

*Sostituendo in esse i valori dell'eccentricità e del semiasse maggiore della Terra, otteniamo che al perielio ( $q$ ) la distanza Terra-Sole è di circa  $147 \times 10^6$  km, mentre all'afelio ( $Q$ ) tale distanza diventa circa  $152 \times 10^6$  km. Un banale calcolo ci indica che, rispetto al semiasse maggiore, la distanza dal Sole quando la Terra è all'afelio o al perielio presenta una variazione percentuale (in più o in meno) di circa 1,7%.*

*Poiché la quantità di radiazione che possiamo raccogliere su una superficie unitaria è legata alla distanza che ci separa dalla sorgente da una legge*

quadratica inversa, le variazioni di distanza che abbiamo appena calcolato comportano che all'afelio la costante solare risulti inferiore di circa il 3%, mentre al perielio risulti superiore all'incirca di un'analoga quantità. Traducendo questa valutazione percentuale in misure concrete, otteniamo che a gennaio (perielio) il valore della costante solare è di circa  $1410 \text{ W/m}^2$  mentre a luglio (afelio) tale valore scende a circa  $1320 \text{ W/m}^2$ .

Prima di dimenticarne, abbiamo un calcolo in sospeso da effettuare. Come promesso, dobbiamo infatti calcolare quanta parte di quello smisurato flusso di radiazione emesso dal Sole (la cui potenza abbiamo poco fa valutata in  $3,8 \times 10^{26} \text{ W}$ ) viene intercettato dal nostro pianeta. Avendo definito la costante solare come la quantità di energia che ogni secondo investe perpendicolarmente una superficie di  $1 \text{ m}^2$  appena al di fuori dell'atmosfera, sfruttiamo per il calcolo proprio tale quantità.

Il modo più semplice per valutare l'energia intercettata dalla Terra è quello di immaginare che tale flusso venga raccolto da una superficie circolare il cui raggio ( $a$ ) è pari al raggio terrestre ( $6,37 \times 10^6 \text{ m}$ ). Volendo fare i pignoli, non in tutti i punti di tale superficie la radiazione risulta perfettamente perpendicolare, ma per la nostra valutazione possiamo immaginare che lo sia (in fondo, ce lo autorizza la cospicua distanza che ci separa dal Sole).

Indicando dunque con  $S_0$  la costante solare, l'energia intercettata è data da:

$$S = S_0 \pi a^2 = 1,74 \times 10^{17} \text{ W}$$

L'obiezione appena fatta sulla superficie che non è perfettamente perpendicolare ci porta inevitabilmente a una drammatica rivalutazione della costante solare. Già sappiamo che il suo valore deve fare i conti con l'attraversamento dell'atmosfera, ma ancor più significativo è il fatto che non tutta la superficie terrestre illuminata dal Sole ha l'astro proprio allo zenit. Immaginando di trascurare gli effetti atmosferici, infatti, saranno solamente le zone con il Sole allo zenit che potranno raccogliere i fatidici  $1365 \text{ W/m}^2$ , mentre per le altre quel valore sarà sempre più basso con l'aumentare della distanza angolare del Sole dallo zenit.

Si tratta del noto effetto di proiezione, descritto dalla relazione

$$S_A = S_0 \cos Z$$

oppure

$$S_A = S_0 \sin h$$

in cui il valore  $S_A$  del flusso solare in un punto della superficie terrestre (ricordiamo ancora che stiamo trascurando gli effetti dell'atmosfera) dipende dall'angolo  $Z$  tra il Sole e lo zenit o, detto in altro modo, dall'altezza angolare  $h$  del Sole sull'orizzonte (notiamo che le due grandezze sono legate tra loro dalla relazione  $Z + h = 90^\circ$ ).

Giusto per applicare la formula (e introdurre qualche considerazione accessoria), proviamo a valutare a quanto ammonti la radiazione solare in una località di latitudine  $45^\circ$  nord al mezzogiorno del solstizio d'inverno. Sappiamo che al solstizio d'inverno il Sole raggiunge il punto più basso della sua culminazione e la sua massima altezza sull'orizzonte in quel giorno dipende strettamente dalla latitudine. I manuali di astronomia indicano che tale altezza ( $h$ ) vale **latitudine** -  $23,5^\circ$ , dove il valore numerico, come sicuramente i più accorti avranno intuito, è l'inclinazione dell'asse terrestre sulla sua orbita.

Per la nostra località, dunque, al mezzogiorno del solstizio invernale il Sole ha un'altezza sull'orizzonte di  $21,5^\circ$ .

Utilizzando questo angolo e valutando la costante solare  $1410 \text{ W/m}^2$  (valore indicato in precedenza) otteniamo

$$S_{45} = 1410 \sin(21,5^\circ) \sim 516 \text{ W/m}^2$$

Già che ci siamo, proviamo a vedere cosa avviene nella stessa località in occasione del solstizio estivo (ricordiamo che in tale circostanza la massima altezza sull'orizzonte vale **latitudine** +  $23,5^\circ$ ).

Questa volta il calcolo (e un valore della costante solare di  $1320 \text{ W/m}^2$ ) ci porta a ottenere

$$S_{45} = 1320 \sin(68,5^\circ) \sim 1228 \text{ W/m}^2$$

due risultati che ci spiegano immediatamente come mai le temperature invernali siano più rigide di quelle estive ...

---

**Claudio Elidoro** si è laureato in Astronomia presso l'Università di Bologna con una tesi riguardante i Corpi minori del Sistema solare e si è diplomato al Master in Comunicazione Scientifica presso l'Università di Milano. È insegnante di matematica in una scuola professionale di Cremona e svolge attività di divulgazione astronomica scrivendo articoli per riviste del settore. Ha curato la prima parte della versione *online* delle Spigolature Astronomiche. Nel dicembre 2006 il Minor Planet Center ha assegnato il suo nome all'asteroide (43956) Elidoro.