

RADIAZIONE SOLARE

ENERGIA SOLARE

Per energia solare si intende l'energia emessa dal Sole con continuità, sotto forma di energia radiante. L'energia viene irradiata nello spazio sotto forma di radiazione elettromagnetica.

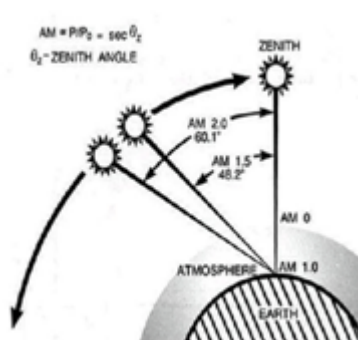
La radiazione solare che raggiunge il suolo terrestre viene attenuata dalla diffusione e dall'assorbimento ad opera dell'atmosfera. Per questo motivo l'energia solare che raggiunge il suolo terrestre non si degrada qualitativamente durante il tragitto dal Sole alla Terra, ma si diluisce, e quindi, può essere convertita quasi interamente in energia utilizzabile.

Energia irradiata dal sole: aspetti energetici.

L'energia che raggiunge la superficie della Terra muta con il variare di alcuni fattori: latitudine, altezza del suolo, stagione, ora del giorno, variazioni delle condizioni meteorologiche locali. L'energia irradiata dal Sole raggiunge il suolo terrestre secondo alcune leggi, quali:

- ☞ la posizione della Terra rispetto al Sole, che trova espressione fisica nella porzione di terra esposta alla radiazione variabile a ritmo stagionale
- ☞ nell'emisfero boreale durante l'inverno i raggi del sole arrivano con un angolo basso rispetto all'orizzonte e quindi risultano irradiate con scarsa intensità le superfici orizzontali (tangenti alla superficie della Terra) mentre vengono irradiate intensamente le superfici verticali esposte a Est, Sud, Ovest, in quanto investite secondo angoli vicini a 90.
- ☞ in funzione alla rotazione della Terra attorno al suo asse, la parte esposta ai raggi solari varia con ritmo giornaliero, od orario: i raggi del mattino e della sera investono le superfici verticali con angoli relativamente efficaci, essendo il Sole basso sull'orizzonte, mentre nelle ore meridiane l'irraggiamento più intenso raggiunge i piani orizzontali.

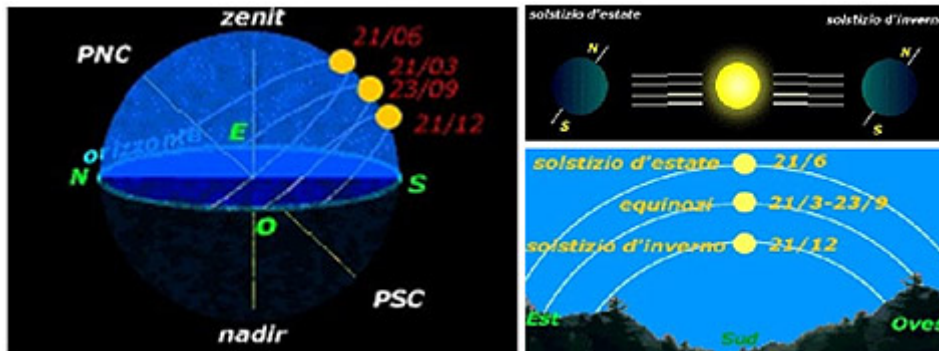
Nell'attraversamento dell'atmosfera, il valore della costante solare diminuisce via via che aumenta lo spessore dello strato d'aria attraversato. Per effetto dell'assorbimento atmosferico, il valore di 1,353 kW/m², valido al di sopra dell'atmosfera, si riduce a circa 1,0 kW/m² al livello del mare.



