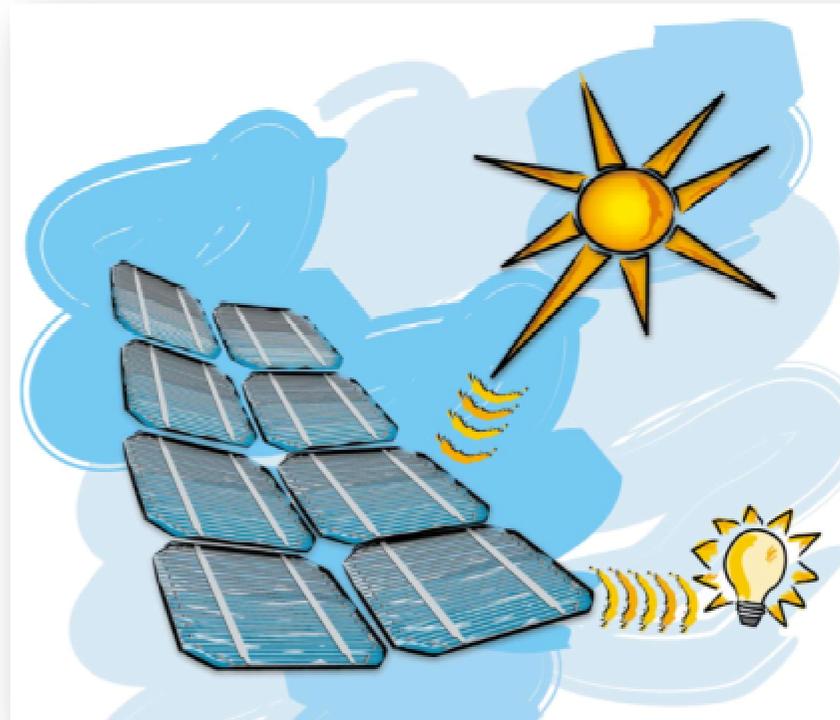


**Sussidi didattici per il corso di  
PROGETTAZIONE, COSTRUZIONI E IMPIANTI**

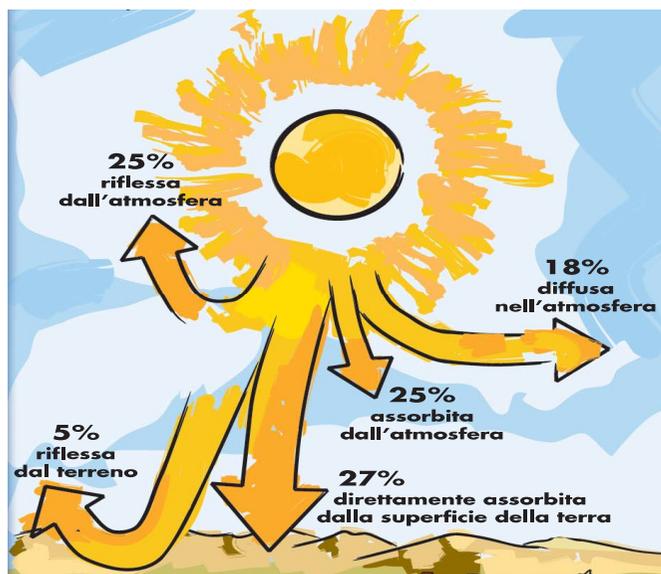
**Prof. Ing. Francesco Zanghì - Prof. Arch. Pasquale Falconetti**



# **IMPIANTI FOTOVOLTAICI**

AGGIORNAMENTO 15/05/2013

## ENERGIA SOLARE e IRRAGGIAMENTO



La quantità di energia solare che raggiunge la terra è una parte di quella uscente dal sole.

L'**irraggiamento** è, infatti, la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un giorno. La sua unità di misura è **kWh/m<sup>2</sup>/giorno**.

L'irraggiamento è influenzato dalle condizioni climatiche locali (nuvolosità, foschia ecc..) e dipende dalla **latitudine** del luogo, cresce, cioè, quanto più ci si avvicina all'equatore. In Italia, l'irraggiamento medio annuale è circa:

**3,6 kWh/m<sup>2</sup>/giorno** >> **pianura padana**  
**4,7 kWh/m<sup>2</sup>/giorno** >> **centro Sud**  
**5,4 kWh/m<sup>2</sup>/giorno** >> **Sicilia**

