



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Biometeorologia

LA RADIAZIONE SOLARE

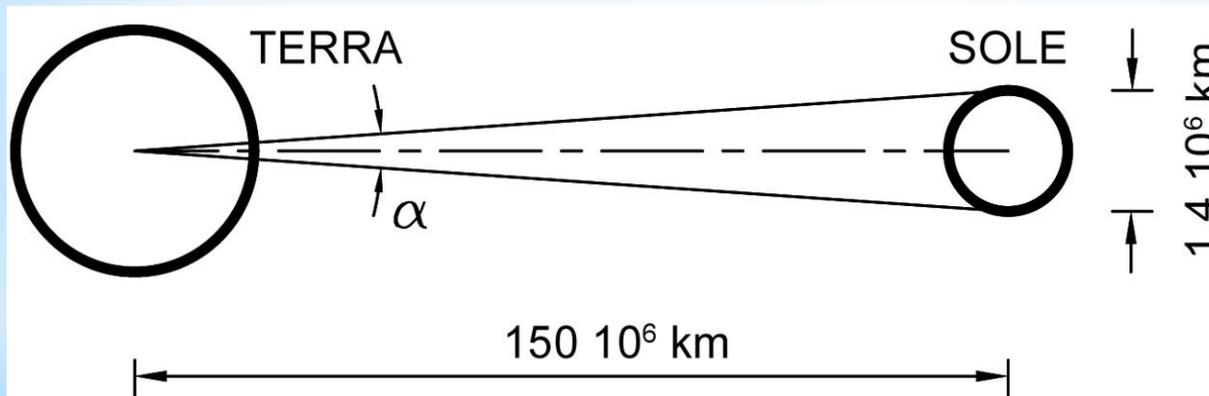
Matteo De Vincenzi

Ricercatore del CNR IBIMET



Trascurando il minimo contributo geotermico possiamo affermare che la radiazione solare è l'unica fonte di energia per la Terra. Tutte le altre forme legate ai combustibili fossili, al vento, alle correnti marine, ecc. sono una conseguenza della radiazione solare.

La radiazione solare è prodotta da reazioni nucleari (fusione) all'interno del Sole. Questo corpo gassoso, che dista dalla Terra di circa 150 milioni di chilometri e ha un diametro di circa 1,4 milioni di chilometri, è visto dalla Terra come un disco contenuto in un angolo di $0,5^\circ$.



$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{0,7 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6}$$

da cui $\alpha = 0,5^\circ$

Il Sole, avendo una temperatura superficiale di circa 5400 gradi centigradi, da cinque miliardi di anni, emette nello spazio circostante una enorme energia elettromagnetica che al limite della atmosfera terrestre raggiunge i 1400 joule al secondo per ogni metro quadrato (costante solare), ovvero 1400 watt per ogni metro quadrato

Una qualunque superficie che intercetta una radiazione può:

- assorbirla → coefficiente di assorbimento α
- rifletterla → coefficiente di riflessione ρ
- trasmetterla → coefficiente di trasmissione τ

Poiché in natura non esistono superfici completamente assorbenti o perfettamente riflettenti o assolutamente trasmittenti, i tre aspetti sono sempre presenti e con le loro quote caratterizzano la superficie

