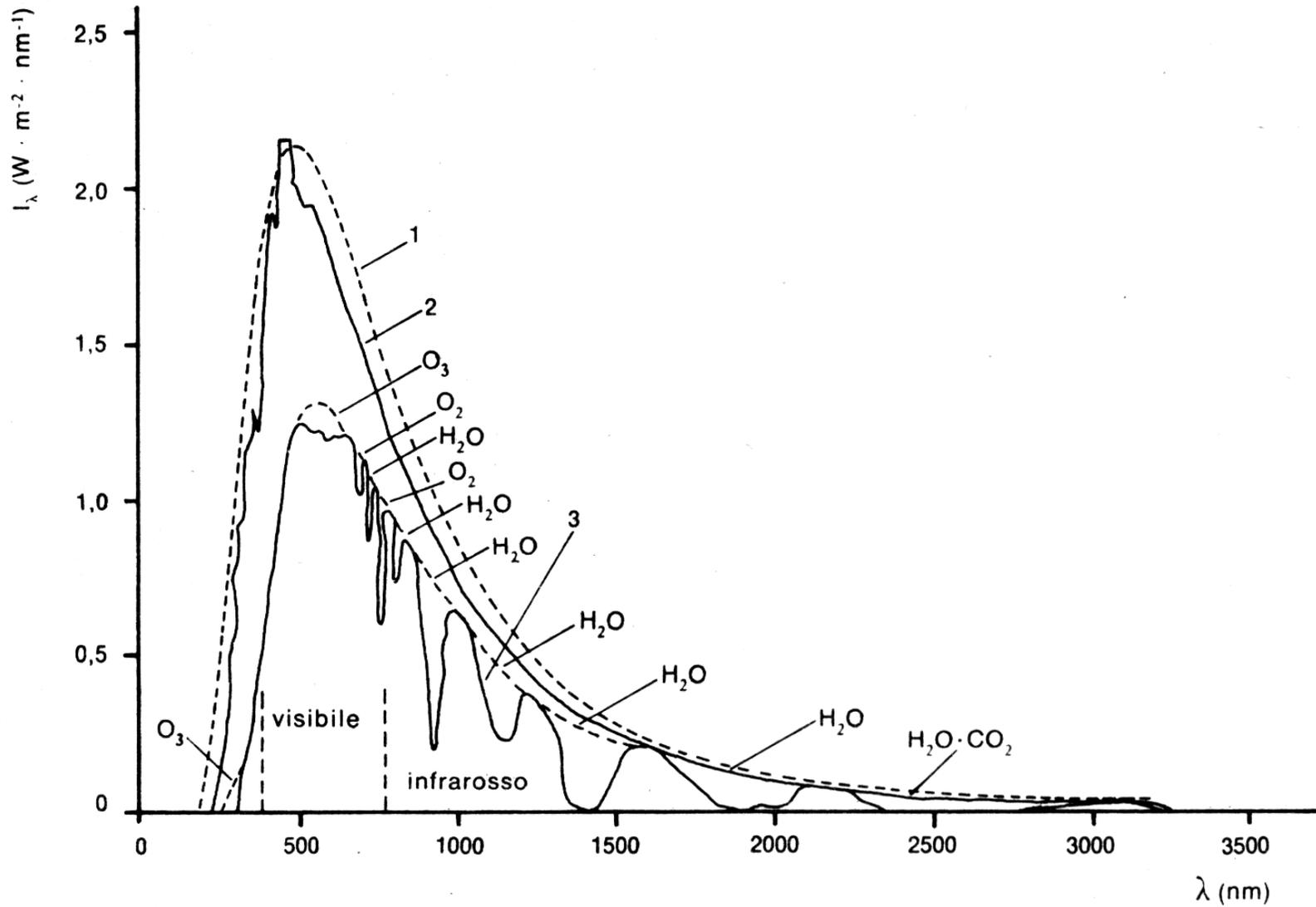


Energia Solare

Energia solare

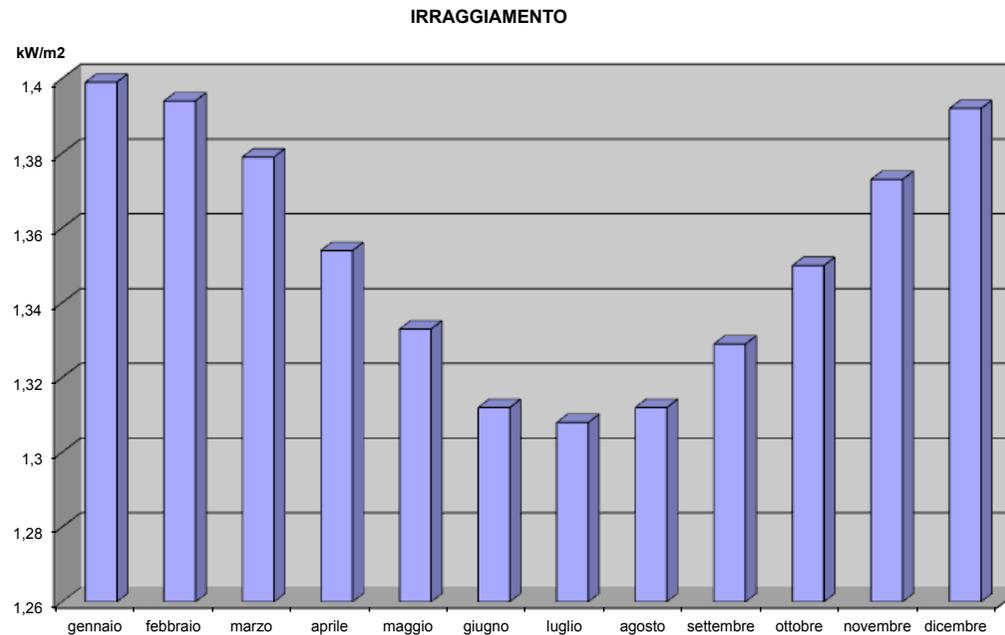
- L'energia solare è un'energia raggiante prodotta dal riscaldamento dei materiali costituenti il Sole: idrogeno per l'80%, elio per il 19% e da restanti materiali per l'1%.
- Il riscaldamento è dovuto alle reazioni termonucleari idrogeno-elio che si verificano al suo interno e che portano la temperatura del nucleo a circa 20 milioni di gradi Kelvin.
- La temperatura sulla superficie esterna raggiunge i 5760 K.

Energia solare



Energia solare

- Solo un terzo dell'energia solare intercettata dalla terra arriva sulla sua superficie e, di questa, circa il 70 % ricade sui mari.
- Il restante 30% corrisponde a ben $1.5 \cdot 10^{17}$ kWh/anno, valore di qualche migliaio di volte superiore alle attuali necessità energetiche mondiali.



Flusso e costante solare

- **Flusso solare extraterrestre (I_0):** è il valore della potenza solare incidente al di fuori dell'atmosfera su un m^2 di superficie ortogonale alla direzione d'incidenza della radiazione

$$I_0 = 1353 + 45.326 * \cos(wd) + 0.88018 * \cos(2wd) + 0.00461 * \cos(3wd) + 1.8037 * \sin(wd) + 0.09746 * \sin(2wd) + 0.18412 * \sin(3wd)$$

- Ove si pone $w = 2 * \pi / 366$ e d è il numero del giorno contato in maniera progressiva dal 1° gennaio.
- **Costante solare:** è il valor medio del flusso solare extraterrestre ed è pari a 1353 W/m^2

