

Perché in estate fa più caldo che in inverno?

a cura di Giancarlo Buccella

La variazione dell'intensità luminosa che arriva dal Sole sulla Terra è dovuta a due fattori: alla variazione della distanza della Terra dal Sole e dal variare dell'angolo di incidenza dei raggi sulla superficie terrestre.

Premessa: legge del quadrato della distanza.

Supponiamo di avere una certa sorgente luminosa (una candela, una lampadina, il Sole...) è intuitivo pensare che la sua "potenza luminosa", ossia l'energia che emette nell'unità di tempo (che si misura in watt) si distribuisca uniformemente nello spazio e cioè ad una particolare distanza R, sulla superficie di una sfera di raggio R, e questa "distribuzione di energia" viene descritta dalla grandezza "intensità" che quindi si misura in W/m^2 .

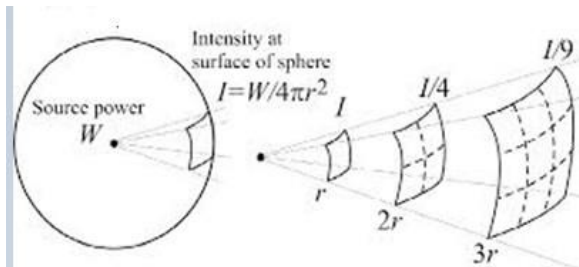
In particolare conoscendo la potenza emissiva del Sole sarà possibile ricavare l'intensità che arriva alla distanza della Terra.

Infatti si ha che l'intensità luminosa di una sorgente diminuisce con la distanza semplicemente con la legge dell'inverso del quadrato della distanza

$$I = \frac{P_0}{4\pi R^2}$$

dove P_0 è una costante (ossia il valore della potenza luminosa emessa dalla sorgente) ed R è la distanza.

Questa formula non ci dice nient'altro che (ricordando che l'area della superficie di una sfera di raggio R è $4\pi R^2$) la potenza emissiva della sorgente luminosa si spande sulla superficie di una sfera che dista R dalla sorgente stessa.



- P_0 è la luminosità intrinseca del Sole (potenza totale emessa, in watt) $P_0 = 3.828 \cdot 10^{26} \text{ W}$
- R è la distanza media tra la Terra e il Sole (circa $1,496 \times 10^{11} \text{ m}$)

$$I_s = \frac{3.828 \cdot 10^{26}}{4\pi (1.496 \cdot 10^{11})^2} = 1360 \text{ W/m}^2$$

(Il valore medio più recente misurato dai satelliti è di 1367 W/m^2)

Questa intensità è chiamata costante solare e rappresenta l'intensità media della radiazione solare (che incida perpendicolarmente sull'unità di superficie) appena fuori dall'atmosfera terrestre.

In Italia al suolo in estate con il sole allo zenit è di circa 1000 W/m^2 .

Variazione dovuta alla distanza Terra-Sole

Nel calcolo precedente avevamo assunto come distanza Terra-Sole il valore medio, ora invece dobbiamo calcolare come varia l'intensità con il variare della distanza, sapendo che tale variazione è di circa 5 milioni di chilometri.



I valori delle distanze Terra-Sole sono:

$$R_{\text{estate}} = 152 \text{ milioni di chilometri} = 1.526 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$R_{\text{inverno}} = 147 \text{ milioni di chilometri} = 1.475 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$I_{\text{ESTATE}} = \frac{3.828 \cdot 10^{26}}{4\pi (1.526 \cdot 10^{11})^2} = 1309 \text{ W / m}^2$$

$$I_{\text{INVERNO}} = \frac{3.828 \cdot 10^{26}}{4\pi (1.475 \cdot 10^{11})^2} = 1400 \text{ W / m}^2$$

La variazione dell'intensità dovuta solamente alla distanza è di circa 100 W/m²

Quindi se questo fosse l'unico fattore per descrivere la situazione dovrebbe far caldo più in inverno che in estate, ma c'è anche un altro fattore che influenza il valore dell'intensità ed è l'inclinazione dei raggi rispetto alla superficie terrestre.

Variazione dovuta al variare dell'angolo di incidenza

Premessa

Quando una radiazione luminosa di intensità I incide su una superficie inclinata, l'intensità della radiazione che colpisce effettivamente la superficie è influenzata dall'angolo di incidenza θ (l'angolo tra la direzione della radiazione e la normale alla superficie).

Il valore dell'intensità effettiva della radiazione che incide perpendicolarmente alla superficie inclinata si calcola come:

$$I = I_0 \cos\theta$$

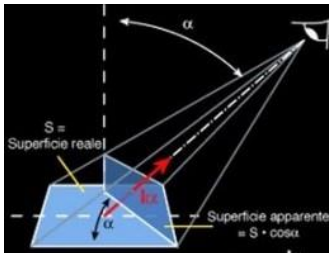
- I_0 è l'intensità della radiazione incidente (lungo la direzione della radiazione),
- θ è l'angolo tra la direzione della radiazione e la normale alla superficie.