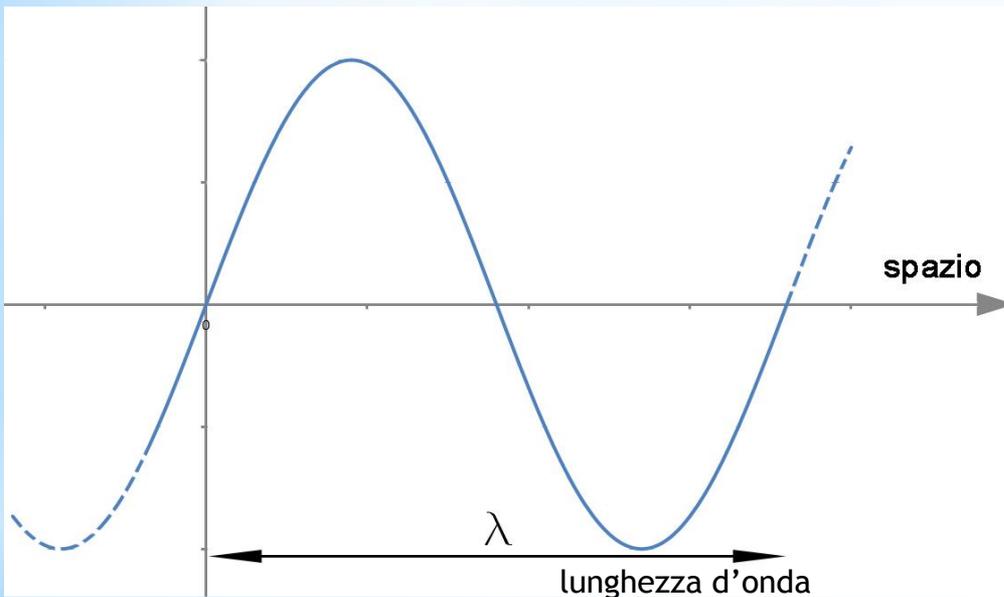
$$R_i = R_a + R_r + R_t$$

dividendo entrambi i membri per R_i

$$1 = R_a/R_i + R_r/R_i + R_t/R_i$$

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

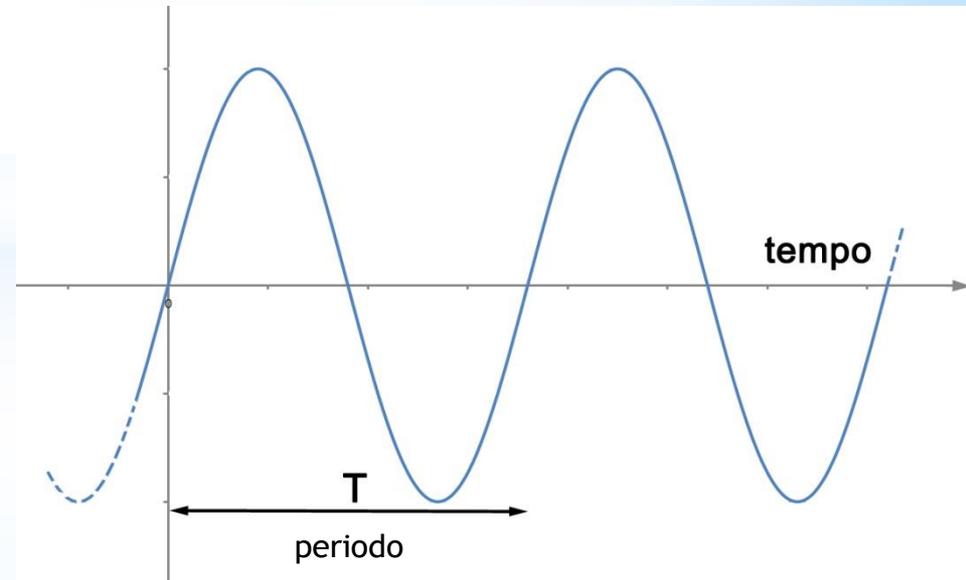
Qualsiasi corpo a temperatura superiore allo zero assoluto irradia nello spazio circostante “energia radiante” o più brevemente “radiazione”. Un modello matematico, che spiega un gran numero di fenomeni attinenti alla radiazione, attribuisce a questa natura ondulatoria, con chiara analogia ad altri fenomeni naturali come il propagarsi della perturbazione prodotta da un sasso lanciato in uno specchio d’acqua



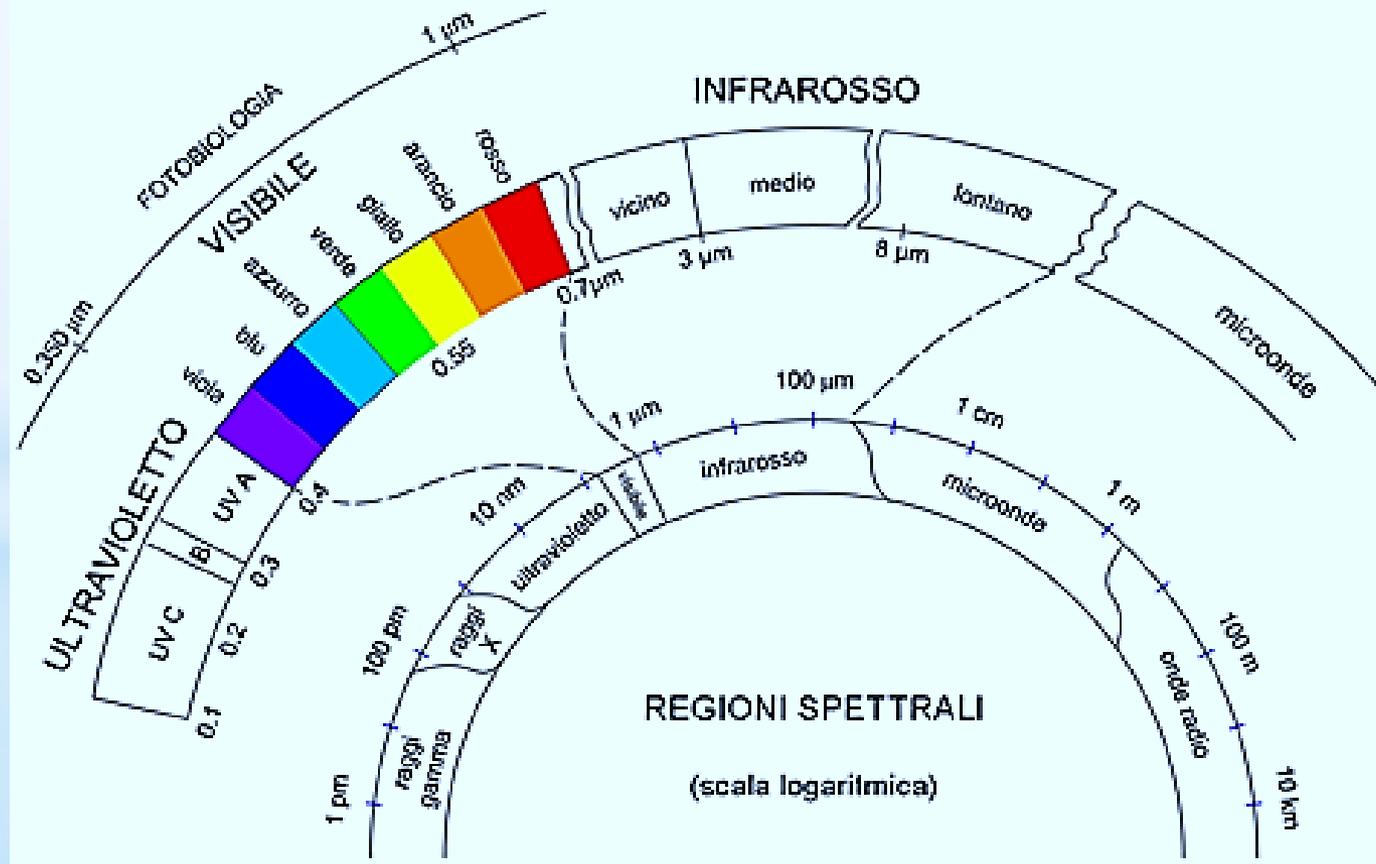
Indicando con λ , lo spazio occupato da ogni onda T , il tempo, periodo, necessario a percorrere lo spazio λ la velocità C con cui si propaga l’onda è

$$C = \frac{\lambda}{T}$$

se indichiamo con f , frequenza, il numero di oscillazioni nell’unità di tempo vale la relazione:
 $f = \frac{1}{T}$ frequenza
da cui $C = \lambda f$



