

## > Introduzione

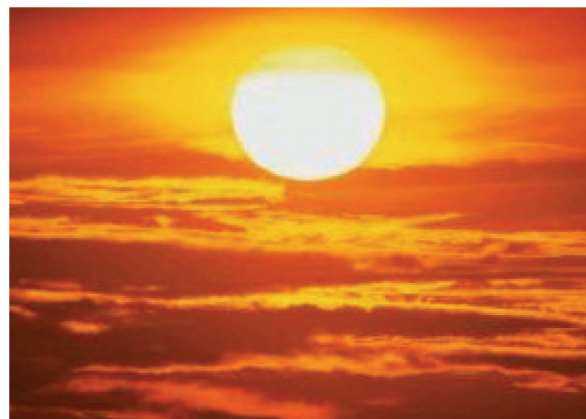
Il Sole ha una massa pari a  $2 \cdot 10^{30}$  Kg (~330.000 volte quella della Terra) ed un raggio di  $6,97 \cdot 10^8$  m (quasi 110 volte quello terrestre); la sua distanza media dal nostro pianeta è di  $1,5 \cdot 10^8$  Km.

Il flusso di radiazione che giunge sulla Terra in 1 secondo è di  $1368 \text{ W/m}^2$  subito al di fuori dell'atmosfera terrestre.

Il Sole è per l'uomo la più importante centrale di produzione in grado di fornire energia. Tutte le fonti rinnovabili di energia infatti, a parte quella di tipo geotermico, derivano direttamente o indirettamente dal Sole.

### Energia solare utilizzabile

Durante il passaggio attraverso l'atmosfera si può pensare di scomporre la radiazione solare in quattro parti: una parte della radiazione viene riflessa verso lo spazio ed è dovuta principalmente alle nuvole, un'altra è diffusa in tutte le direzioni dall'urto con le molecole di azoto, ossigeno, vapore acqueo, monossido e biossido di carbonio, ozono e polveri presenti in atmosfera, una viene assorbita (le molecole che costituiscono l'atmosfera vengono di conseguenza scaldate ed emettono radiazione infrarossa a grande lunghezza d'onda in tutte le direzioni) ed infine una parte raggiunge la superficie della Terra e prende il nome di radiazione diretta.



Il valore massimo misurato sulla superficie terrestre è circa  $1000 \text{ W/m}^2$ . Di tutta la radiazione solare incidente, il 31% circa viene riflesso verso lo spazio, il 48% viene assorbito, trasformato in calore e parzialmente re-irradiato come radiazione infrarossa, il 18% alimenta il ciclo idrologico ed il restante 3% è responsabile della formazione dei gradienti termici atmosferici da cui prendono origine i venti. Infine, una piccolissima frazione della radiazione solare incidente (lo 0,06%) viene assorbita dai processi di fotosintesi e resa disponibile sotto varie forme (alimenti, legname e combustibili fossili).

Nel territorio della Provincia di Verona l'irraggiamento medio giornaliero è di circa  $3,8 \text{ kWh/m}^2$ , corrispondente a  $1.380 \text{ kWh/m}^2$  annui.

La seguente tabella mostra alcuni valori di paragone sull'energia fornita dal sole.

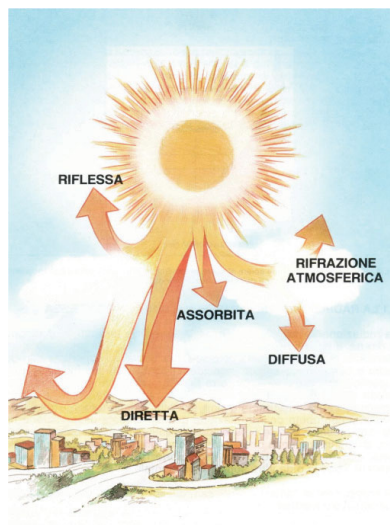
Quantità annua di energia che il sole fornisce alla terra	$10^{24}$ Joule
Consumo energetico annuo mondiale	$10^{20}$ Joule
Surplus energetico	$10^4$

Questo significa che la quantità di energia fornita dal sole alla terra è 10.000 volte più grande dell'energia utilizzata ogni anno dalle attività dell'uomo.

Considerando che l'efficienza media dei sistemi fotovoltaici, attualmente utilizzati, comprensiva delle perdite d'impianto, sia pari a 1% e supponendo, per assurdo, di coprire l'intera superficie del pianeta con pannelli fotovoltaici, si otterrebbe una quantità di energia pari a 100 volte superiore al consumo annuo totale.

