

Lezioni dal corso di  
***'Gestione degli Impianti di Conversione  
dell'Energia'***

Università Federico II di Napoli  
15/03/2012

# **LA RADIAZIONE SOLARE**

# Definizioni

In generale , ogni corpo rilascia energia sottoforma di onde elettromagnetiche. Tale energia è usualmente denominata "**radiazione**" ed è misurabile in J o multipli.

L'energia rilasciata nell'unità di tempo sotto forma di onda elettromagnetica si chiama "**potenza radiante**". Nel S.I. si misura in W o multipli.

La "**irradianza**" è un flusso di potenza radiante (ovvero la potenza radiante che attraversa una superficie). Si misura in  $W/m^2$ .

La "**irradiazione**" (o "**irraggiamento**") è l'integrale dell'irradianza in un periodo di tempo. Si misura in  $J/m^2$  (o multipli) o  $kWh/m^2$ .

# Il Sole: una fonte di energia

In generale, il flusso di potenza emesso da un corpo qualsiasi è pari a  $\varepsilon\sigma T^4$ , dove  $\varepsilon$  è il coefficiente di emissione del corpo,  $T$  la temperatura assoluta del corpo,  $\sigma$  una costante pari a  $4,88 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Nel caso di corpi a bassa temperatura, tale flusso di potenza è relativamente piccolo e, nella comune percezione sensoriale, quasi irrilevante.

Diversamente, nel caso di un corpo ad altissima temperatura come il Sole, il flusso di potenza radiante è rilevante.

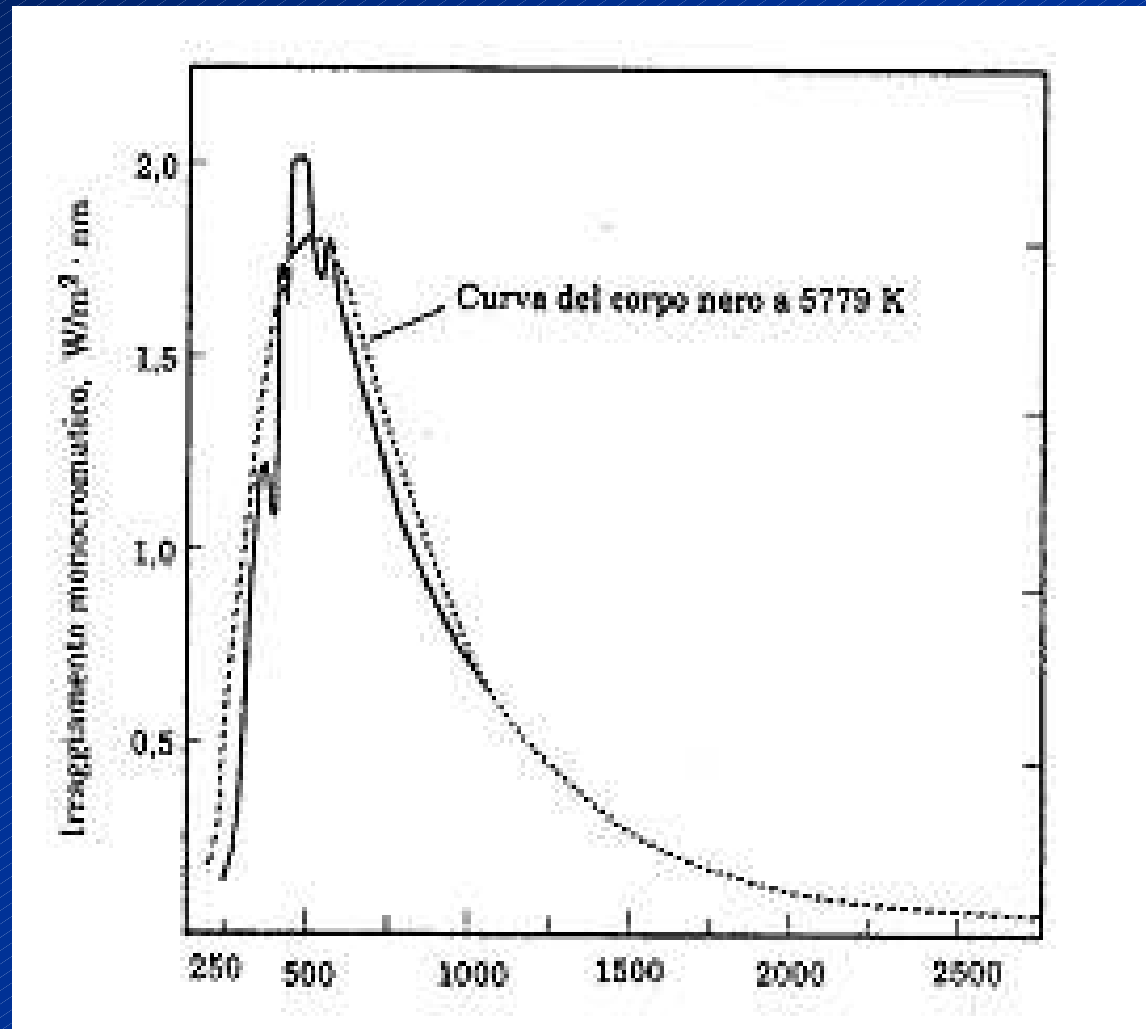
# Caratteristiche della radiazione solare

Nel caso del Sole si può assumere  $\varepsilon=1$  ovvero il Sole può essere schematizzato come un emettitore perfetto (alias "corpo nero").

Quando un corpo rilascia energia sotto forma di radiazione elettromagnetica, l'emissione avviene secondo diverse lunghezze d'onda. Lo spettro elettromagnetico di un corpo rappresenta come varia in funzione della lunghezza d'onda il relativo flusso di potenza radiante.

In questa ipotesi, si può verificare che lo spettro elettromagnetico del Sole è all'incirca quello di un corpo nero alla temperatura di 5.779 K.

# Spettro della radiazione solare



# Il potenziale energetico disponibile /1

La "irradianza" che raggiunge una superficie unitaria piana al di fuori dell'atmosfera terrestre dipende dalla **distanza dall'astro** e, infine, dall'**orientazione** rispetto a quest'ultimo.

L'orbita che la Terra descrive intorno al Sole non è circolare, bensì leggermente ellittica.

Nell'arco di un anno solare, la distanza Terra-Sole subisce una variazione di  $\pm 1,7\%$  rispetto al valore medio di  $1,495 \cdot 10^8$  km.