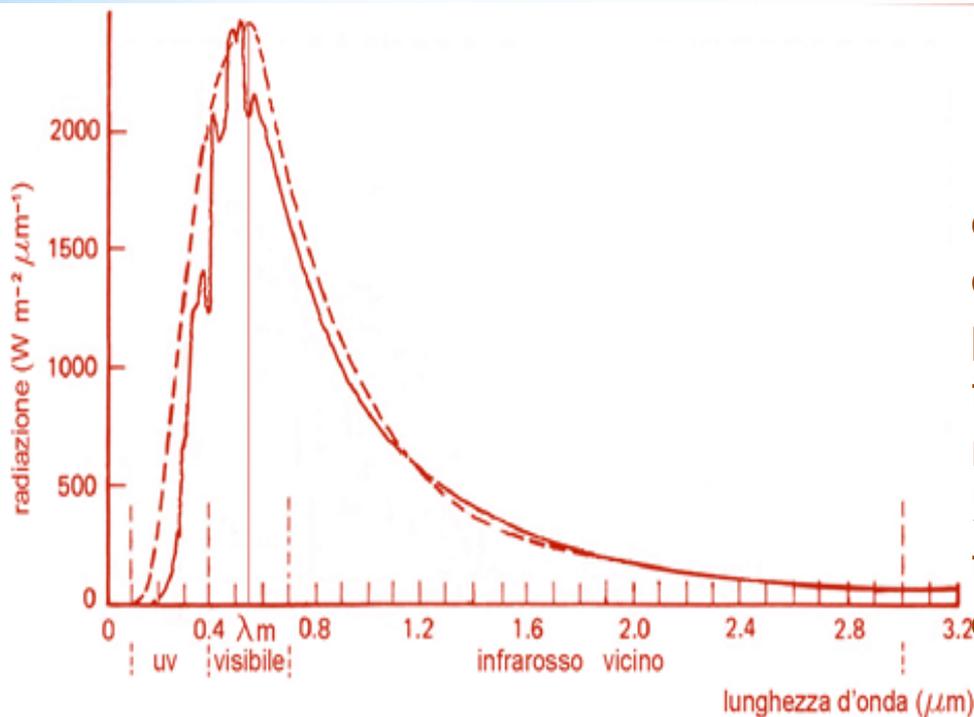
Un aspetto semplifica l'analisi delle onde elettromagnetiche rispetto ad altro tipo di onde: la velocità dell'onda è praticamente uguale, e costante, nel vuoto e in aria, mezzi di nostro interesse ($c = 300\,000\text{ km/s}$, circa). Da ciò discende che se è nota λ lo è anche f e viceversa, inoltre, essendo il loro prodotto una costante, all'aumentare dell'una diminuisce l'altra. Per quanto sopra, nel seguito parleremo indifferentemente di lunghezza d'onda o di frequenza della radiazione.



Tutti i corpi (ad eccezione dei gas rarefatti), per effetto della loro temperatura, emettono uno spettro continuo di lunghezze d'onda secondo un andamento analogo a quello della figura (che si riferisce al Sole). Questa curva mostra un massimo che dipende solamente dalla temperatura del corpo ed è esprimibile, con buona approssimazione, con la relazione:

$$\lambda_m = \frac{3000}{T}$$

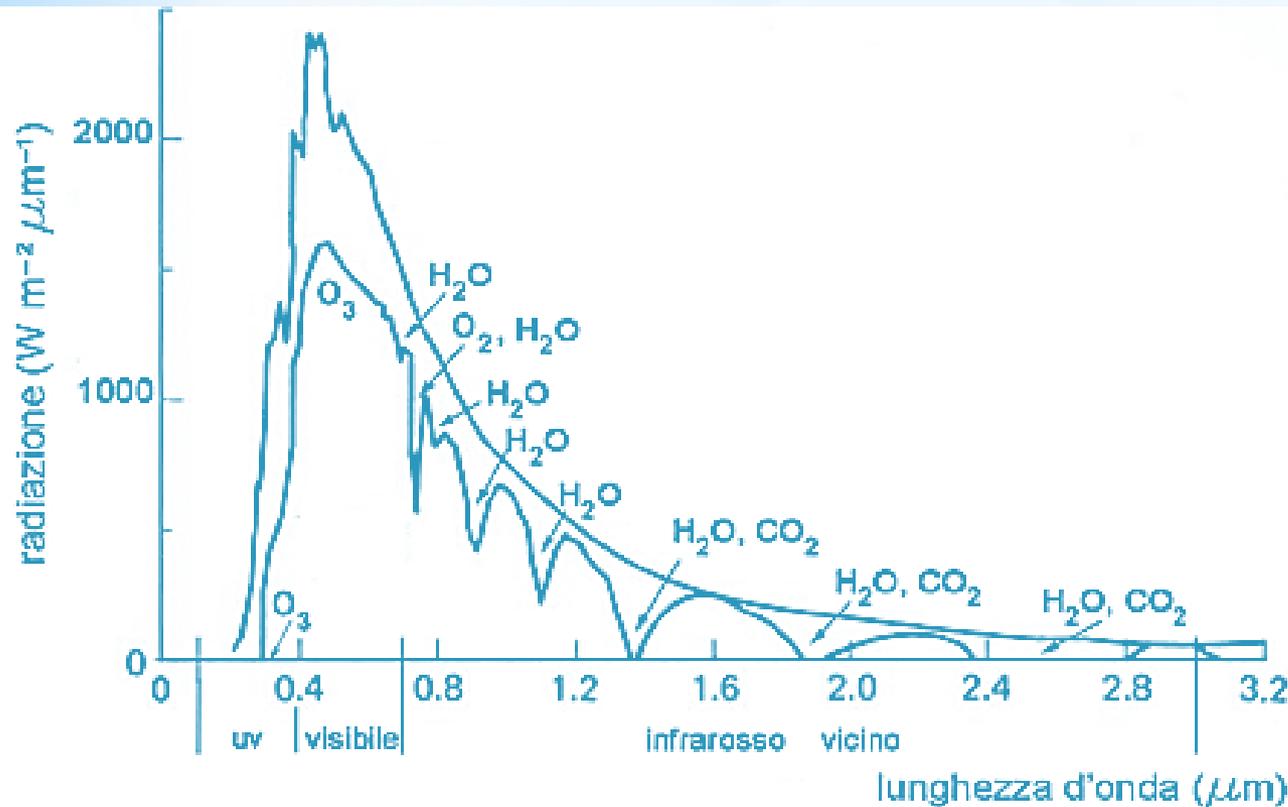
dove: T, temperatura del corpo espressa in kelvin,
 λ_m , lunghezza d'onda a cui si ha il massimo dell'emissione radiativa, espressa in micro-metri



Spettro della radiazione solare al di sopra dell'atmosfera terrestre, valutata alla distanza media fra Sole e Terra: intensità per ogni lunghezza d'onda (linea a tratto intero) che risulta molto simile alla radiazione emessa da un corpo nero a 5700 K posto alla stessa distanza (linea tratteggiata). Si osservi il massimo di emissione intorno a 0,55 μm .