## IMPIANTO FOTOVOLTAICO

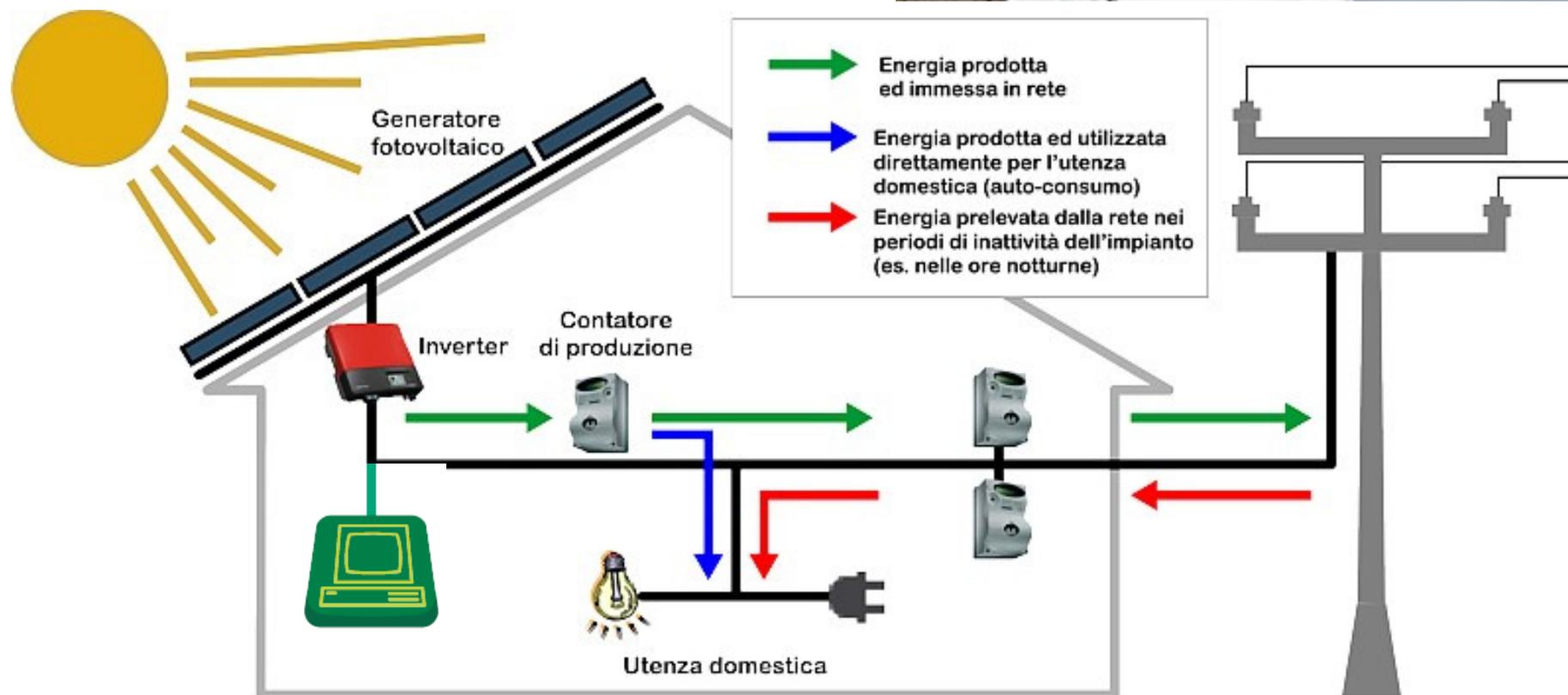
Gli impianti fotovoltaici sfruttano il cosiddetto "**effetto fotoelettrico**", cioè la capacità che hanno alcuni semiconduttori opportunamente trattati ("drogati") di generare elettricità se esposti alla radiazione luminosa. Essi consentono appunto di trasformare, direttamente e istantaneamente, l'energia solare in energia elettrica continua senza l'uso di alcun combustibile. Producono elettricità e non richiedono manutenzione e non danneggiano l'ambiente. Nel nostro paese, quindi, le regioni ideali per lo sviluppo del fotovoltaico sono quelle meridionali e insulari anche se, per la capacità che hanno di sfruttare anche la radiazione diffusa, gli impianti fotovoltaici possono essere installati anche in zone meno soleggiate.

In località favorevoli è possibile raccogliere annualmente circa **2000 kWh** da ogni metro quadrato di superficie.