## Il potenziale energetico disponibile /2

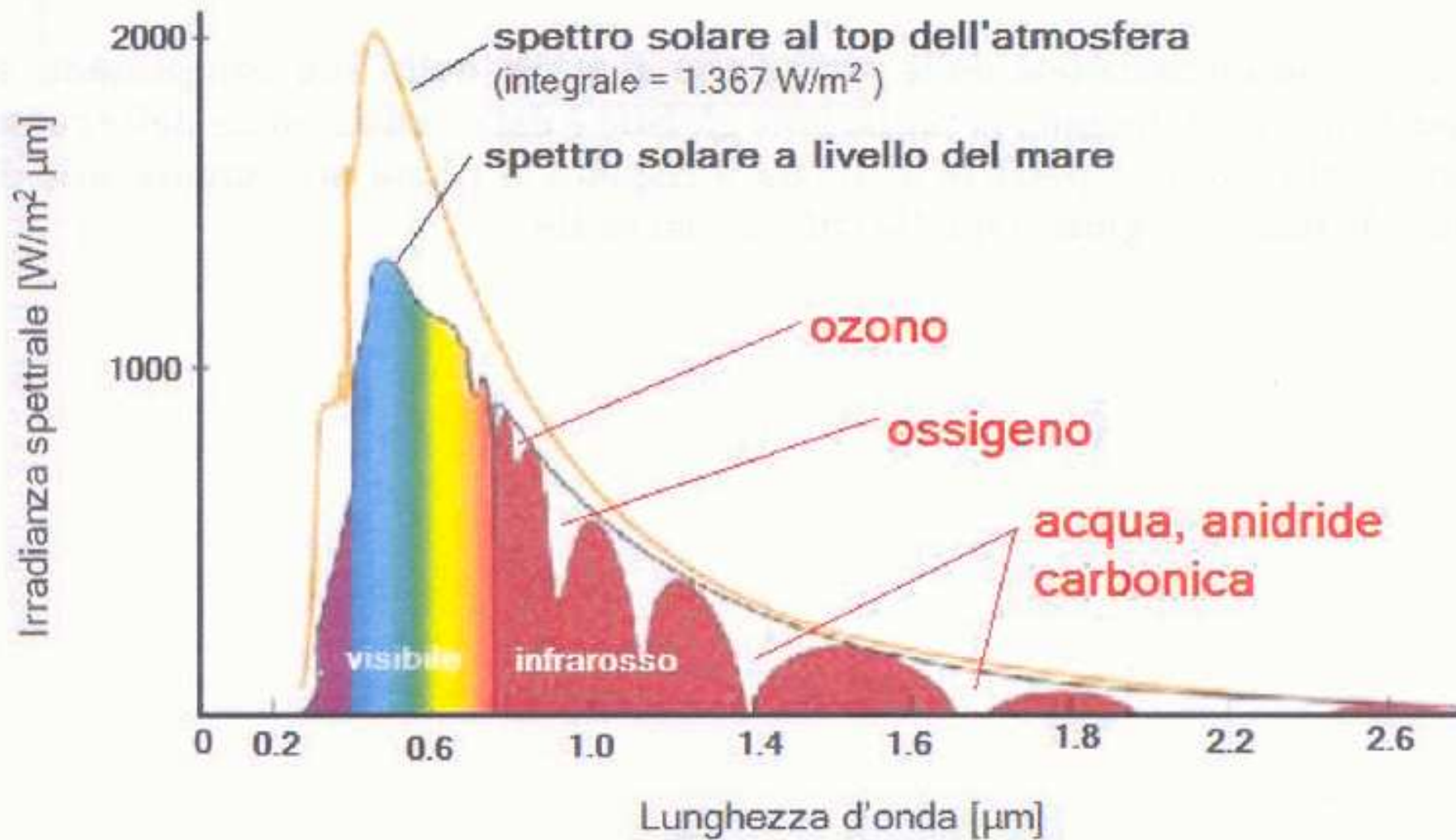
Per una superficie posta alla distanza media Sole-Terra, perpendicolare alla direzione di propagazione dei raggi, la norma UNI 11328 (che ha sostituito la più nota UNI 8477-2) impone un'irradianza pari a **1.353 W/m<sup>2</sup>**.

Tale quantità è detta costante solare ed è comunemente indicata con  $G_{cs}$ . In ogni caso, una generica irradianza extra-atmosferica  $G$  (ovvero non alla distanza media Terra-Sole) che raggiunge una superficie unitaria orientata perpendicolarmente ai raggi solari varia appena di un  $\pm 3,3\%$  rispetto a  $G_{cs}$ .

# Il potenziale energetico disponibile /3

In realtà, nelle situazioni comuni l'irradianza disponibile è sensibilmente inferiore.

In generale, i dispositivi che raccolgono l'energia solare sono posti a livello del suolo dove giunge un'irradianza minore a causa della presenza dell'atmosfera che determina fenomeni di riflessione, assorbimento e riemissione di energia verso lo spazio.



# Radiazione diretta e diffusa

La radiazione che incide su di una superficie orizzontale può essere **diretta** o **diffusa**.

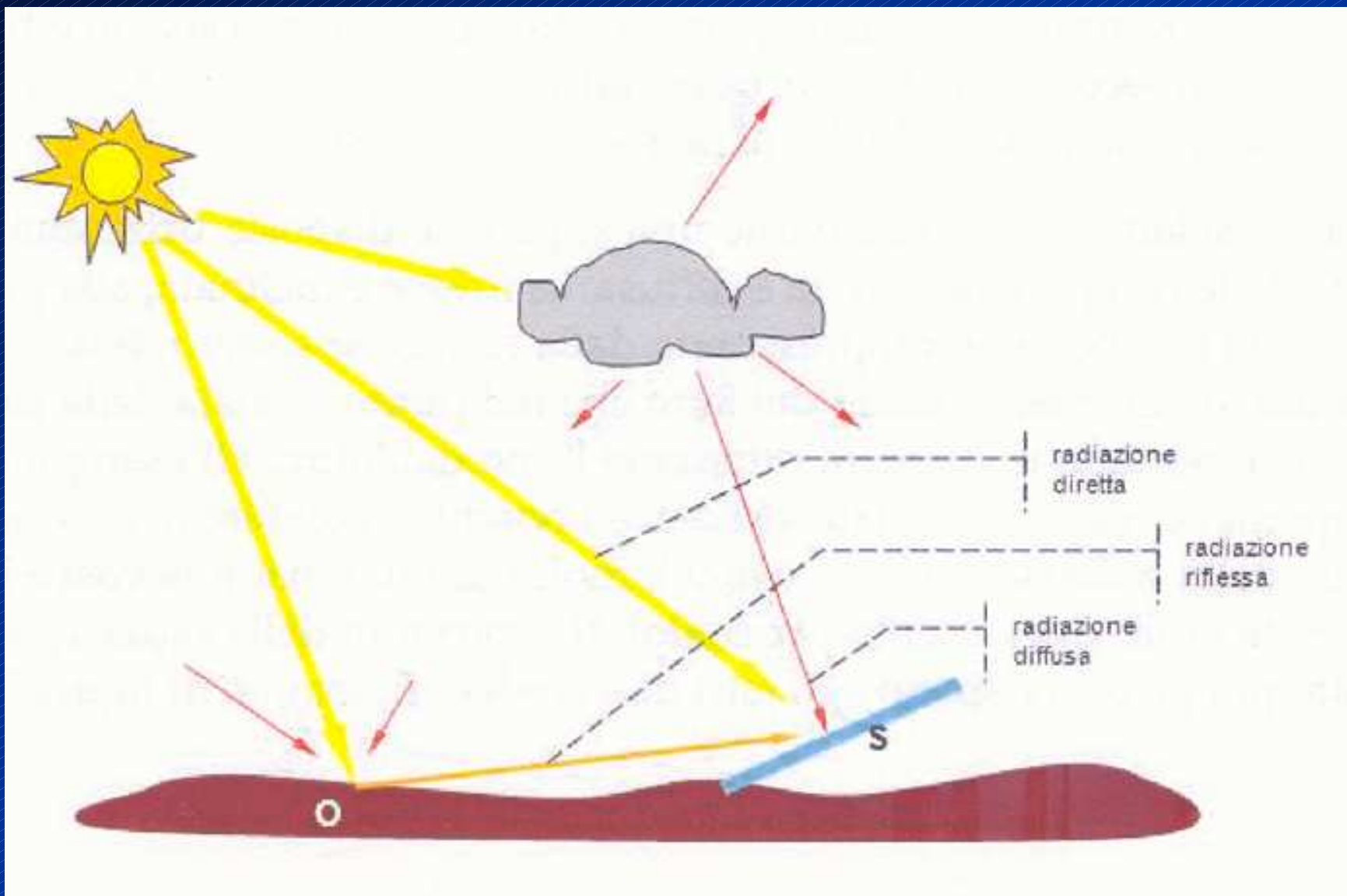
**Radiazione diretta:** aliquota di energia solare che attraversa lo spessore atmosferico senza essere perturbata; non è isotropica, ma anzi è caratterizzata da una direzione ben precisa che è determinata dalla posizione del Sole.