Il Sole emette energia elettromagnetica con la massima intensità prevalentemente nella gamma visibile.

Nell'attraversare l'atmosfera le radiazioni con minor lunghezza d'onda (ad esempio quelle Ultra-Violette) sono assorbite, in buona parte, dall'ozono, O_3 , che costituisce



la parte più alta della stratosfera, mentre le radiazioni con lunghezza d'onda maggiore (ad esempio Infra-Rosse) sono assorbite dal vapor d'acqua, H_2O , e dall'anidride carbonica, CO_2 , presenti negli strati più bassi della troposfera.

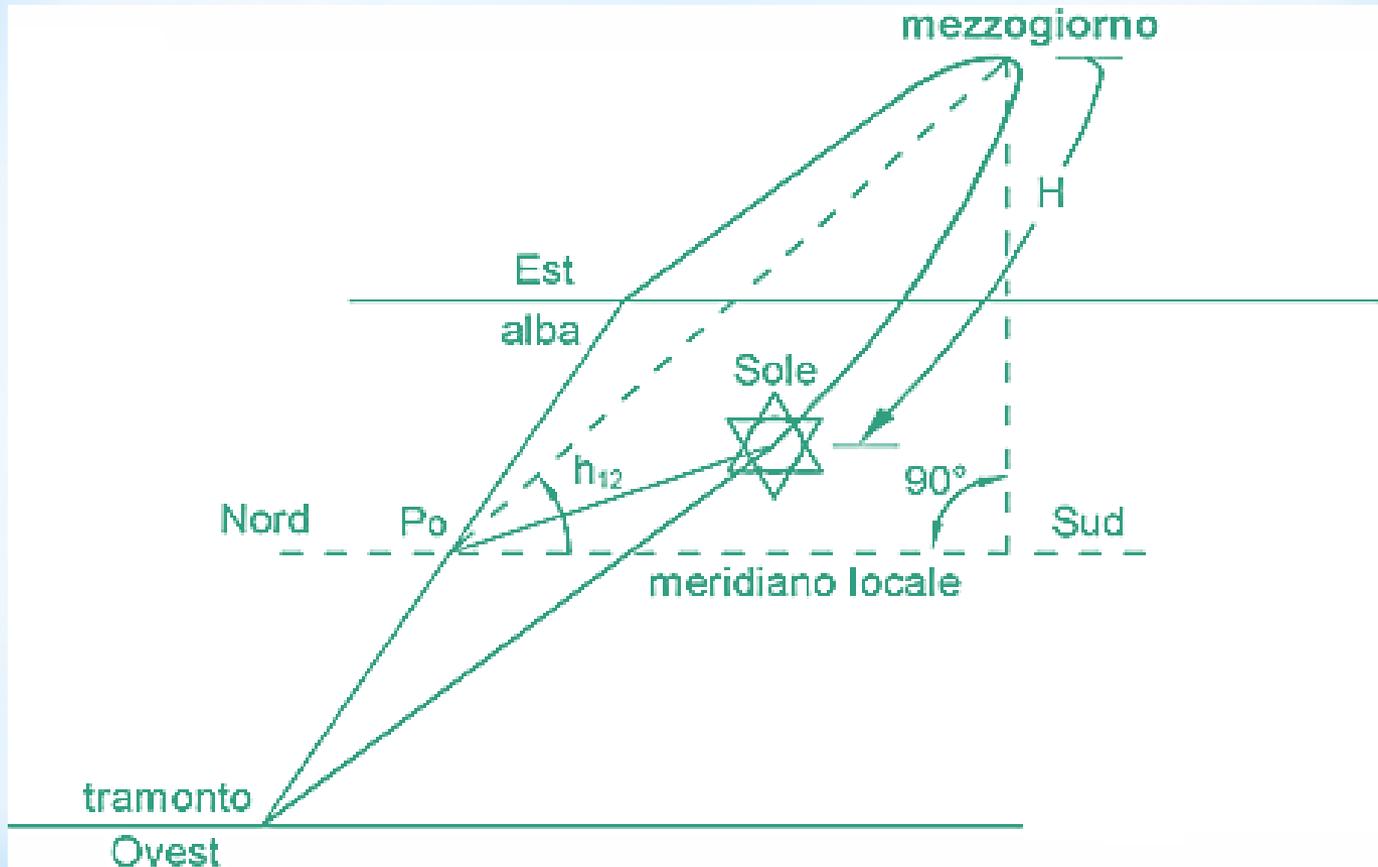
Spettro della radiazione solare al di sopra dell'atmosfera e al suolo terrestre (curva interna). Si osservi come le diverse molecole dei costituenti l'atmosfera attenuano selettivamente le diverse lunghezze d'onda.