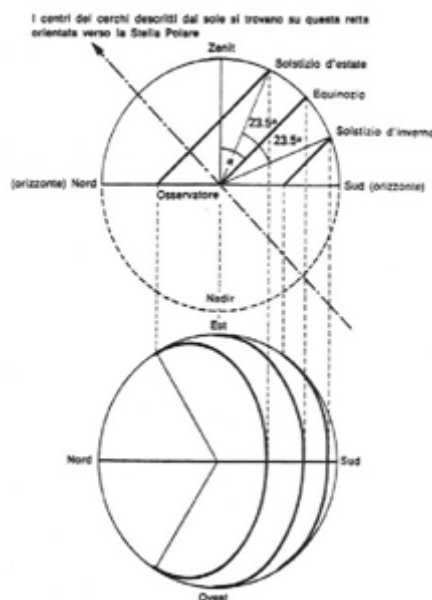
Per questo motivo si ha maggiore convenienza nel raccogliere la radiazione solare alle latitudini raggiunte dalle montagne; man mano che il Sole si allontana dallo zenit, aumenta l'assorbimento atmosferico in quanto aumenta lo spessore di atmosfera attraversata.

L'azione filtrante ed assorbente dell'atmosfera non varia soltanto con l'ora solare, ma anche con la stagione e la latitudine: vale a dire che il valore della "costante solare" (cioè la potenza della radiazione solare prima della modificazione da parte dell'atmosfera terrestre) al livello del mare dipende dalla declinazione del Sole.

Agli effetti della raccolta della radiazione solare mediante superfici collocate sul suolo, più importante delle variazioni stagionali dell'altezza del Sole sull'orizzonte, è il moto diurno apparente al Sole.



Durante l'attraversamento dell'atmosfera terrestre l'irraggiamento solare subisce effetti diversi. Una parte di esso viene riflessa verso lo spazio, principalmente ad opera delle nubi, un'altra parte viene diffusa in tutte le direzioni dall'incontro con le molecole di azoto, ossigeno, vapore d'acqua, anidride carbonica, ozono, una parte viene assorbita dalle molecole costituenti l'atmosfera, le quali di conseguenza si riscaldano ed emettono radiazione infrarossa, ed infine, una parte raggiunge la superficie della Terra e prende il nome di radiazione diretta.



La somma della radiazione diffusa e della radiazione infrarossa emessa dall'atmosfera in seguito all'assorbimento costituisce la radiazione diffusa. Soltanto un'aliquota dell'irraggiamento solare raggiunge perciò il suolo terrestre, poiché nell'attraversamento dell'atmosfera esso risulta selettivamente assorbito e disperso.

Dell'energia ricevuta dalla superficie terrestre, una parte viene pertanto assorbita dal terreno, una parte riflessa, una parte rimessa come radiazione infrarossa di lunghezza d'onda $8,12\text{mm}$, una parte va dispersa per convezione e una parte contribuisce all'evaporazione superficiale dell'acqua.
È evidente che qualsiasi considerazione sulle relazioni fra l'energia solare e la Terra e sulla possibilità di utilizzare tale energia, è basata sulla conoscenza della distribuzione geografica della intensità della radiazione solare.

Misurazione della radiazione solare

L'apparecchio che misura la durata dell'irraggiamento solare è l'**eliografo**: questo è **sensibile** alla radiazione diretta, cioè **ai raggi solari visibili**.

Lo strumento standard **registra la radiazione al di sopra** del limite d'illuminazione **di 210 Wm** , cioè di un quinto di un massimo possibile. Il limite può **variare tra 70 e 280 Wm** .



L'**irraggiamento totale** si **registra con il piranometro**, che **riceve l'energia solare** proveniente da **tutto l'emisfero celeste**, vale a dire da un orizzonte in modo da misurare la radiazione incidente su una superficie orizzontale. Lo spettro di **lunghezza d'onda misurata** si **aggira tra $0,3\text{ mm}$ e 3 mm** .



Il terzo tipo di misurazione è quello della radiazione diffusa. Si utilizzano in questo caso piranometri forniti di un dispositivo supplementare che serve da schermo alla radiazione diretta.