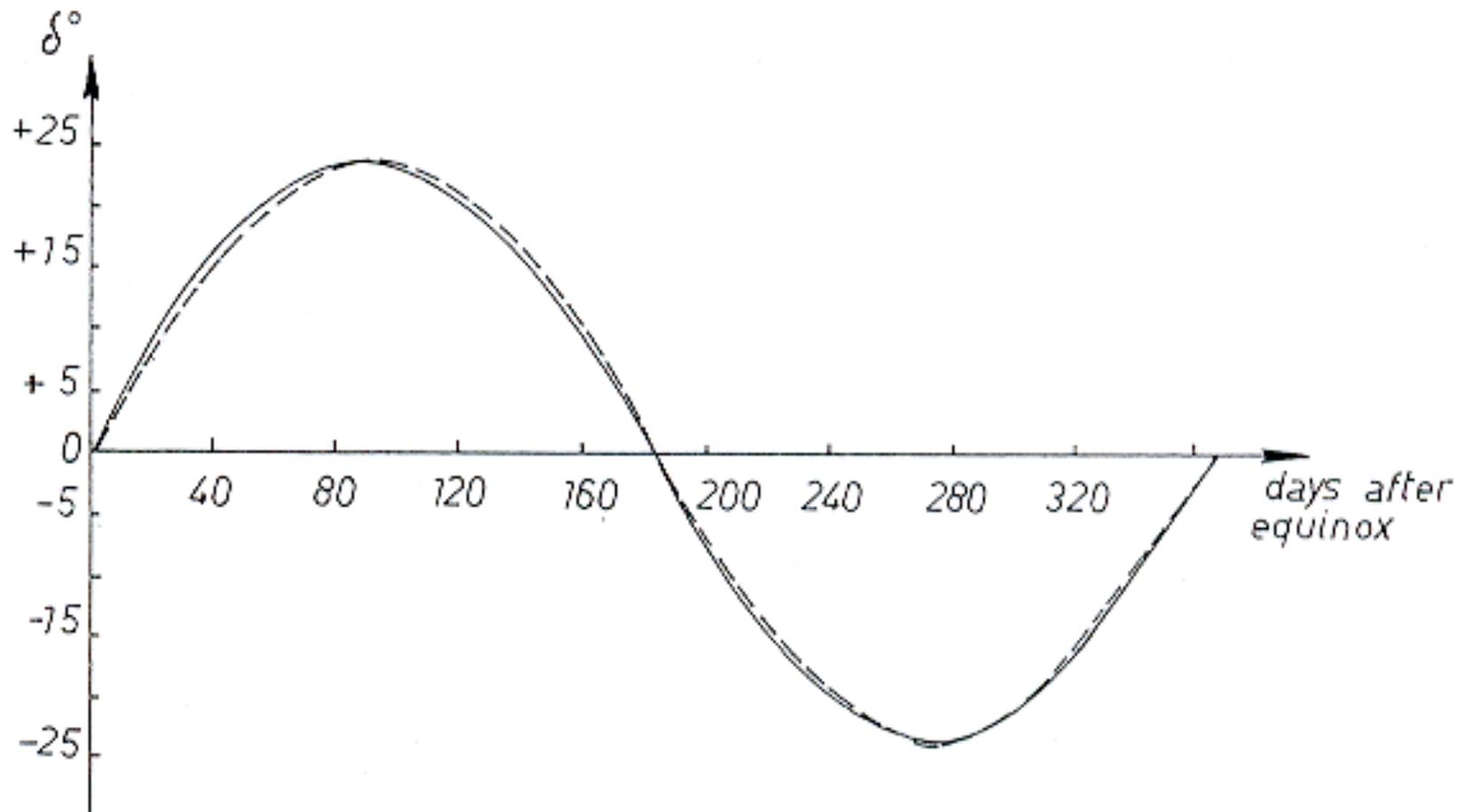
Angolo orario e declinazione

- **Angolo orario del sole (t):** è pari a 15° per il numero di ore prima o dopo il mezzogiorno solare. Nel caso dell'emisfero nord sono prese come positive le ore prima di mezzogiorno; ciò porta ad avere:
$$t = 15 * (12 - ora)$$

- **Declinazione solare (δ):** è l'angolo fra la direzione dei raggi solari e la direzione dello zenit, a mezzogiorno all'equatore. Può essere facilmente determinata attraverso la seguente equazione:

- $$\delta = 23.45 * \text{sen} \left(360 * \frac{284 + d}{365.25} \right)$$

Declinazione



Ora solare

- ***Ora solare reale (TST) nel sito considerato.***

$$TST = OT + FH + ET - \varepsilon - \lambda$$

- Nella formula si è indicato con OT l'ora ufficiale del sito, con FH il numero del fuso relativo (0 per Greenwich, 1 per il primo fuso ad ovest), con ε il numero di ore legali adottate, λ la latitudine del luogo e con ET dato dalla seguente formula, in cui i valori di w e d sono definiti come in precedenza.