Composizione dell'atmosfera

- **Azoto** (N₂): 78,08 %
- **Ossigeno** (O₂): 20,95 %
- **Argon** (Ar): 0,93 %
- **Vapore acqueo** (H₂O): 0,33 % in media (variabile da circa 0 % a 5-6 %)
- **Biossido di carbonio** (CO₂): 0,032 % (320 ppm)
- **Neon** (Ne): 0,00181 % (18 ppm)
- **Elio** (He): 0,0005 % (5 ppm)
- **Metano** (CH₄): 0,0002 % (2 ppm)
- **Idrogeno** (H₂): 0,00005 % (0,5 ppm)
- **Kripton** (Kr): 0,000011 % (0,11 ppm)
- **Xeno** (Xe): 0,000008 % (0,08 ppm)
- **Ozono** (O₃): 0,000004 % (0,04 ppm)

Ogni alterazione della composizione dell'atmosfera può spostare il bilancio energetico, in un verso o nell'altro, e quindi provocare o riscaldamento o raffreddamento, della superficie terrestre, con conseguenti mutamenti climatici

Definizione di Angolo orario

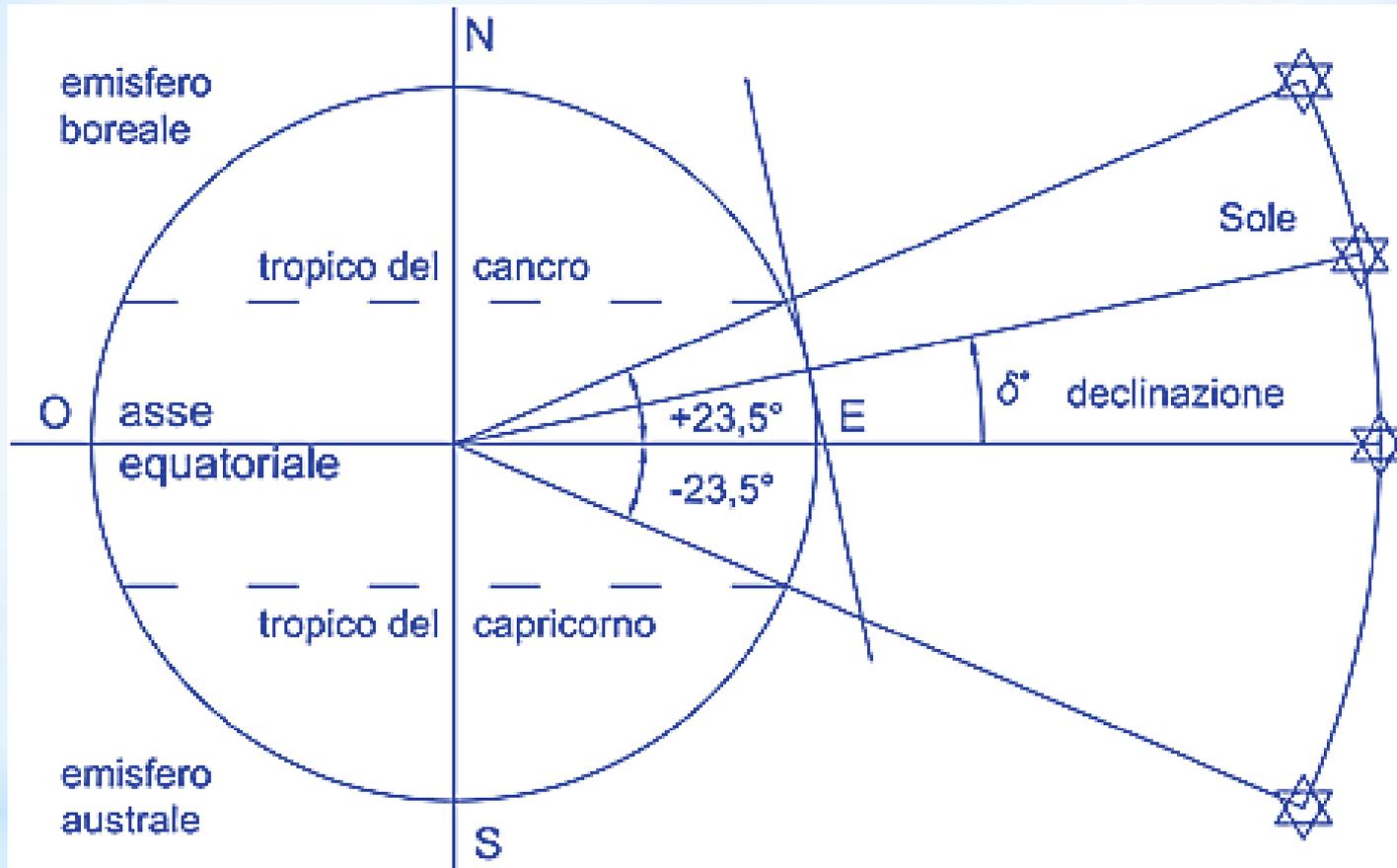


Percorso apparente del Sole dall'alba al tramonto e definizione di angolo orario H .

Poiché il Sole, nel suo moto apparente, in un'ora percorre 15° , dall'ora del giorno è calcolabile l'angolo orario, considerato 0 a mezzogiorno.