La radiazione diretta si misura con il pireliometro: questo strumento comporta un'apertura ridotta e una superficie ricevente che deve essere mantenuta ortogonale ai raggi del sole.

Esistono inoltre apparecchi di misura nei quali la termopila è sostituita da una fotopila, la cui sensibilità è molto più elevata e pur mantenendo essi un alto indice di precisione, sono meno costosi.



Parametri di interesse

I w/m^2	Irradianza solare media mensile orizzontale
I_{sm}	Irradianza solare mese di max insolazione $I_{sm} = 11,57 \cdot H_{sm}$
H_{sm}	radiazione globale (diretta + diffusa) giornaliera media mensile
11,57	convenzione MJ/m^2 gg \rightarrow w/m^2
H_{bh} diretta	irradiazione solare giornaliera media mensile orizzontale
H_{dh} diffusa	irradiazione solare giornaliera media mensile orizzontale

Attraverso un serramento:

$$ER \text{ W/m}^2 = 72,2 \text{ g} - 21,9 U_{TOT} - 0,54 \frac{L75}{A_{TOT}}$$

\swarrow \nearrow \swarrow \nearrow \searrow
 Fattore solare permeabilità aria a 75 N/m² m²

\nearrow w/m^2K

Il nuovo D.L.192 riporta il limite di 290 W/m^2 come valore medio mensile di irradianza sul piano orizzontale. Nel mese di massima insolazione estiva

$$I_{sm, 0} \geq 290 \text{ W/m}^2$$

ricavabile da

UNI 10349 – Dati climatici

In particolare da:

Prospetto VI

<u>N°</u>	<u>Località</u>
1	Agrigento
2	Alessandria
3

Prospetto VIII

<u>N°</u>	<u>Mese</u>		
1	H_{dh} H_{bh}		
2	↑ somma nel mese di max insolazione		
49	Milano	24,0 MJ/m^2 gg	x 11,57 = 277,68 W/m^2
76	Roma	27,1	x 11,57 = 313,55 W/m^2
32	Firenze	25,6 = 296,19 W/m^2
14	Bologna	25,6

UNI 10349

RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO DEGLI EDIFICI

DATI CLIMATICI

Heating and cooling of buildings. Climatic data

1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento ed il raffrescamento. I dati presentati si raggruppano in due categorie:

- dati climatici giornalieri medi mensili;
- dati di progetto.

I primi riguardano il calcolo dei fabbisogni energetici e le verifiche idrometriche, i secondi la verifica del superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze ed il dimensionamento, in termini di potenza termica, dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

I dati forniti si utilizzano per:

- il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento degli edifici, UNI 10344;
- la verifica igrometrica ai fenomeni di condensazione del vapore, UNI 10350;
- il calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti; UNI 10375.

3. Definizioni e simboli

3.1 Definizioni

- 3.1.1. **energia radiante:** Energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche
- 3.1.2. **irradianza:** Rapporto tra l'energia radiante per unità di tempo che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- 3.1.3. **irradiazione:** Rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- 3.1.4. **regione di vento:** Aree omogenee del territorio italiano rispetto alla variazione della velocità del vento in funzione dell'altitudine e della distanza del sito in esame dalla costa.
- 3.1.5. **zona di vento:** Sito caratterizzato da una specifica riduzione od accrescimento del valore della velocità del vento rispetto ad un valore di riferimento.

Simboli e unità di misura

La lista dei fondamentali simboli utilizzati è riportata nel prospetto I.