Considerando l'intensità della radiazione solare al limite dell'atmosfera terrestre, come abbiamo visto:

$I = 1360 \text{ W/m}^2$ ed è immediata la verifica della formula precedente, infatti essendo l'angolo di incidenza pari a zero si ha

$$I = I_s \cos 0^\circ = I_s = 1360 \text{ W / m}^2 \text{ (essendo } \cos 0^\circ = 1)$$

Nel caso invece la superficie che intercetta la radiazione è inclinata di un certo angolo rispetto alla perpendicolare è intuitivo pensare che l'intensità diffondendosi su una superficie più ampia rispetto alla precedente avrà un valore (per unità di area) inferiore, ed è la funzione coseno che ci rende conto di tale diminuzione.



Incidenza perpendicolare: Angolo 0° $\cos 0^\circ = 1$ $I = I_s \cos 0^\circ = I_s \cdot 1 = 1360 \text{ W / m}^2$

Incidenza parallela: Angolo 90° $\cos 90^\circ = 0$ $I = I_s \cos 90^\circ = I_s \cdot 0 = 0 \text{ W / m}^2$

L'unico parametro ai fini del calcolo dell'intensità è dato dall'angolo di incidenza θ , che ripetiamolo è l'angolo fra la direzione dei raggi solari (che supponiamo arrivino tutti paralleli fra loro a causa della grande distanza dalla sorgente) e la perpendicolare alla superficie di incidenza, ossia al piano tangente alla superficie terrestre in un dato punto.



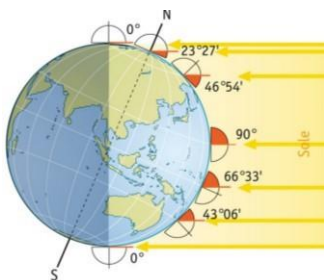
Per trovare l'angolo θ , possiamo usare la seguente formula:

$$\theta = \lambda - \delta$$

dove λ è l'angolo della latitudine del luogo considerato (Roma: $\lambda = 41^\circ 54'$), mentre δ è la **declinazione solare**, un angolo che varia con le stagioni secondo l'inclinazione della Terra.

[La declinazione solare (δ) è l'angolo formato dalla direzione dei raggi solari sul meridiano considerato con il piano equatoriale terrestre. Essa varia durante l'anno a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre e non dipende dalla latitudine ma solo del giorno dell'anno considerato ed è la stessa per tutti i punti lungo il meridiano.]

Ad esempio nel solstizio d'estate i raggi solari incidono perpendicolarmente al parallelo del tropico del cancro (vedi figura), mentre al solstizio d'inverno sono perpendicolari al tropico del capricorno; mentre nell'equinozio di primavera ed autunno sono perpendicolari all'equatore.



I valori di δ in gradi sono circa:

- Solstizio d'inverno (21 dicembre): $\delta = -23,5^\circ$
- Equinozio di primavera (21 marzo): $\delta = 0^\circ$
- Solstizio d'estate (21 giugno): $\delta = +23,5^\circ$
- Equinozio d'autunno (23 settembre): $\delta = 0^\circ$

Calcoliamo come varia l'intensità ad Alanno considerando solo l'aspetto dell'inclinazione dei raggi.

$$\text{Latitudine Roma } \lambda = 41^\circ 54' \quad \delta_{\text{INVERNO}} = -23,5^\circ \quad \delta_{\text{ESTATE}} = 23,5^\circ$$

$$I_{\text{INVERNO}} = I_s \cos \theta = I_s \cos(\lambda - \delta) = 1360 \cos(41^\circ 54' - (-23^\circ)) = 1360 \cos 65^\circ = 577 \text{ W / m}^2$$

$$I_{\text{ESTATE}} = I_s \cos \theta = I_s \cos(\lambda - \delta) = 1360 \cos(41^\circ 54' - 23^\circ) = 1360 \cos 65^\circ = 1287 \text{ W / m}^2$$

La variazione dovuta solo alla variazione dell'angolo di incidenza circa 700 W/m²

Quindi la principale variazione dell'irraggiamento solare è dovuta alla variazione dell'angolo di incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre nei vari periodi dell'anno.

Concludendo facendo riferimento a Roma, fra estate e inverno, si ha una variazione negativa di 100 W/m² dovuta alla distanza, mentre si ha una variazione positiva di 700 W/m², dovuta all'inclinazione, quindi si ha un **saldo positivo di 600 W/m² a favore dell'estate**. Ecco perché in estate fa più caldo che in inverno.