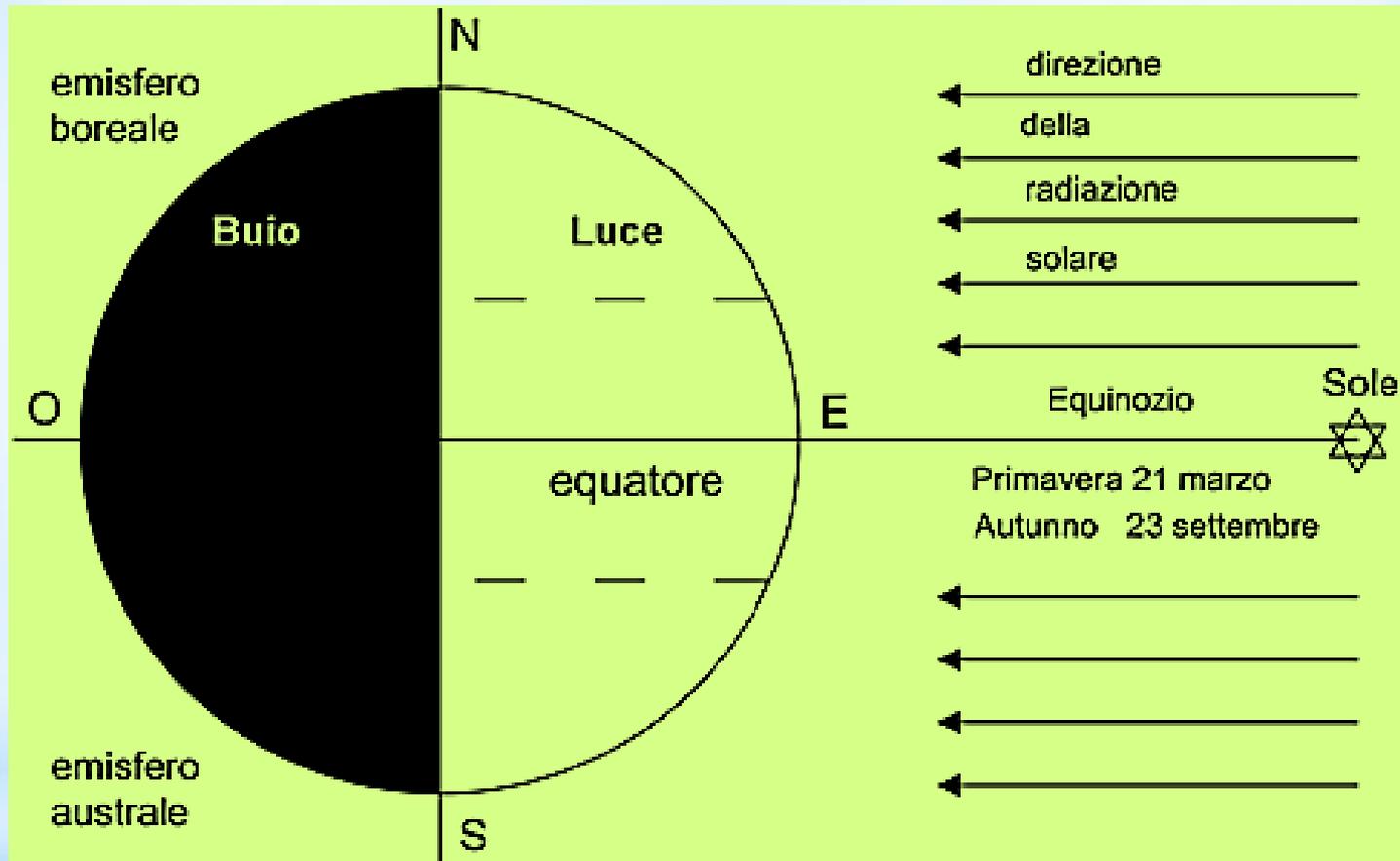
L'angolo h_{12} è l'altezza del Sole a mezzogiorno (Sole che attraversa il meridiano locale).

Definizione di Declinazione

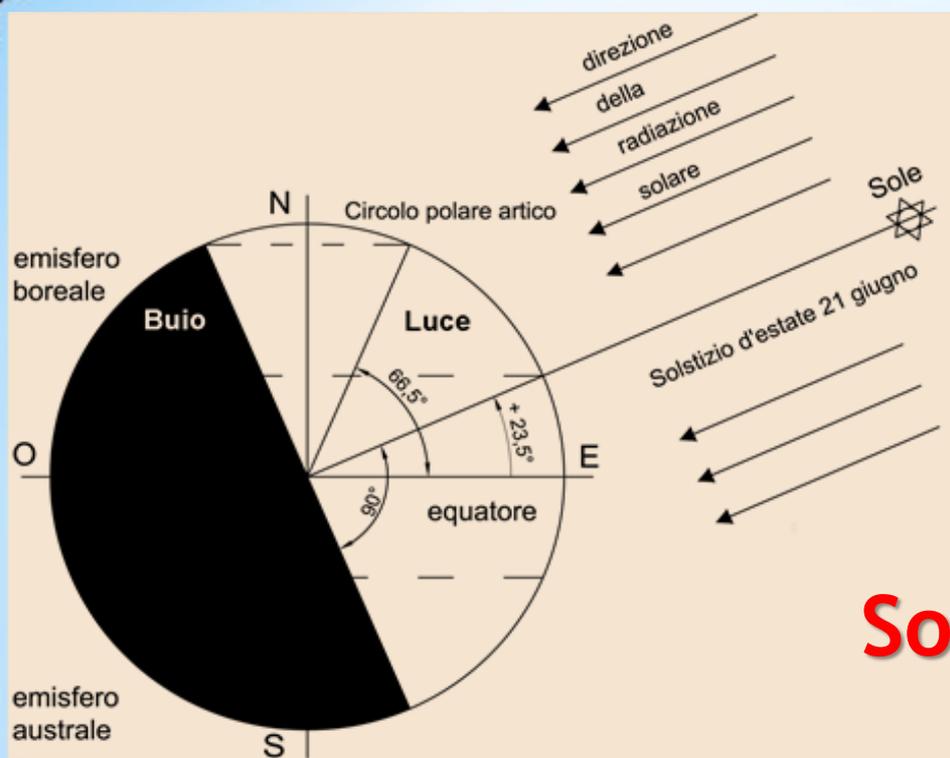


Arco di oscillazione apparente del Sole durante l'anno e definizione della sua declinazione δ in un giorno qualsiasi dell'anno (sono positivi gli angoli misurati verso Nord). Le posizioni estreme del Sole definiscono i tropici.