Un impianto fotovoltaico è essenzialmente costituito da:

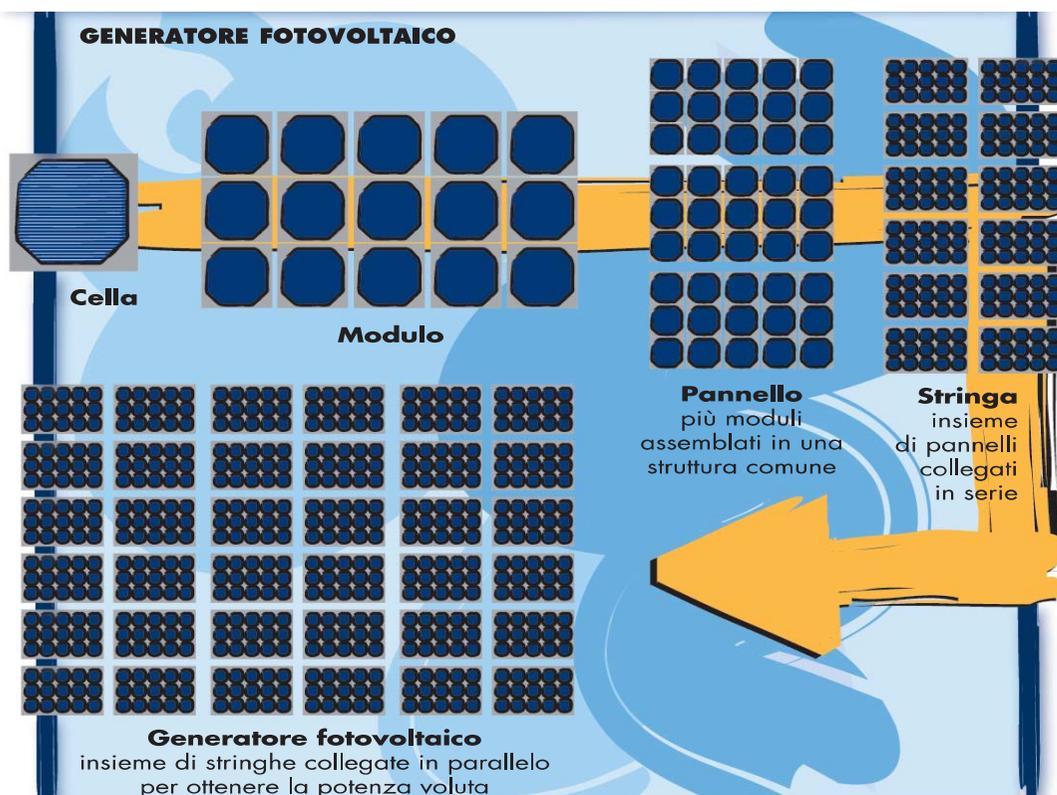
- **MODULI FOTOVOLTAICI**
- **INVERTER**
- **SISTEMA DI MONITORAGGIO (eventuale)**
- **MISURATORI DI ENERGIA (contatori)**
- **QUADRI ELETTRICI E CAVI DI COLLEGAMENTO**



## MODULI FOTOVOLTAICI

Il componente elementare di un generatore fotovoltaico è la **cella**. È lì che avviene la conversione della radiazione solare in corrente elettrica. Essa è costituita da un sottile strato di un materiale semiconduttore, quasi sempre *silicio* opportunamente trattato, dello spessore di circa 0,3 mm.

Poiché la potenza di una cella fotovoltaica varia al variare della sua temperatura e della radiazione, per poter fare dei confronti sono state definite delle condizioni standard alle quali fa riferimento il cosiddetto **watt di picco (Wp)**, relativo alla potenza fornita dalla cella alla temperatura di 25°C sotto una radiazione di 1.000 W/mq.



Generalmente la cella fotovoltaica misura solitamente 125x125 mm e produce, con un irraggiamento di **1 kW/mq** ad una temperatura di **25°C**, una corrente compresa tra i **3** e i **4 A** e una tensione di circa 0,5 V, con una potenza corrispondente di **1,5 - 2 Wp**.

In commercio troviamo **moduli fotovoltaici** costituiti da un insieme di celle. I più diffusi hanno **36** celle disposte su **4 file** parallele collegate in serie. Hanno superfici che variano da 0,5 a 1 m<sup>2</sup>. Più moduli collegati in serie formano un **pannello**, ancorabile al suolo o ad un edificio. Più pannelli collegati in serie costituiscono una **stringa**. Più stringhe, collegate generalmente in parallelo per fornire la potenza richiesta, costituiscono il **generatore fotovoltaico**.

## INVERTER

È un dispositivo elettronico che consente di adeguare l'energia elettrica prodotta dai moduli alle esigenze delle apparecchiature elettriche e della rete, operando la conversione da **corrente continua** a **corrente alternata** con una frequenza di **50 Hz**. Normalmente gli inverter incorporano dei dispositivi di protezione e interfaccia che determinano lo spegnimento dell'impianto in caso di black-out o di disturbi della rete.