**Radiazione diffusa:** aliquota di energia solare che, urtando le molecole dell'atmosfera, subisce perturbazioni (ovvero è attenuata in intensità, cambia lunghezza d'onda e/o direzione).

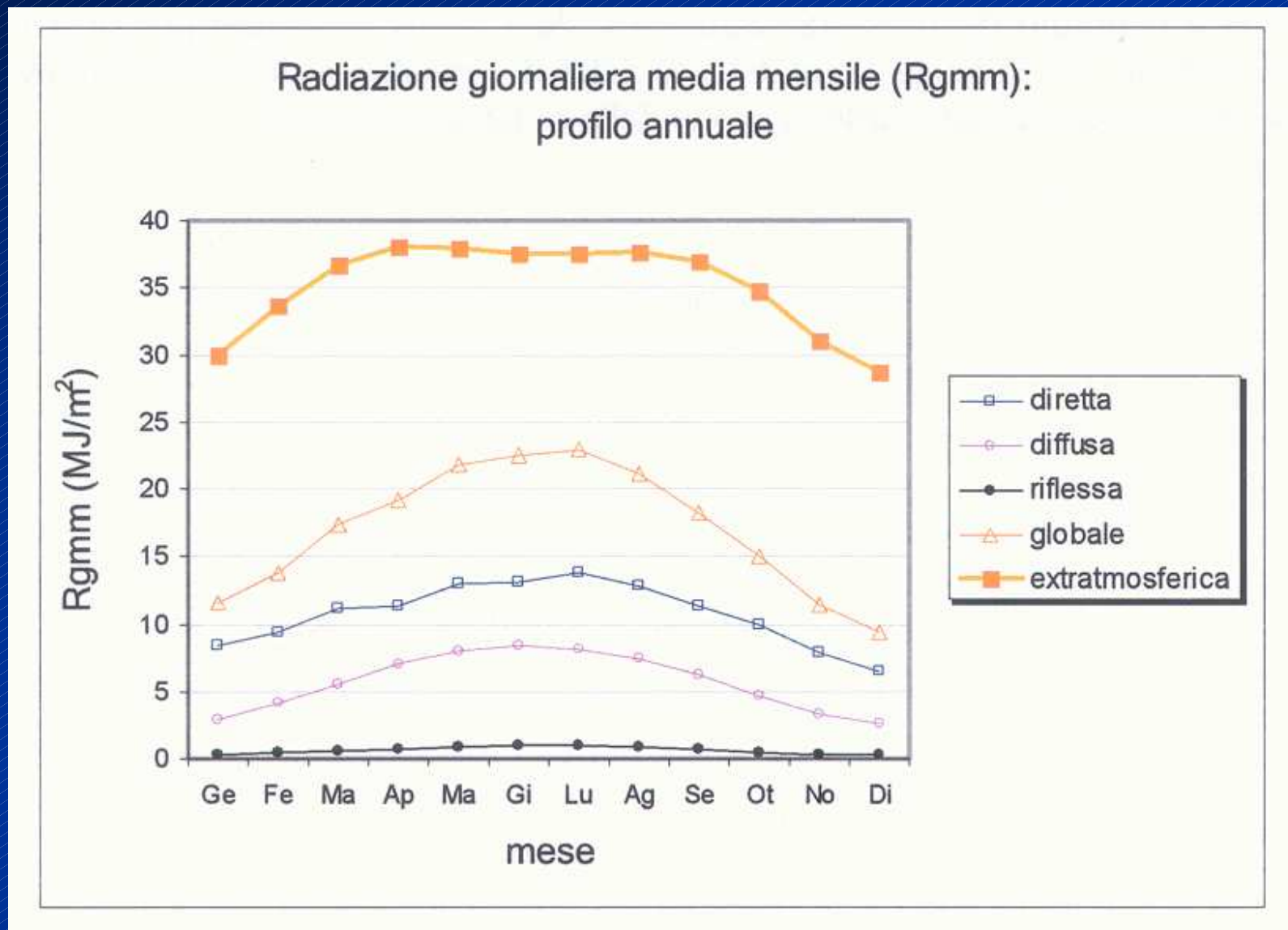
# Radiazione riflessa

Nel caso di superficie non orizzontale occorre considerare un'ulteriore aliquota: si tratta della **radiazione riflessa (albedo)** dal suolo e da eventuali superfici circostanti che vedono la superficie.

Generalmente determinata sperimentalmente, è influenzata, ad esempio, dalle condizioni del terreno circostante (es. innevato, coltivato, vicino al mare...). Si valuta in percentuale della radiazione orizzontale totale moltiplicando per fattori correttivi empirici.



**Roma,  
superficie  
orientata a  
sud ed  
ottimizzata  
sotto il  
profilo  
della  
raccolta  
solare.**



# Da cosa dipende l'irradianza?

L'irradianza dipende essenzialmente dalla posizione del Sole rispetto alla superficie captante.

La **posizione relativa del Sole varia nell'arco della giornata** a causa del moto di rotazione terrestre intorno al proprio asse, **nell'arco dell'anno** per effetto del moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole.