Equinozio



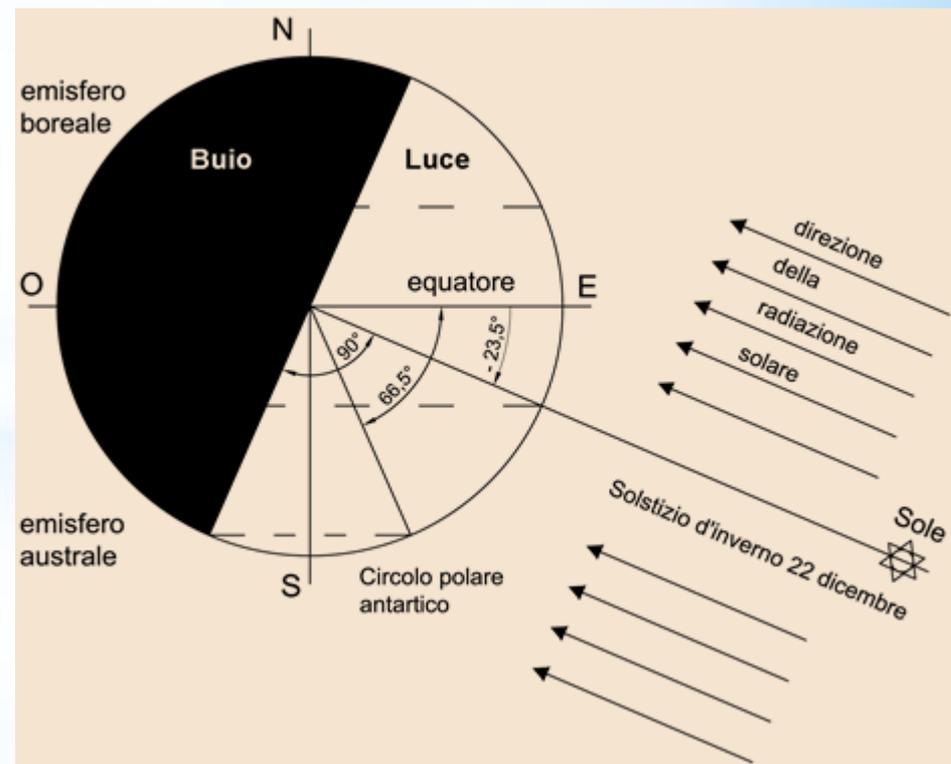
L'equinozio si ripropone il 21 marzo e il 23 settembre, in questi giorni, in tutto il globo il dì dura esattamente 12 ore come la notte.



Definizione di solstizio d'estate, 21 giugno. La linea di separazione fra zona di buio e zona di luce definisce il circolo polare artico, al di sopra del quale non c'è più notte. In modo complementare nell'emisfero australe non c'è più il dì.

Solstizio

Definizione di solstizio d'inverno, 22 dicembre. La linea di separazione fra zona di buio e zona di luce definisce il circolo polare antartico, al di sotto del quale non c'è più notte.