Prospetto I – Simboli ed unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
Temperatura giornaliera media mensile nella località considerata	θ_e	°C
Temperatura giornaliera media mensile nella località di riferimento	$\theta_{e,r}$	°C
Temperatura estiva massima nella località considerata	θ_{max}	°C
Temperatura estiva massima nella località di riferimento	$\theta_{max,r}$	°C
Escursione termica giornaliera dell'aria esterna in condizioni estive di progetto	$\Delta\theta_{max}$	°C
Fattore di distribuzione della temperatura massima giornaliera	F	--
Altitudine s.l.m. della località considerata	Z	m
Altitudine s.l.m. della località di riferimento	Z_r	m
Gradiente verticale di temperatura	$\frac{Z}{H}$	°C/m
Irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale	\overline{H}_{bh}	MJ/m ²
Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale	\overline{H}_{dh}	MJ/m ²
Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale	\overline{H}_{dh}	MJ/m ²
Irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T	I_T	W/m ²
Latitudine della località considerata	ϑ	°
Latitudine della località di riferimento	ϑ_r	°
Velocità del vento	ω	m/s
Velocità del vento nella località di riferimento	ω_r	m/s
Coefficiente correttivo caratteristico della zona di vento	C	--

4. Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VI. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);
- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\theta_e = \theta_{e,r} - (Z - Z_r) \cdot \delta$$

Dove: $\theta_{e,r}$ è la temperatura nella località di riferimento;
 Z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;
 Z_r è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;
 δ è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetto II, in funzione della zona geografica.

Prospetto II – Valori del gradiente verticale di temperatura

Zona geografica	δ (°C/m)
Italia settentrionale transpadana	1/178
Italia settentrionale cispadana	1/200
Italia centrale e meridionale	1/147
Sicilia	1/174
Sardegna	1/192

5. Irradiazione solare giornaliera media mensile

I valori della irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati, nelle componenti H_{bh} diretta e H_{dh} diffusa e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VIII, ordinati per codice di provincia. Il codice di provincia (qui inteso come numero d'ordine nella classificazione per sigla), il nome del relativo capoluogo e le sue coordinate geografiche, altitudine, latitudine e longitudine sono invece riportati nel prospetto VII. Per le località non comprese è possibile calcolare una irradiazione corretta che tenga conto della diversa localizzazione, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identificano due località di riferimento, ovvero i capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si calcola il valore della irradiazione della località considerata come media ponderale dei valori delle due località di riferimento pesate rispetto alla latitudine, secondo la seguente relazione:

$$H = H_{r1} + \frac{H_{r2} - H_{r1}}{\vartheta_{r2} - \vartheta_{r1}} (\vartheta - \vartheta_{r1})$$

- Dove: H_{r1} è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;
 H_{r2} è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;
 ϑ_{r1} è la latitudine della prima località di riferimento;
 ϑ_{r2} è la latitudine della seconda località di riferimento;
 ϑ è la latitudine della località considerata.

Per il calcolo dell'irradiazione solare su superfici non orizzontali si rimanda alla UNI 8477/1.

Applicando la citata norma sono state precalcolate, utilizzando un coefficiente di albedo medio pari a 0,2, le irradiazioni solari globali giornaliere medie mensili, per ogni capoluogo di provincia e per ogni mese dell'anno, relativamente a superfici verticali orientate a Sud, Sud-Ovest o Sud-Est, Est od Ovest, Nord -Ovest o Nord-Est, Nord, riportate rispettivamente nei prospetti IX, X, XI, XII, XIII.

6. Valore medio annuale della velocità del vento media giornaliera

I valori medi annuali delle velocità del vento medie giornaliere e la direzione prevalente per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto XIV. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata in prospetto insieme con la relativa zona di vento. Per le località non comprese è possibile calcolare una velocità del vento corretta che tenga conto della diversa localizzazione e quota, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria, sullo stesso versante geografico e regione di vento (vedere figura) di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza), rilevando dal prospetto XIV la relativa zona di vento;
- si identifica tramite il prospetto III la zona di vento per la località considerata, in funzione della altitudine e distanza dal mare;

- si determina tramite il prospetto IV il coefficiente correttivo c , dove nella prima colonna sono riportate le zone di vento per la località di riferimento, mentre nella prima riga sono riportate quelle per la località considerata; l'incrocio di una riga con una colonna dà il coefficiente correttivo relativo alle due zone di vento identificate da quella riga e quella colonna;
- si apporta una correzione al valore della velocità della località di riferimento per tenere conto della diversa localizzazione e della differenza di quota tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$w = c \cdot w_r$$

Dove: w_r è la velocità del vento nella località di riferimento;
 c è il coefficiente correttivo desumibile dal prospetto III.