Per individuare univocamente la posizione del Sole in ogni momento dell'anno occorre conoscere latitudine, altezza solare ed azimut solare.

# Cosa è la latitudine?

E' l'angolo che la retta passante per la località considerata ed il centro della Terra forma con il piano dell'equatore.

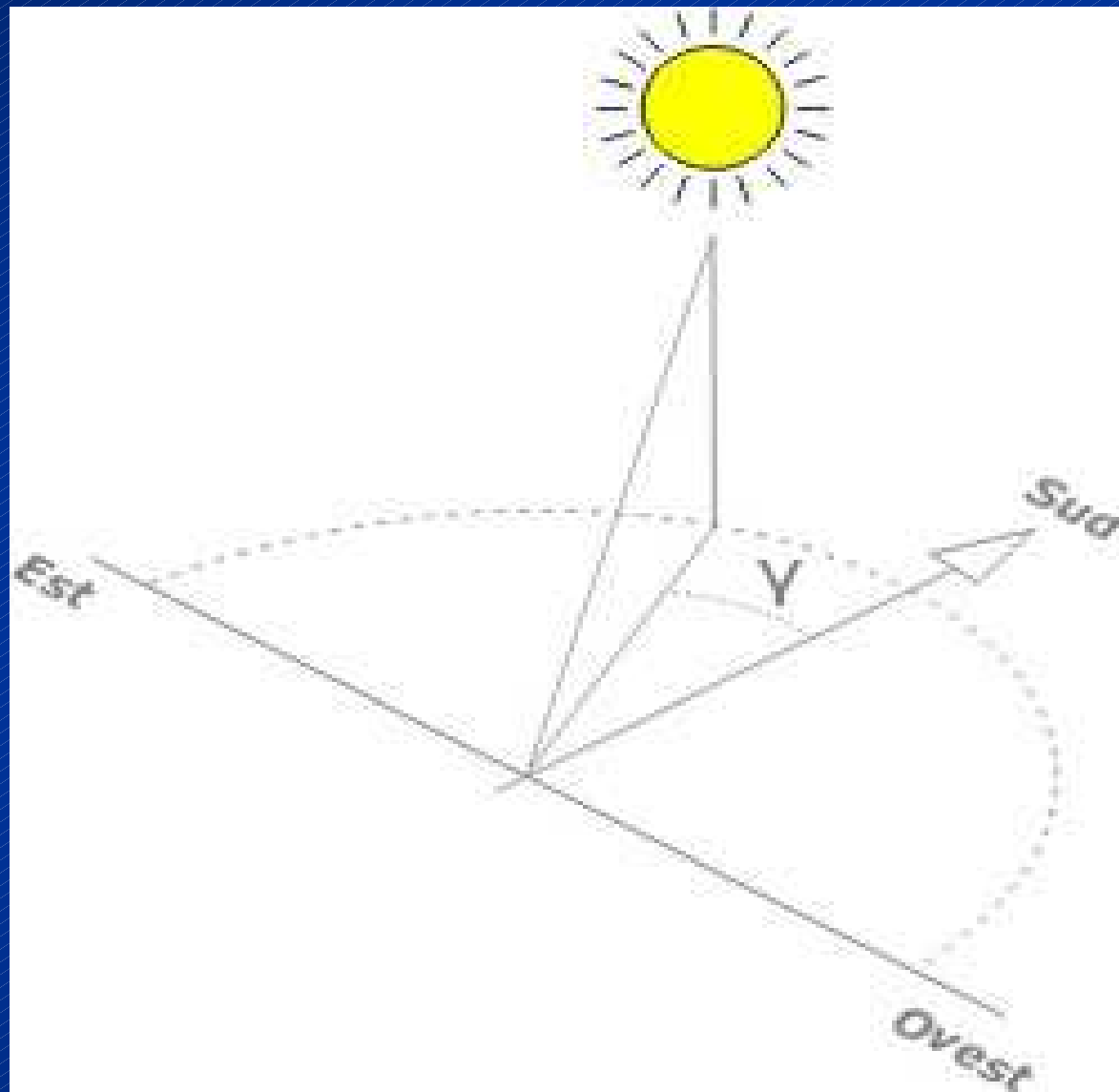
I valori positivi si riferiscono all'emisfero boreale (settentrionale), quelli negativi all'emisfero australe (meridionale).

Solitamente si indica con  $L$ .

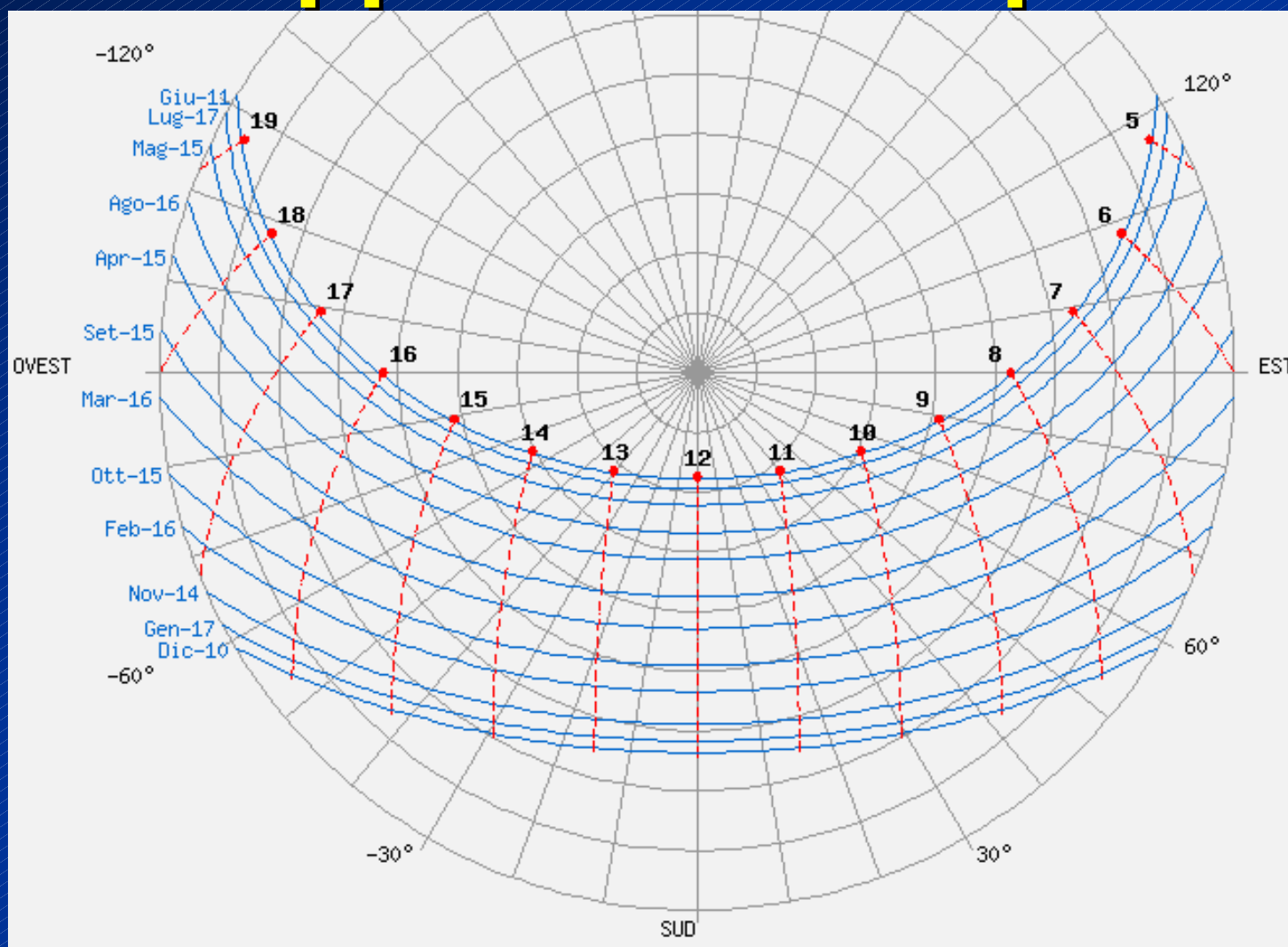
# Cosa è l'azimut solare?