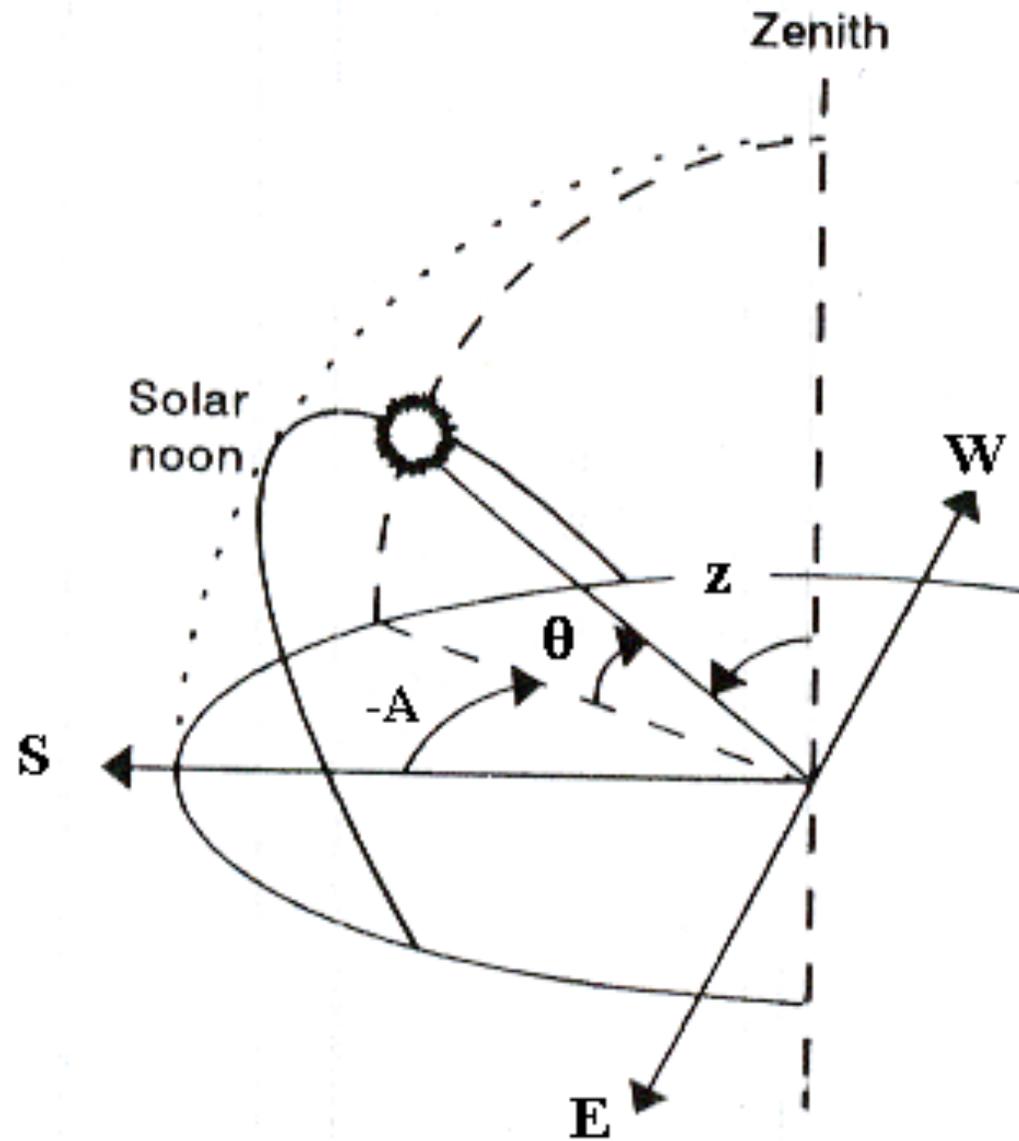
$$ET = 0.0072 * \cos(wd) - 0.0528 * \cos(2wd) + \\ 0.0012 * \cos(3wd) - 0.1229 * \sin(wd) + \\ 0.1585 * \sin(2wd) + 0.0041 * \sin(3wd)$$