L'alternanza giorno/notte, il ciclo delle stagioni, le variazioni delle condizioni meteorologiche fanno sì che la quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico non sia costante né al variare delle ore del giorno, né al variare dei mesi dell'anno. Ciò significa che, nel caso in cui si voglia dare la completa autonomia all'utenza, occorrerà o collegare gli impianti alla rete elettrica di distribuzione nazionale o utilizzare dei sistemi di accumulo dell'energia elettrica che la rendano disponibile nelle ore di soleggiamento insufficiente.

## SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il monitoraggio locale è costituito da un dispositivo elettronico opzionale che comunica con l'inverter e con eventuali sensori accessori (misure meteorologiche ed elettriche). Mediante tale apparecchiatura è possibile tenere sotto controllo il funzionamento dell'impianto, registrare le misure su un PC e visualizzare alcune grandezze caratteristiche su schermi o display luminosi. Il monitoraggio da remoto consente di inviare i dati dell'impianto e l'eventuale presenza di guasti via internet, e-mail, SMS.

## MISURATORI DI ENERGIA (contatori)

Sono degli apparati che vengono installati sulle linee elettriche e misurano l'energia che li attraversa, ad esempio vengono utilizzati per conteggiare l'energia prodotta dall'impianto e quella immessa in rete.

## QUADRI ELETTRICI E CAVI DI COLLEGAMENTO

Quadri, cavi, interruttori ed eventuali ulteriori dispositivi di protezione sono i componenti elettrici che completano l'impianto.



## Potenze e Conto Energia

**Conto energia** è il nome comune assunto dal *programma europeo di incentivazione* in conto esercizio della produzione di elettricità da fonte solare mediante impianti fotovoltaici permanentemente connessi alla rete elettrica.



Dal *19 settembre 2005* è possibile presentare la domanda al **GSE = Gestore dei Servizi Energetici** (<http://www.gse.it/>). Il GSE è una società partecipata interamente dal Ministero dell'Economia e delle Finanze. Esso ritira e colloca sul mercato elettrico l'energia prodotta dagli impianti incentivati e certifica la provenienza da fonti rinnovabili dell'energia elettrica immessa in rete.

La prassi vuole che gli impianti fotovoltaici vengano suddivisi per dimensione in 3 grandi famiglie:

- **Piccoli impianti** >> con potenza nominale inferiore a **20 kW**;
- **Medi impianti** >> con potenza nominale compresa tra **20 kW** e **50 kW**;
- **Grandi impianti** >> con potenza nominale maggiore di **50 kW**.

Con l'entrata in vigore del **4° Conto Energia** (*maggio 2011*) le nuove fasce per gli impianti su edificio sono:

Primo Semestre 2013	Impianti sugli edifici		altri impianti fotovoltaici	
	tariffa onnicomprensiva	tariffa autoconsumo	tariffa onnicomprensiva	tariffa autoconsumo
$1 \leq P \leq 3$	0,375	0,230	0,346	0,201
$3 < P \leq 20$	0,352	0,207	0,329	0,184
$20 < P \leq 200$	0,299	0,195	0,276	0,172
$200 < P < 1000$	0,281	0,183	0,239	0,141
$1000 < P \leq 5000$	0,227	0,149	0,205	0,127
$P > 5000$	0,218	0,140	0,199	0,121

# DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO

*Vogliamo dimensionare un impianto fotovoltaico da realizzare a Modena.*



1. Per dimensionare correttamente un impianto fotovoltaico alle proprie esigenze è necessario individuare qual è il **consumo elettrico attuale** relativo all'utenza. Si parte quindi da un valore di kWh/anno consumati valutando la bolletta dell'attuale fornitore di energia, e si decide quale porzione di essa si vuole ricavare dal generatore fotovoltaico. Sul primo foglio della fattura bimestrale Enel, alla voce "Dati Fornitura" è indicato il consumo annuo in kWh. Nel nostro caso leggiamo:

**2933 kWh.**

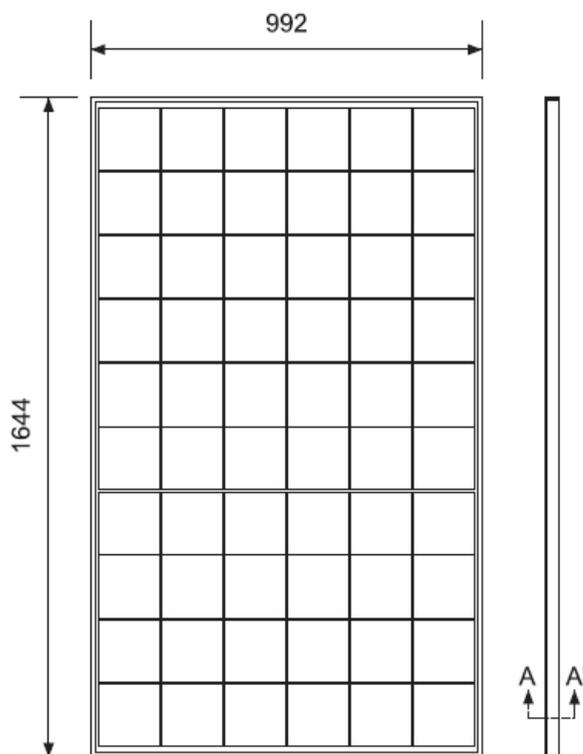
2. Una volta individuata l'energia annua che il nostro sistema deve essere in grado di produrre si procede con la scelta del **posizionamento dei pannelli**, dell'**inclinazione** e dell'**orientamento**, in considerazione della tipologia di installazione (piana, su falda, integrata in facciata, ecc.).

L'orientamento ideale per i pannelli fotovoltaici è senza dubbio il **Sud**. E' noto come le superfici esposte a Sud godano della maggior quantità possibile di radiazione solare. Spesso accade che le superfici disponibili per l'installazione non siano perfettamente esposte a Sud; questo nella gran parte dei casi non costituisce un grave problema. Infatti, spostamenti anche consistenti verso Sud-est o Sud-ovest comportano diminuzioni trascurabili nella producibilità elettrica dell'impianto.

Per gli impianti connessi alla rete, l'inclinazione ideale rispetto alla superficie orizzontale è quella che consente di massimizzare la produzione elettrica su base annua. L'angolo d'inclinazione dei moduli dipende dalla latitudine della località scelta per l'installazione. Un valore medio normalmente consigliato è di **30°**, ma possono andare bene anche inclinazioni di 20° o 40°.

3. Si procede con la scelta della **tipologia e tecnologia di pannelli** da utilizzare e si valutano, dalle relative schede tecniche, le caratteristiche elettriche principali, in particolare la **potenza di picco** (Wp) e il valore di **efficienza**.

Dati tecnici	
Potenza massima Pmax (Wp)	220
Tensione alla massima potenza Vmp (V)	30,05
Corrente alla massima potenza Imp (A)	7,32
Tensione di circuito aperto Voc (V)	36,84
Corrente di cortocircuito Isc (A)	7,82
Potenza minima garantita Pmin (W)	220,00
Tolleranza di resa (%)	-0 +5
Massima tensione di sistema (V)	1000
Efficienza della cella (%)	15,60
Efficienza del modulo (%)	13,96
NOCT (°C)	43±2
Coefficiente di temperatura di Pmax (%/°C)	-0,43
Coefficiente di temperatura di Voc (%/°C)	-0,34
Coefficiente di temperatura di Isc (%/°C)	0,03
Carico meccanico (Pa)	5400
Peso (kg)	23,50



Decidiamo di utilizzare pannelli in **silicio policristallino** (di ultima generazione) caratterizzati da una potenza di picco pari a **220 Wp**. Il modulo è composto da **60 celle** di dimensioni **156x156 mm**. Il modulo complessivamente è lungo **1664 mm**, largo **992 mm** e alto **36 mm**. La superficie di un modulo è pari a **1.587 mq**. L'efficienza del modulo è pari a **13.96 %**.

Il numero dei moduli che dovremo utilizzare sarà ottenuto dal rapporto fra la superficie calcolata e la superficie del singolo modulo acquistato.

Il nostro impianto sarà del tipo **parzialmente integrato** in quanto verrà installato sul tetto dell'edificio.

4. A questo punto si valuta, in funzione della località di installazione, la disponibilità di radiazione solare disponibile durante tutto l'arco temporale annuale. Per fare questo ci avvaliamo di una procedura automatica disponibile online al seguente indirizzo: <http://www.solaritaly.enea.it/CalcComune/Calcola.php>

### Trova coordinate dalla mappa

Nome della località:

Latitudine: 44°38.8' Longitudine: 10°55.1'



Le coordinate del sito vengono determinate tramite Google Maps. Introduciamo un azimut pari a  $0^\circ$ , in quanto decidiamo di orientare i pannelli a Sud, e un'inclinazione pari a  $30^\circ$ . Manteniamo l'opzione "ENEA-SOLTERM" per il modello di calcolo della radiazione diffusa. Introduciamo un coefficiente di riflessione al suolo pari a 0.25. Selezioniamo come unità di misura il kWh/mq e settiamo il calcolo per tutti i mesi dell'anno.

### Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995-1999

Input per il calcolo:

*Leggere prima le brevi [istruzioni](#) per l'immissione dei dati.*

*C'è anche la pagina delle [definizioni](#) delle grandezze coinvolte nel calcolo*

Posizione della località:

Latitudine (esempio: 42°02'36"):  Longitudine (esempio: 12°18'28"):

Trova le coordinate con [Google Maps](#)

Angoli che definiscono la posizione della superficie ricevente:

Azimut (esempio: -10°00'00"):

Inclinazione rispetto al piano orizzontale (esempio: 30°00'00"):

Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale:

ENEA-SOLTERM

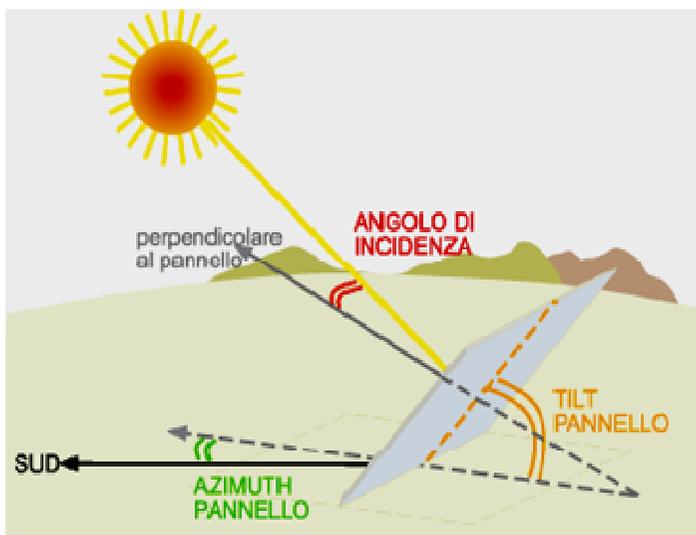
UNI 8477

Iqbal

Coefficiente di riflessione del suolo (0+1; esempio: 0.25):

Unità di misura per la R.g.g.m.m.:

Effettuare il calcolo per:



### Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995-1999

#### Dati già immessi:

- Latitudine: 44°38.8'; longitudine: 10°55.1'
- Azimut:
- Inclinazione rispetto al piano orizzontale:
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: ENEA-SOLTERM
- Coefficiente di riflessione del suolo:
- Unità di misura: kWh/m<sup>2</sup>
- Calcolo per tutti i mesi

Completare i dati di input indicando mese per mese l'eventuale presenza di un ostacolo davanti alla superficie ricevente e - solo per i casi di ostacolo 'Presente' - indicare pure gli istanti iniziale e finale dell'intervallo durante il quale l'ostacolo si frappone fra i raggi del sole e la superficie:

[ [Formato dell'ora](#) ] [ [Nota](#) ]

Mese	Assente	Presente	Presente tutto il giorno	Ora di inizio ( CET ):	Ora di fine ( CET ):
Gennaio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Febbraio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Marzo	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Aprile	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Maggio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Giugno	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Luglio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Agosto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Settembre	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Ottobre	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Novembre	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Dicembre	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		

Calcola

## Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995-1999

### Dati di input:

- Latitudine: 44°38.8'; longitudine: 10°55.1'
- Azimut: 0
- Inclinazione rispetto al piano orizzontale: 30
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: ENEA-SOLTERM
- Coefficiente di riflessione del suolo: 0.25
- Unità di misura: kWh/m<sup>2</sup>
- Calcolo per tutti i mesi