E' l'angolo formato tra la proiezione sul piano orizzontale dei raggi solari e la direzione sud.

E' tipicamente positivo se la proiezione cade verso est, è negativo se cade verso ovest.



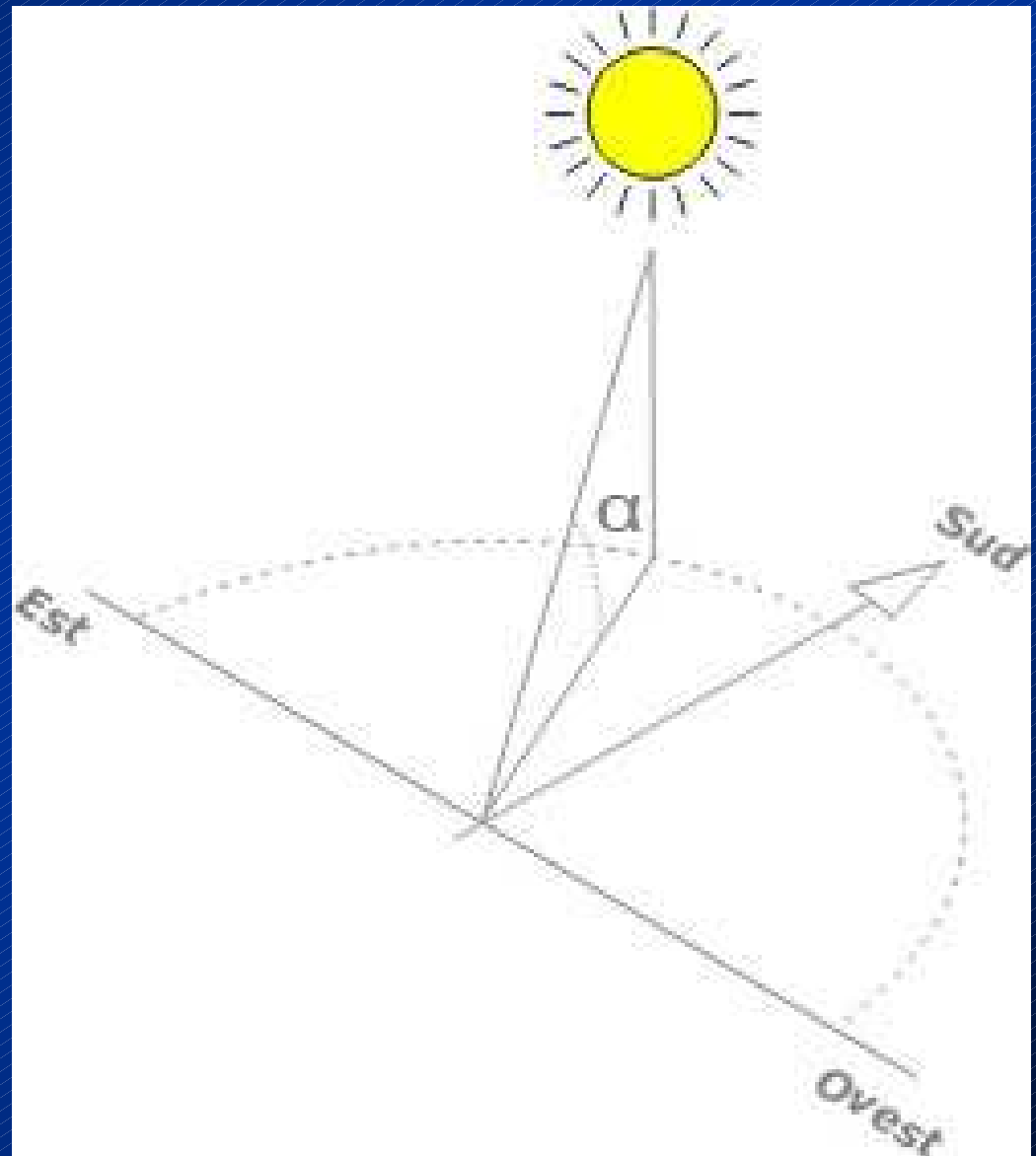
# Mappa azimuth Napoli

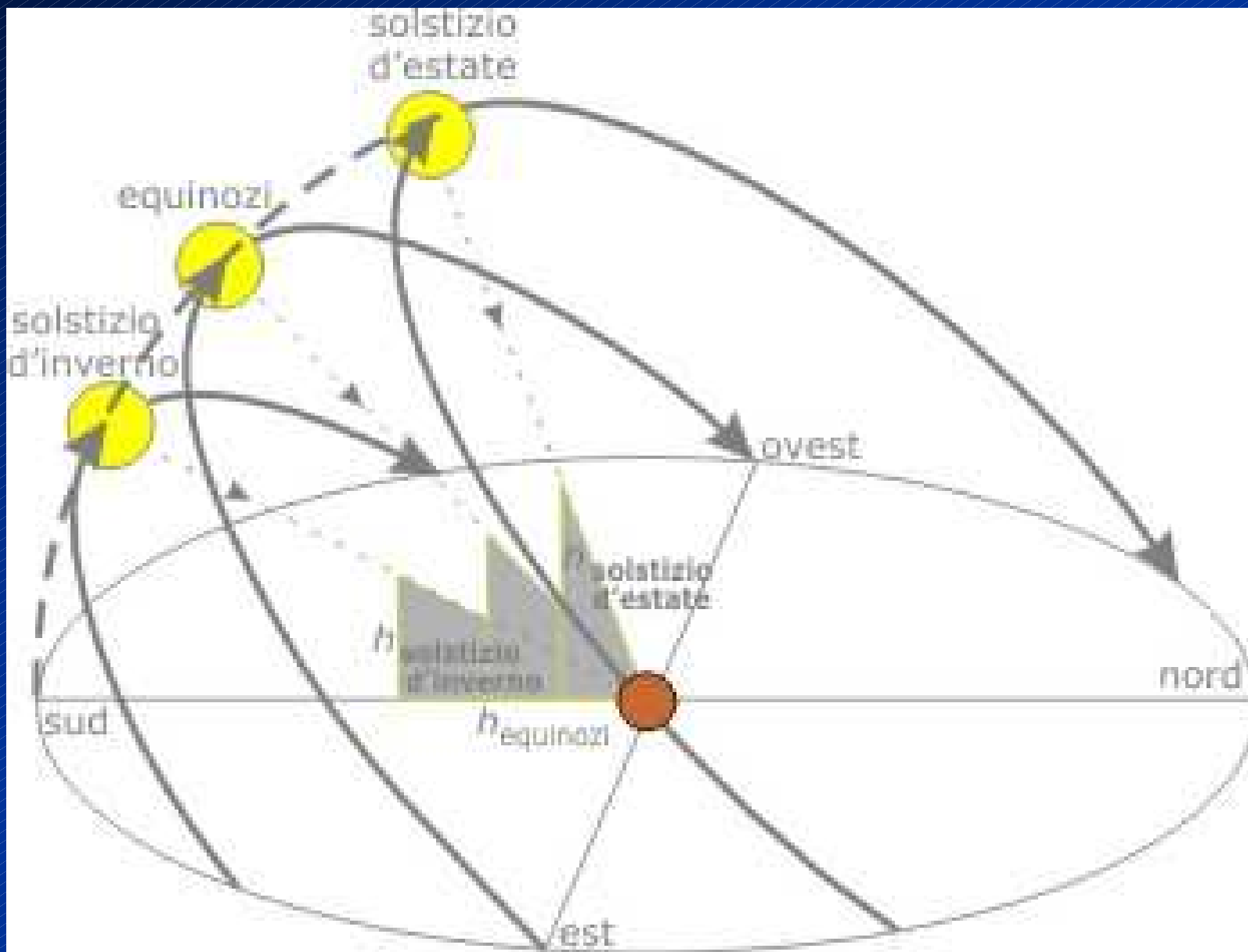


# Cosa è l'altezza solare?

È l'angolo formato dalla direzione dei raggi solari ed il piano orizzontale.

Può variare tra  $0^\circ$  (il Sole è all'orizzonte) e  $90^\circ$  (il Sole è allo zenit).