Azimut e zenit

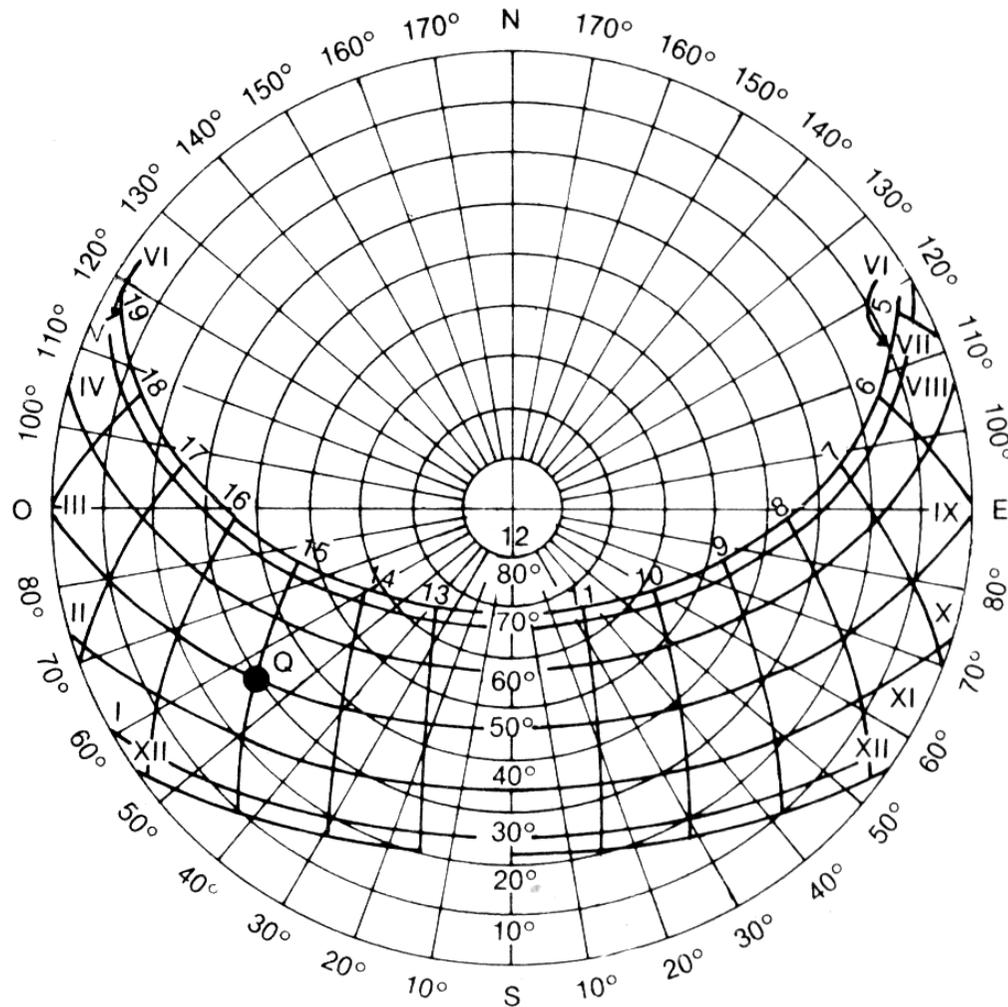
- **Alzo del sole (θ):** è l'angolo fra la direzione della radiazione solare e la sua proiezione sul piano orizzontale.
- **Angolo azimutale (A):** corrisponde all'angolo individuato dalla proiezione sul piano orizzontale della direzione della radiazione solare e la direzione sud. Si assumono come positivi gli angoli misurati in direzione est.
- **Angolo zenitale (z):** è il complementare dell'angolo di alzo e rappresenta l'angolo tra lo zenit e la direzione della radiazione solare. Può essere valutato istante per istante attraverso l'espressione:

$$\cos z = \sin \lambda^* \sin \delta + \cos \lambda^* \cos \delta \cos t$$

Energia solare



Percorso solare



Fornisce per ogni ora del giorno 21 di ciascun mese l'alzo e l'azimut. In funzione del mese e dell'ora del giorno indicati dalle linee più spesse si individua l'alzo sulle circonferenze concentriche e l'azimut sui raggi. Il punto Q corrisponde alle ore 15 del 21 settembre in cui il sole ha un alzo pari a 30° e un azimut di 56° ovest.