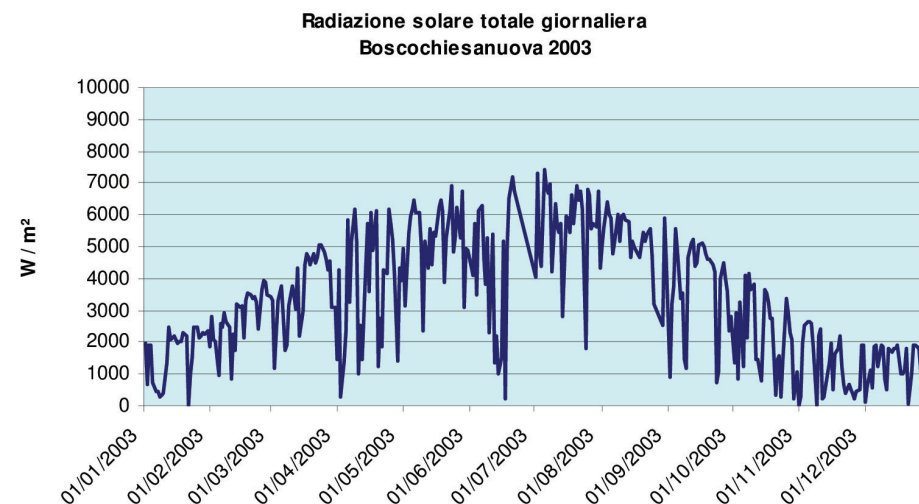
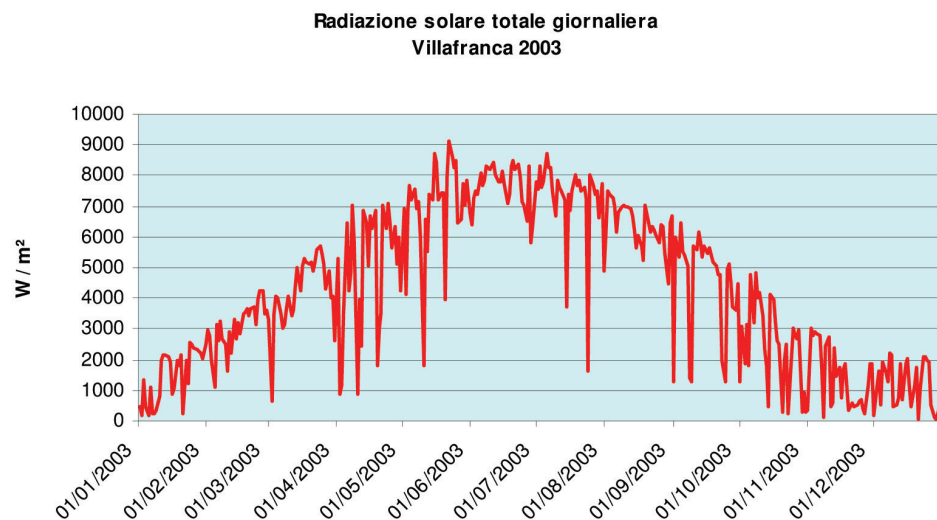
Si può stimare allora che utilizzando una superficie pari ad un centesimo della superficie terrestre, saremmo in grado di raggiungere teoricamente l'autosufficienza energetica.

Si tratta comunque di una superficie molto vasta  $600.000 \text{ km}^2$  pari a circa 2 volte la superficie dell'Italia. Questo non significa che dobbiamo ricoprire il territorio di pannelli fotovoltaici, ma che possiamo e dobbiamo sfruttare questa fonte di energia.



Il sole non è solo una sorgente rinnovabile e pulita, ma anche democratica, perché è di tutti, perché è gratis e nessuno può controllarne l'erogazione chiudendone il rubinetto se non paghiamo la bolletta.

I seguenti grafici mostrano l'andamento annuale della radiazione solare totale incidente in due località della Provincia, misurate da stazioni di misura dell'ARPAV.



L'energia solare può essere sfruttata per produrre calore o elettricità. Nel primo caso parliamo di solare termico, nel secondo di solare fotovoltaico.