# Cosa sono l'azimut ed il tilt di una superficie captante?

L'**azimut** "a" di una superficie individua l'orientamento della superficie rispetto ai punti cardinali.

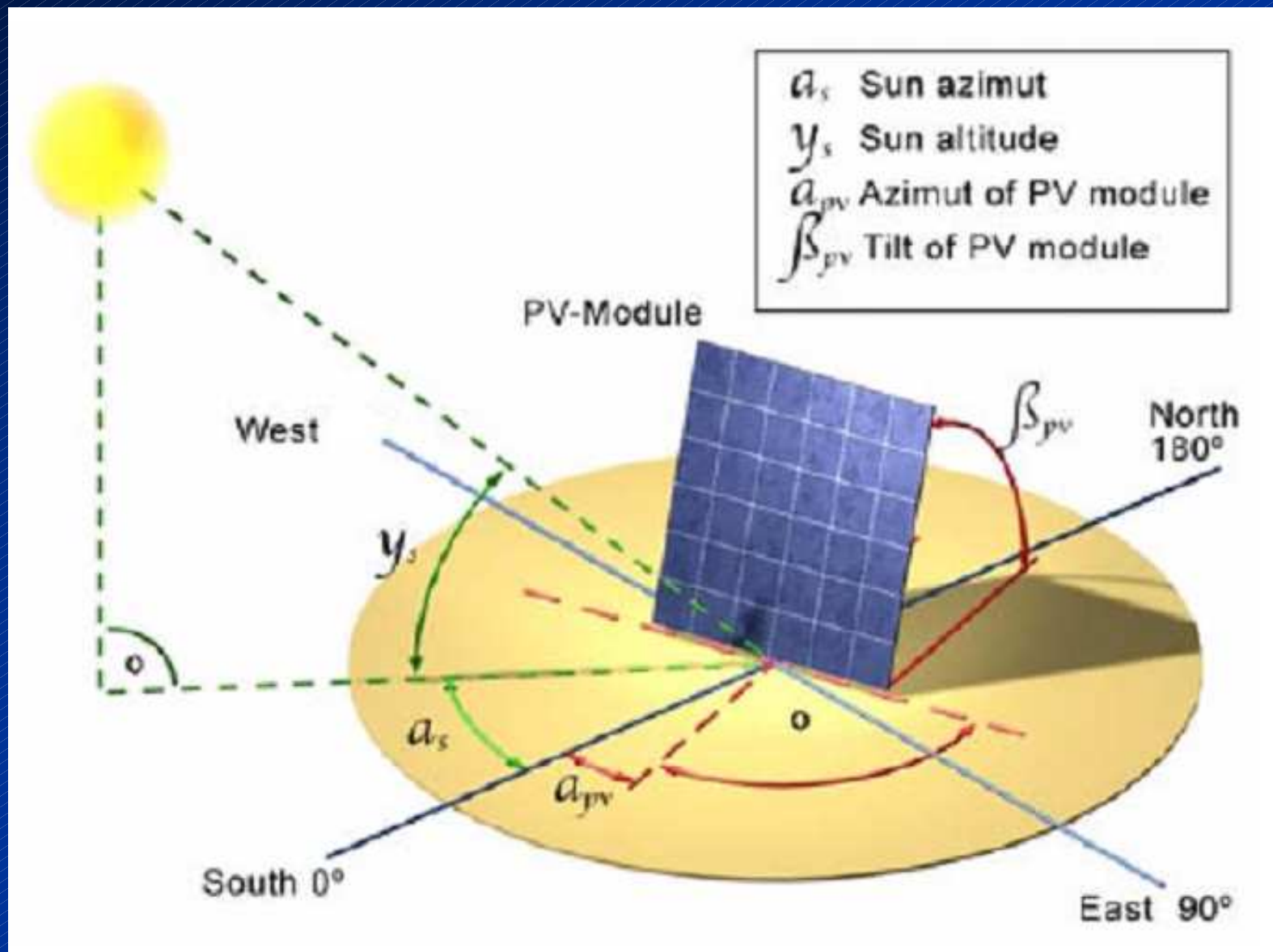
$a = -90^\circ \rightarrow$  la superficie è orientata ad ovest

$a = 0^\circ \rightarrow$  la superficie è orientata a sud

$a = 90^\circ \rightarrow$  la superficie è orientata a est

$a = 180^\circ \rightarrow$  la superficie è orientata a nord

Il **tilt** è l'angolo compreso tra una superficie captante ed il piano orizzontale. Può variare tra  $0^\circ$  (superficie orizzontale) e  $90^\circ$  (superficie verticale).