Figura – Regioni di vento

Prospetto III – Zone di vento

Regione di vento	Fascia Costiera ≤ 20 Km	Fascia Subcostiera ≤ 40 Km	Entroterra > 20 Km* Altitudine (m)						
			300	500	800	1200	1500	2000	> 2000
A	3	2	1	1	2	2	3	3	4
B	2		1	2	2	3	3	4	4
C	3		2	2	3	3	3	4	4
D	3		3	3	3	4	4	4	4
E	4		3	3	3	4	4	4	4

* Ad eccezione della regione A per cui l'entroterra è > 40 Km

Prospetto IV – Coefficiente correttivo c

Zona di vento della località di riferimento	Zona di vento			
	1	2	3	4
1	1	1,780	2,780	4,000
2	0,562	1	1,560	2,250
3	0,360	0,640	1	1,440
4	0,250	0,445	0,694	1

7. Valori medi mensili della pressione parziale media giornaliera del vapore nell'aria

I valori medi mensili della pressione parziale del vapore d'acqua medie giornaliere nell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto XV. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto.

8. Temperatura estiva massima: distribuzione giornaliera

La distribuzione giornaliera (valori orari) della temperatura dell'aria esterna si ottengono come:

$$\theta_t = \theta_{\max} - F(t) \Delta\theta_{\max}$$

Dove:

θ_{\max} è la temperatura massima giornaliera dell'aria esterna;
 $F(t)$ è il fattore di distribuzione della temperatura;
 $\Delta\theta_{\max}$ è l'escursione giornaliera dell'aria esterna

I valori del fattore di distribuzione $F(t)$ sono riportati nel prospetto V.

I valori dei θ_{\max} e $\Delta\theta_{\max}$ sono riportati per i singoli capoluoghi di provincia nel prospetto XVI.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura massima estiva corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);
- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\theta_{\max} = \theta_{\max,r} - (z - z_r) \cdot \delta$$

Dove:

$\theta_{\max,r}$ è la temperatura nella località di riferimento;
 z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;
 z_r è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;
 δ è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nei prospetti I, in funzione della zona geografica.

Prospetto V – Fattore $F(t)$

Ora	F(t)	Ora	F(t)	Ora	F(t)
1	0,87	9	0,71	17	0,10
2	0,92	10	0,56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1,00	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0,00	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

9. Irradianza solare estiva massima: distribuzione giornaliera

Nel prospetto XVII sono riportati i valori dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine. In funzione degli stessi parametri nel prospetto XVIII sono riportati i valori dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice sia disposto verticalmente e diversamente orientato che disposto orizzontalmente. Nel prospetto XIX e XX sono infine rispettivamente riportati i valori dell'altezza solare massima di cui al prospetto XVII.

Per il calcolo dell'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale ad una specifica ora del giorno, occorre conoscere la latitudine della località in esame per interpolare linearmente tra i valori relativi alle latitudini tabulate secondo la (6):

$$I_T(\varphi) = I_T(\varphi_M) + \frac{I_T(\varphi_{r2}) - I_T(\varphi_M)}{\varphi_{r2} - \varphi_M} \cdot (\varphi - \varphi_M)$$

Dove:

I_T è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T;

φ è la latitudine della località in esame;

φ_M è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più grande della località;

$I_T(\varphi_M)$ è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_M ;

φ_{r2} è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più piccola della località;

$I_T(\varphi_{r2})$ è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r2} .