Coordinate del Sole

Altezza

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H$$

Declinazione

$$\delta = 23,5^\circ \cos \left[\frac{360^\circ(n - 172)}{365} \right]$$

Durata del giorno

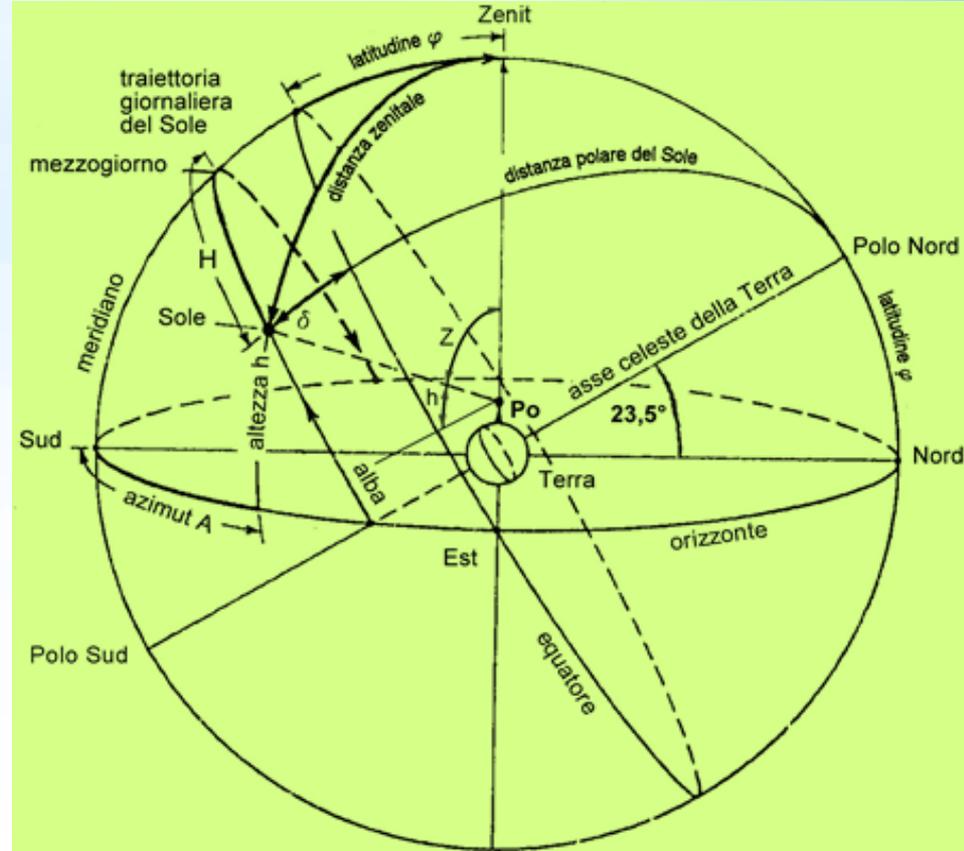
$$N = 2 \frac{H_g}{15^\circ}$$

dove H_g è l'angolo orario ai crepuscoli

$$\cos H_g = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi$$

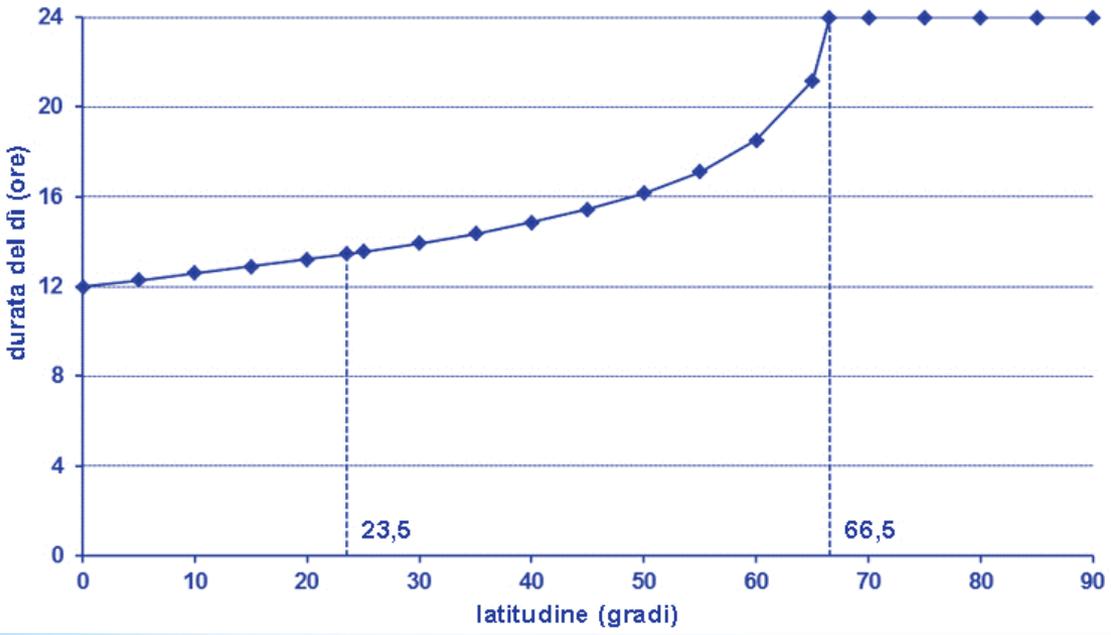
Radiazione massima teorica

$$I_{\max} = I_0 \sin h_{12}$$



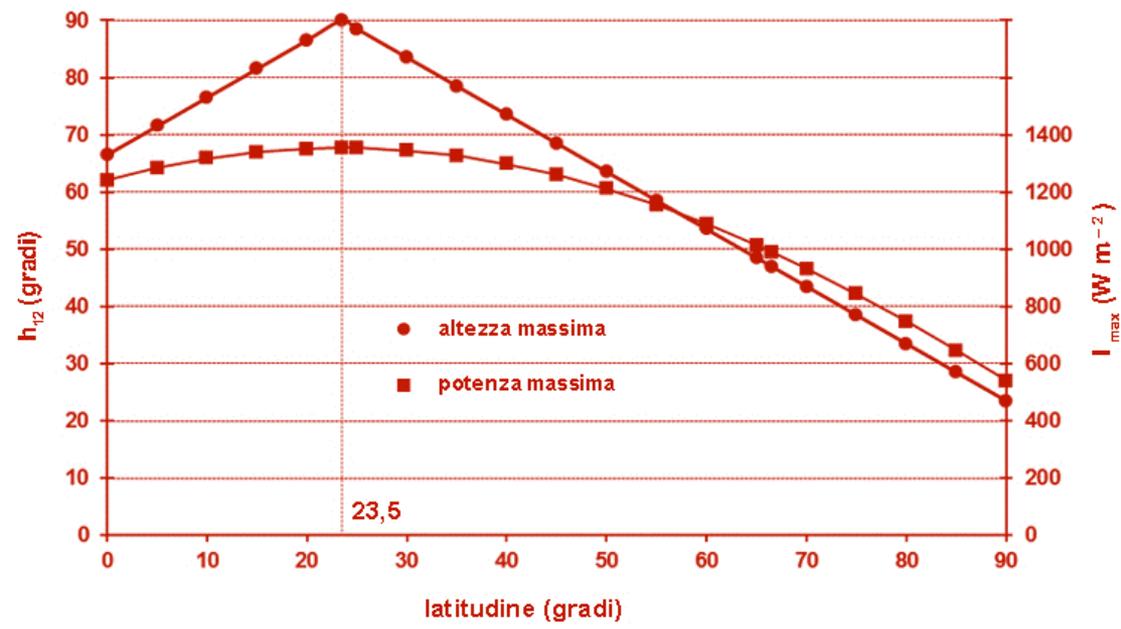
Sfera celeste e coordinate solari relative a un osservatore nel punto P_0

I_0 , costante solare = $1400 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2}$;
 h_{12} , altezza del Sole sull'orizzonte a mezzogiorno (altezza massima), ovvero nel momento in cui attraversa il meridiano del luogo considerato.



Emisfero Nord. Durata del dì alle varie latitudini, lungo lo stesso meridiano, al solstizio d'estate. Si osservi che all'equatore (latitudine 0°) il dì, come in ogni giorno dell'anno, dura 12 ore (poco più lungo al tropico, $23,5^\circ$) e che dal circolo polare ($66,5^\circ$) in poi il dì dura 24 ore

Emisfero Nord. Altezza massima del Sole (h_{12}) e potenza radiativa massima teorica (I_{max}), alle varie latitudini lungo uno stesso meridiano (al mezzogiorno locale) al solstizio d'estate. Si osservi che i valori massimi di altezza massima e di potenza si hanno in corrispondenza del tropico (latitudine $23,5^\circ$).



RADIAZIONE SOLARE

I flussi di radiazione solare di maggior interesse dal punto di vista meteorologico sono:

- * Radiazione globale
- * Radiazione diretta
- * Radiazione diffusa
- * Radiazione riflessa
- * Radiazione netta

* **RADIAZIONE GLOBALE**

È la radiazione proveniente dal Sole e dal cielo a partire da un angolo solido di 2π radianti e misurata su una superficie orizzontale. Lo spettro di lunghezza d'onda interessato è compreso tra 0,3 e 3 μm .

* **RADIAZIONE DIRETTA**

È la radiazione proveniente dall'angolo solido sotteso dal disco e dall'alone solare e ricevuta su una superficie perpendicolare all'asse di questo angolo solido.

* **RADIAZIONE DIFFUSA**

È la radiazione diffusa dalla atmosfera (da parte dei gas e/o delle nubi) proveniente dalla volta celeste ad eccezione del disco solare, e misurata su una superficie orizzontale.

* RADIAZIONE RIFLESSA

- * È la radiazione solare riflessa da una superficie entro la banda da 0,3 a 3 μm .
- * Il rapporto fra la radiazione riflessa e la radiazione globale dà l'**albedo**.

* RADIAZIONE NETTA

È la differenza tra la radiazione proveniente dal cielo e quella in arrivo dalla superficie in esame nella gamma spettrale da 0,3 a circa 60 μm .

* Eliofania

Indica le ore di presenza del Sole libero da nubi o da altri ostacoli