### Risultato:

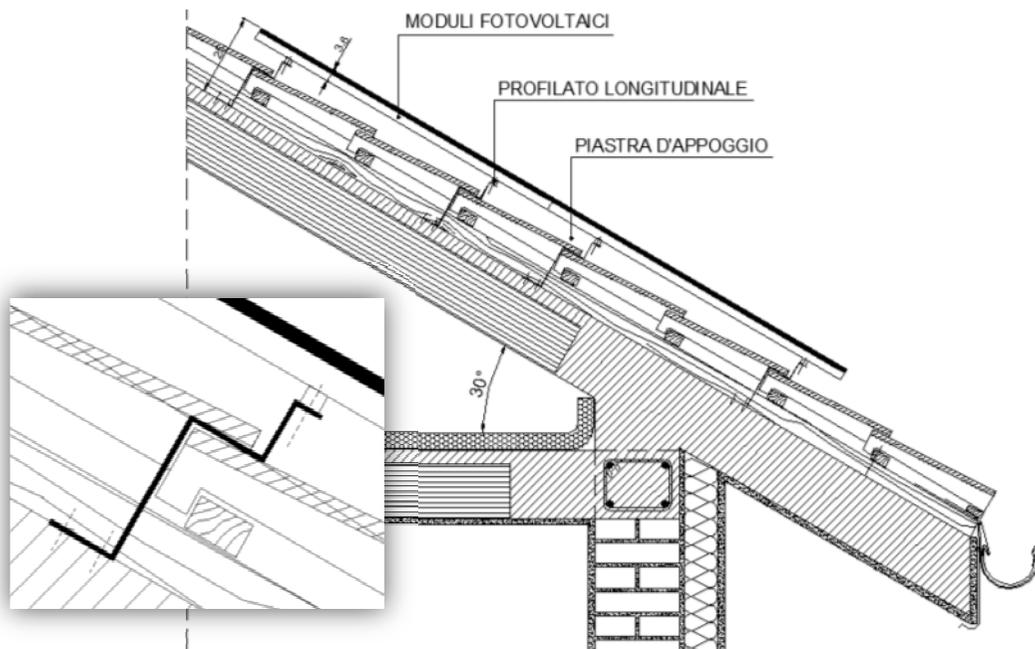
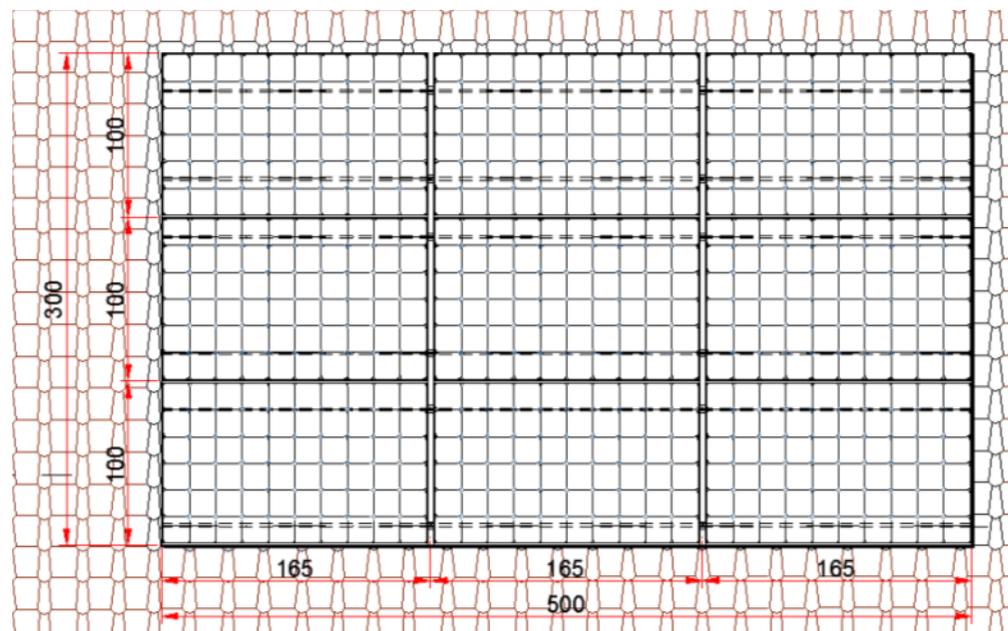
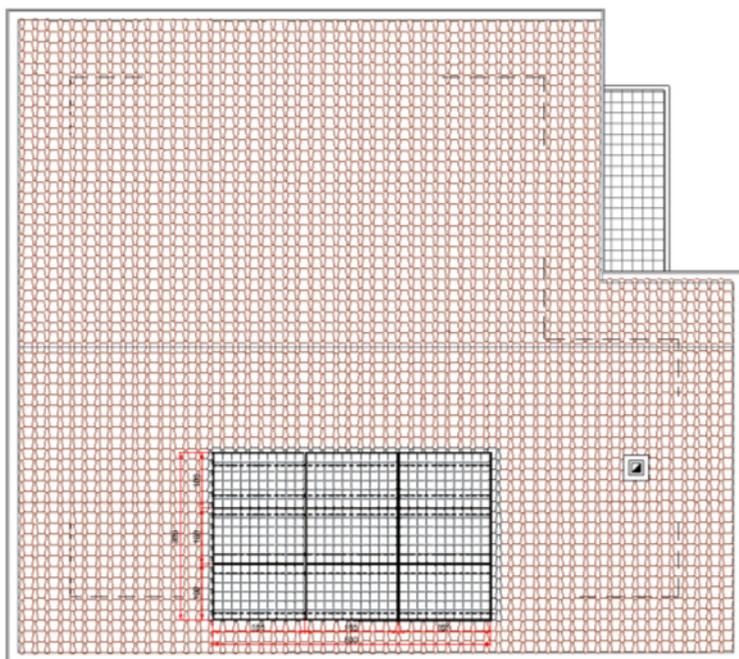
Mese	Ostacolo	Rggmm su sup. incl.		Errore
Gennaio	assente	2.68	kWh/m <sup>2</sup>	
Febbraio	assente	3.48	kWh/m <sup>2</sup>	
Marzo	assente	4.67	kWh/m <sup>2</sup>	
Aprile	assente	5.21	kWh/m <sup>2</sup>	
Maggio	assente	5.75	kWh/m <sup>2</sup>	
Giugno	assente	6.05	kWh/m <sup>2</sup>	
Luglio	assente	6.18	kWh/m <sup>2</sup>	
Agosto	assente	5.58	kWh/m <sup>2</sup>	
Settembre	assente	4.86	kWh/m <sup>2</sup>	
Ottobre	assente	3.67	kWh/m <sup>2</sup>	
Novembre	assente	2.62	kWh/m <sup>2</sup>	
Dicembre	assente	2.04	kWh/m <sup>2</sup>	