Carta del percorso solare ad una latitudine di 44°

Angolo incidenza

- **Angolo di incidenza della radiazione solare (β).** Data una superficie comunque orientata e caratterizzata da un alzo θ ed un azimut A , l'angolo d'incidenza rappresenta l'angolo che si viene a formare fra la direzione della radiazione solare diretta e la normale alla superficie considerata. Il suo valore può essere ricavato attraverso la seguente espressione:

$$\cos \beta = \cos \theta * (\text{sen} \lambda * \text{sen} \delta + \cos \lambda * \cos \delta * \cos \theta) + \text{sen} \theta * \cos A * [\tan \lambda * (\text{sen} \lambda * \text{sen} \delta + \cos \lambda * \cos \delta * \cos \theta) - \text{sen} \delta * \sec \lambda] + \text{sen} A * \cos \delta * \text{sen} \theta$$

- **Alba e tramonto.** L'ora dell'alba e del tramonto sono simmetriche rispetto al mezzogiorno solare e possono essere ricavate in funzione della declinazione solare δ e della latitudine del sito analizzato.

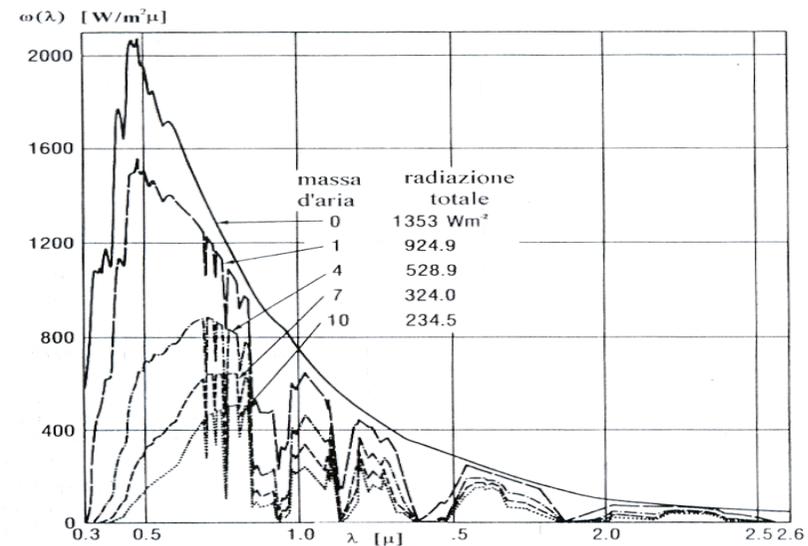
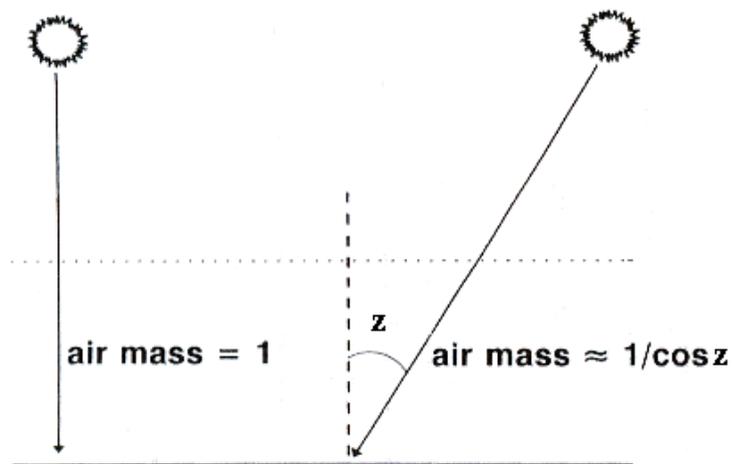
Air mass