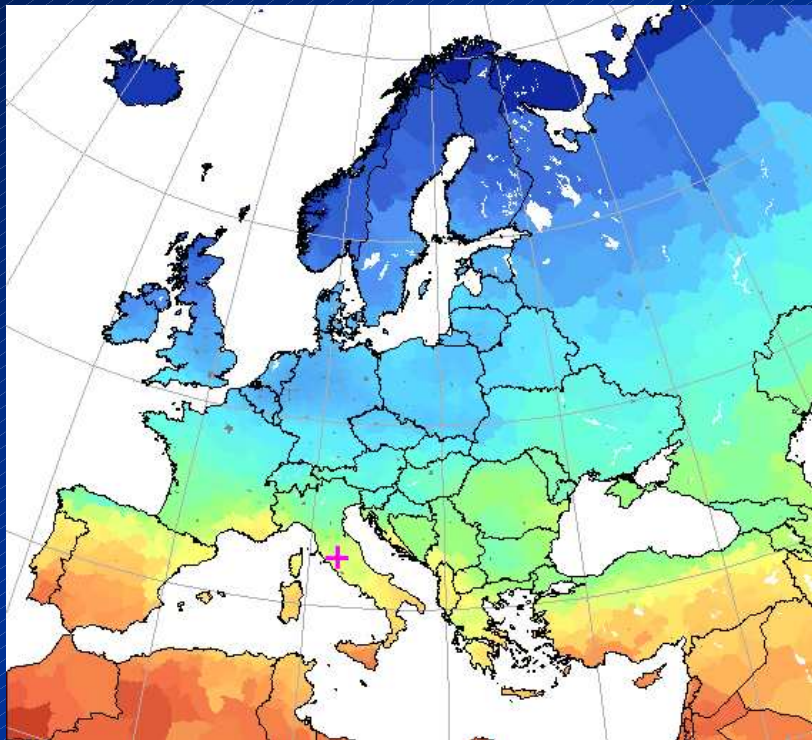


# Quanta energia solare può raccogliere in un anno una superficie captante?

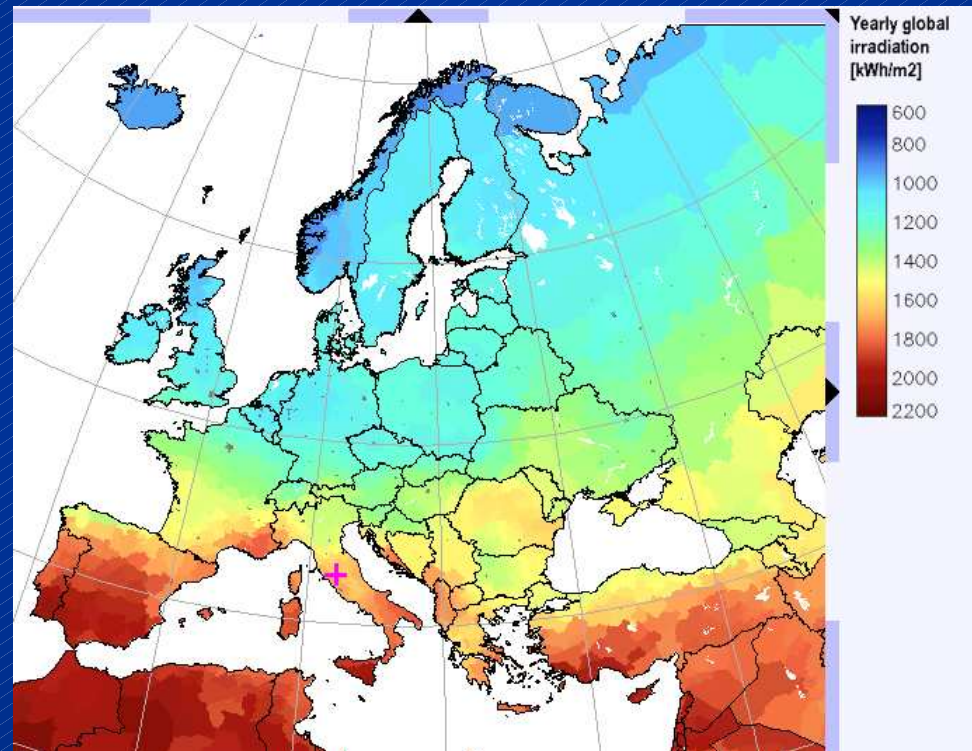
Da quanto detto è ovvio che tutto dipende dall'integrale nell'anno dell'irradianza che arriva istantaneamente sulla superficie. Ovviamente non è possibile modificare né il moto di rotazione terrestre intorno al proprio asse, né il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole. Conseguentemente, fissata la latitudine, **per massimizzare la raccolta di energia solare in un anno si può solo agire su inclinazione ed orientamento del pannello.**