Radiazione globale annua sulla superficie inclinata: 1608 kWh/m<sup>2</sup>  
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

5. Infine procediamo con il calcolo dei principali parametri dell'impianto attraverso la procedura schematizzata nella seguente tabella implementabile su foglio elettronico.

Dati di progetto	Unità	Formula	Risultato
<b>Consumo annuo</b>	<i>kWh/anno</i>	A	2933
<b>Radiazione globale annua</b>	<i>kWh/mq anno</i>	B	1608
<b>Coefficiente correttivo</b>		C	1.13
<b>Energia solare incidente utile</b>	<i>kWh/mq anno</i>	D=BxC	1817.04
<b>Efficienza pannelli</b>	%	E	13.96
<b>Efficienza impianto</b>	%	F	80
<b>Efficienza complessiva unitaria</b>	%	G=ExF/100	11.17
<b>Energia elettrica unitaria</b>	<i>kWh/mq anno</i>	H=DxG/100	202.93
<b>Superficie impianto</b>	<i>mq</i>	L=A/H	14.45
<b>Superficie modulo</b>	<i>mq</i>	M	1.587
<b>Potenza massima nominale</b>	<i>Wp</i>	N	220
<b>N° moduli necessari</b>		O=L/M	9
<b>Potenza di picco</b>	<i>kWp</i>	P=OxN/1000	2.00

Il costo di un impianto fotovoltaico , in condizioni ottimali di irraggiamento solare ed è compreso tra **2.000 e 3.500 euro per ogni kilowatt picco installato**. Nel nostro caso il costo orientativo sarebbe di circa **€7.000,00**. Mediamente, per impianti di questo tipo, il costo è ammortizzabile in circa **4 - 7 anni**.



**SCHEDA DI PROGETTO IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

**Località:**.....

**Orientamento pannelli: AZIMUT =**  [°]

**Inclinazione pannelli: TILT =**  [°]

Dati di progetto	Unità	Formula	Risultato
<b>Consumo annuo</b>	<i>kWh/anno</i>	A	
<b>Radiazione globale annua</b>	<i>kWh/mq anno</i>	B	
<b>Coefficiente correttivo</b>		C	
<b>Energia solare incidente utile</b>	<i>kWh/mq anno</i>	D=BxC	
<b>Efficienza pannelli</b>	%	E	
<b>Efficienza impianto</b>	%	F	
<b>Efficienza complessiva unitaria</b>	%	G=ExF/100	
<b>Energia elettrica unitaria</b>	<i>kWh/mq anno</i>	H=DxG/100	
<b>Superficie impianto</b>	<i>mq</i>	L=A/H	
<b>Superficie modulo</b>	<i>mq</i>	M	
<b>Potenza massima nominale</b>	<i>Wp</i>	N	
<b>N° moduli necessari</b>		O=L/M	
<b>Potenza di picco</b>	<i>kWp</i>	P=OxN/1000	

## **Fonti**

- Opuscolo ENEA – L'energia fotovoltaica
- GSE - Guida agli interventi validi ai fini del riconoscimento dell'integrazione architettonica del fotovoltaico
- ENEL – Guida al fotovoltaico
- <http://www.sunpowercorp.it>
- <http://www.conergy.it>