- **Air mass (m):** è il rapporto tra il cammino percorso dalla radiazione solare all'interno dell'atmosfera ed il cammino che avrebbe percorso nel caso in cui fosse giunta dalla direzione zenitale. Si ricava da semplici considerazioni geometriche come:

$$m = \operatorname{cosec} \theta$$

- Per siti posti ad un'altitudine h s.l.m., si adotta l'Air mass ridotta espressa come:

$$m_R = m * (1 - 0.1 * h)$$



Radiazione diretta

- **Radiazione diretta (I_D):** è la radiazione che giunge direttamente, senza deviazioni, sul suolo terrestre. In condizioni standard (si assumono in atmosfera 20 mm d'acqua precipitata e una pressione pari a 1 atm) la radiazione diretta può essere calcolata come segue:

$$I_D(z) = I_0 * (1 - a * h) * \exp(-b * (\sec z)^s) + a * h * I_0$$

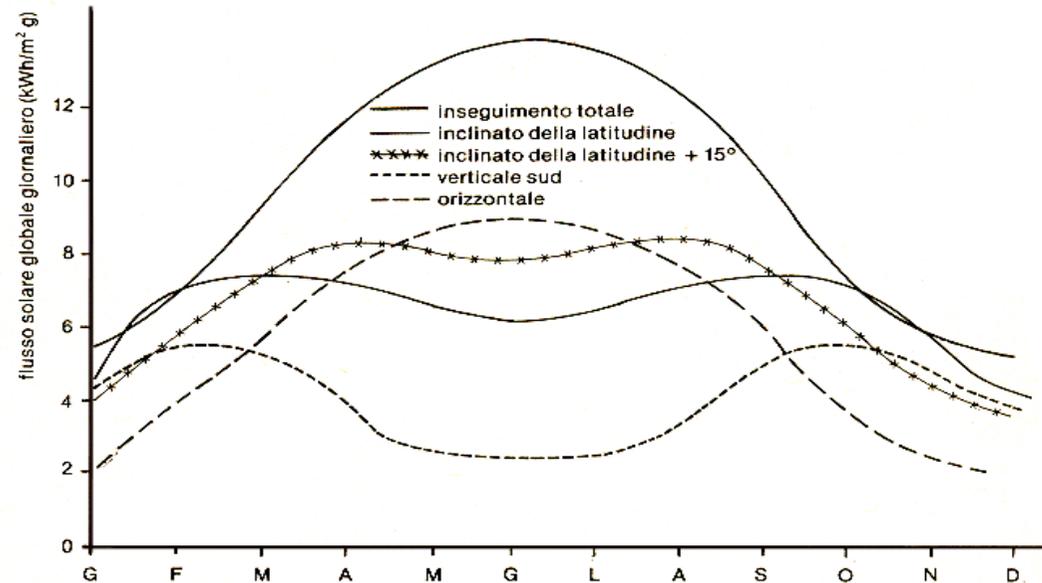
- considerando $s = 0.678$, $b = 0.357$ ed $a = 0.14$ per ogni km di altitudine del sito sul livello del mare.
- La caratteristica più importante della radiazione diretta è quella di essere perfettamente direzionale. E' dunque possibile effettuare una concentrazione del flusso solare ottenendo, così, un aumento della densità superficiale di energia sull'elemento assorbente del collettore.

Radiazione diffusa e totale

- ***Radiazione diffusa (I_D)***: è la radiazione deviata durante il suo tragitto in atmosfera. La sua diffusione è dovuta a fenomeni di Rayleigh, alla presenza di polveri ed aerosol in aria, alla presenza di nuvole ed alla stessa riflessione sugli elementi presenti su suolo terrestre. La sua caratteristica incoerenza ne rende impossibile la concentrazione.
- ***Radiazione totale (I_T)***: è la somma delle due radiazioni precedenti

$$I_T = I_S + I_D$$

Radiazione solare



	gen nov	feb ott	mar sett	apr ago	mag lug	dic	giu
Inseguimento completo	100	100	100	100	100	100	100
Orizzontale	38	46	64	70	72	37	73
Inclinato $\theta=\lambda$	87	87	86	75	66	88	64
Inclinato $\theta=\lambda+15$	91	90	89	68	52	91	49
Verticale	90	80	62	45	26	92	22

Percentuale mensile dell'energia raccolta nei vari tipi di montaggio da un collettore solare, piano, fisso rispetto al montaggio ad inseguimento completo