# Irradiazione globale annua

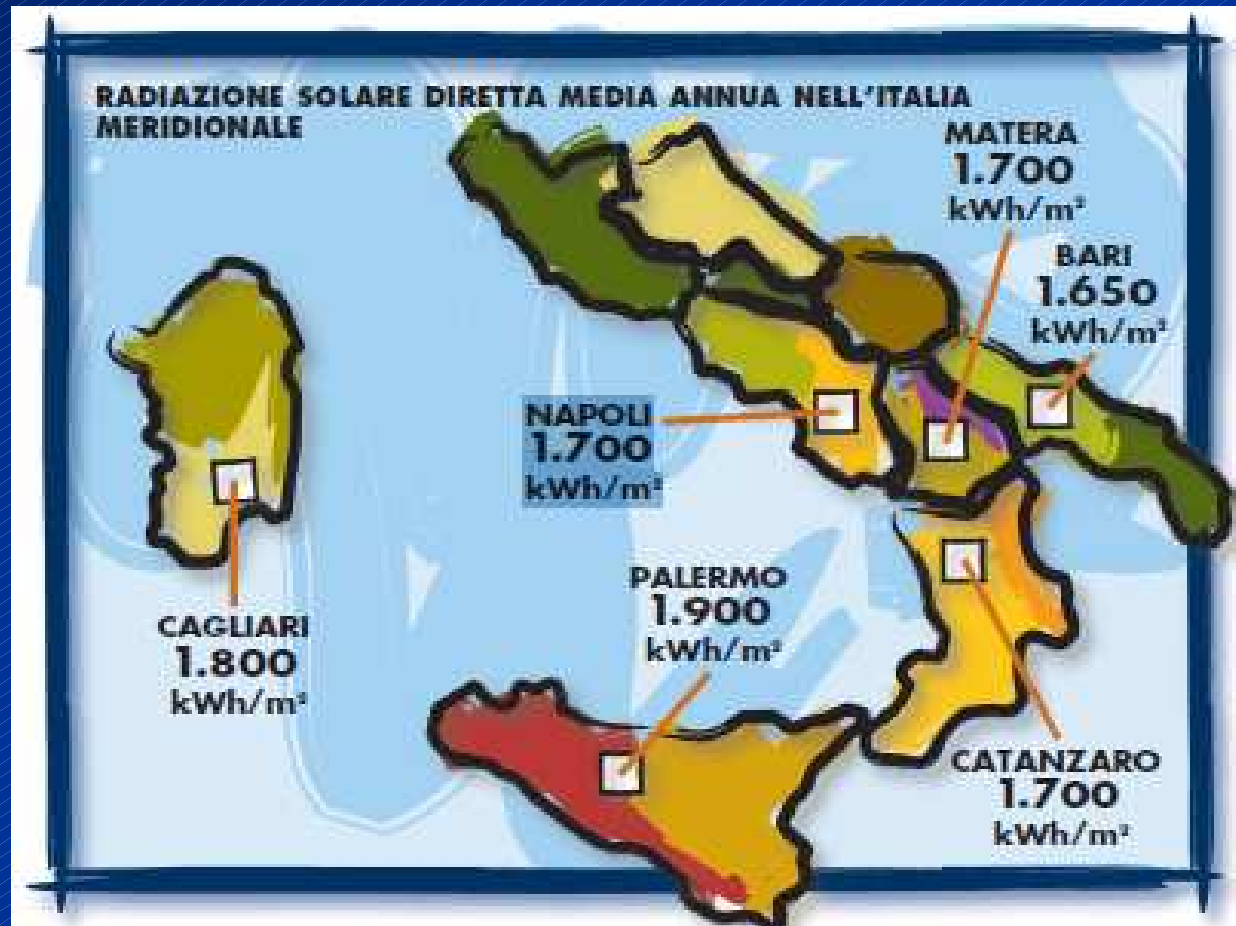
Irradiazione (tilt = 0°)



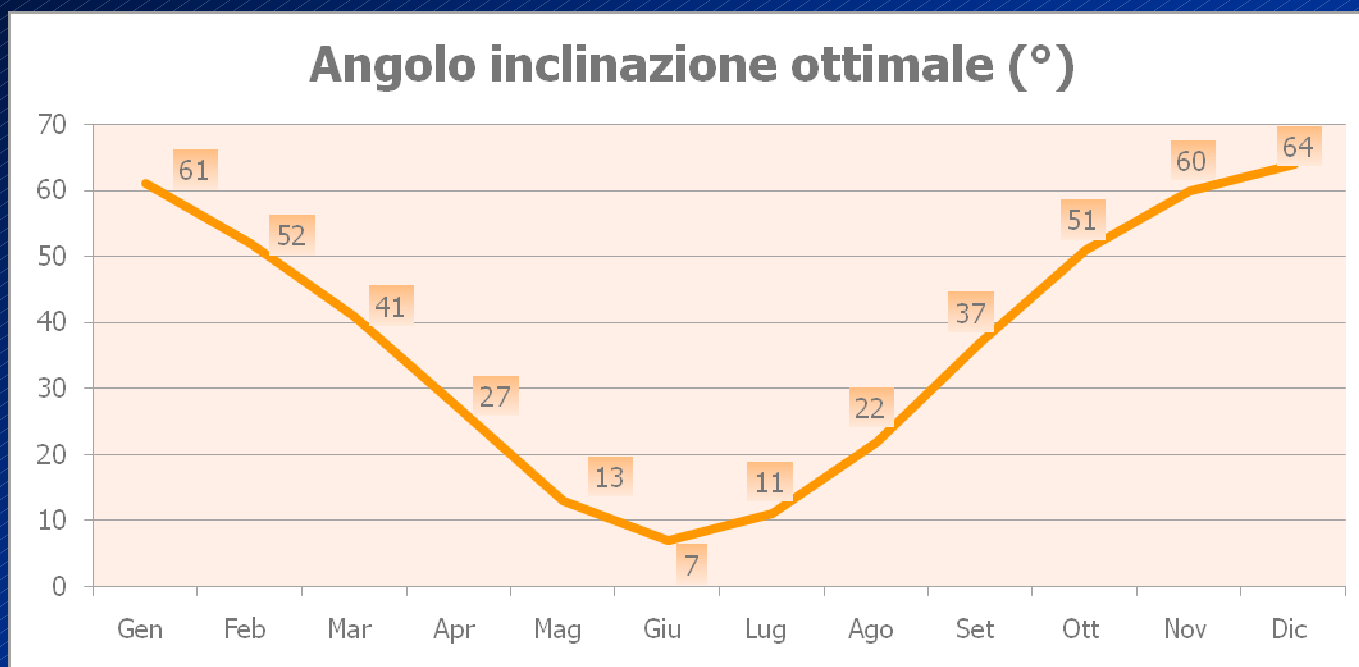
Irradiazione (tilt ottimale)



# Qual è la massima raccolta solare annua di superfici fisse ed inclinate?



# Angolo di inclinazione ottimale



Città Napoli (dintorni), Italia  
Località 40°48'18" Nord, 14°19'20" Est  
Altitudine: 0 m. s. l. m.  
Irradiazione mancata annuale per ombre (orizzontale): 0.0 %

**Angolo inclinazione ottimale:  
33 gradi**

Essendo l'irradianza funzione del periodo dell'anno, nella valutazione del tilt va considerato il campo di applicazione dell'impianto.

Se, ad esempio, l'impianto fotovoltaico deve lavorare prevalentemente nei mesi estivi (si pensi ad un villaggio turistico nella zona di Napoli), l'inclinazione ottimale non sarà quella considerata ottimale per un impianto che lavora tutto l'anno (33°) ma il pannello dovrà essere posto "quasi orizzontale" (ossia va considerata la curva di inclinazione dei massimi nella stagione di riferimento).

# Il calcolo della raccolta solare

La norma tecnica di riferimento per il calcolo della radiazione solare è la UNI 11328 che ha sostituito (e sostanzialmente ripreso) la UNI 8477.

Il calcolo, comunque, può materialmente essere fatto servendosi dell'Atlante italiano della radiazione solare ovvero collegandosi al sito [www.solaritaly.enea.it](http://www.solaritaly.enea.it) ed inserendo azimuth e tilt della superficie captante, nonché la latitudine del posto in questione.

Il calcolo viene realizzato su base mensile.

# Concetti fondamentali

- Cosa sono radiazione, potenza radiante, irradianza ed irradiazione?
- Da cosa dipendono irradianza ed irradiazione?
- Cosa è possibile calcolare numericamente irradianza ed irradiazione su una superficie?