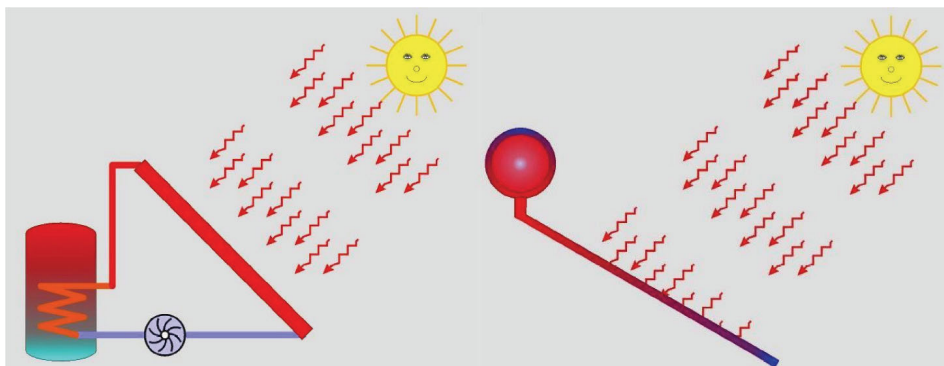
## > Il solare termico

La tecnologia per l'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali e puliti per scaldare l'acqua o l'aria nell'utilizzo domestico e produttivo. La radiazione solare, nonostante la sua scarsa densità (che raggiunge 1 kW/m² solo nelle giornate di cielo sereno), resta la fonte energetica più abbondante e pulita sulla superficie terrestre.

Il rendimento dei pannelli solari è aumentato di circa il 30 % nell'ultimo decennio, rendendo varie applicazioni nell'edilizia, nel terziario e nell'agricoltura commercialmente competitive. L'applicazione più comune è il collettore solare termico utilizzato per scaldare acqua sanitaria. Un metro quadrato di collettore solare può scaldare a 45÷60 °C tra i 40 ed i 300 litri d'acqua in un giorno a secondo dell'efficienza che è tra il 30 % e l' 80%. che varia con le condizioni climatiche e con la tipologia di collettore.

## **Tecnologia del solare termico a bassa temperatura**

Un moderno sistema solare per scaldare l'acqua consiste essenzialmente del pannello solare o collettore solare piano il cui trasparente può essere in vetro (e allora si parla di pannello vetrato) oppure in polipropilene, polietilene o PVC (per cui il collettore viene detto non vetrato), di un serbatoio termicamente isolato destinato all'accumulo dell'acqua calda, del circuito di collegamento dei vari componenti e dei relativi sistemi di controllo e regolazione: la circolazione dell'acqua all'interno del sistema può avvenire per effetto dell'azione di una pompa (sistemi attivi) o per circolazione naturale sfruttando le differenze di temperatura del circuito (sistemi passivi).



I singoli componenti ed il sistema nel suo insieme possono essere più o meno sofisticati dal punto di vista tecnologico, con rendimenti che vanno dal 50 all' 85% a seconda delle temperature in gioco.

Con i pannelli piani senza concentrazione la temperatura massima raggiungibile è di circa 80 °C (di poco superiore nel caso la base assorbente sia stata trattata con vernici speciali tali da garantire una superficie selettiva o anti-raggiante); è possibile raggiungere temperature più elevate ricorrendo a tecnologie più sofisticate come quella dei collettori solari con tubi sottovuoto o con piastre in grado di realizzare una debole concentrazione.

Il principio su cui si basa il funzionamento di un impianto solare termico è concettualmente semplice: il collettore, investito dalla radiazione solare, si riscalda e cede il calore assorbito al liquido (solitamente acqua addizionata ad antigelo) contenuto nei tubi alloggiati nel collettore stesso.

Il calore assorbito dal liquido contenuto nel circuito primario del collettore viene ceduto, per mezzo di uno scambiatore di calore ad intercapedine, all'acqua contenuta in un serbatoio o direttamente ad un impianto di riscaldamento: questo significa che all'interno del serbatoio sono presenti due circuiti idraulici separati, quello proveniente dal collettore e quello dell'acqua collegato all'impianto idraulico dell'abitazione e/o all'impianto di riscaldamento. Durante tale processo non viene utilizzato alcun combustibile, per cui non è presente alcuna emissione di CO<sub>2</sub>.

La classificazione dei sistemi avviene sia in base alla temperatura del fluido scaldato (sia esso aria, acqua o altro), che in base alla tipologia d'impianto, ed alla modalità di scambio di calore.

I collettori a bassa temperatura si dividono tra attivi e passivi, ossia tra sistemi che includono elementi costruttivi specifici quali il collettore solare, i sistemi di circolazione e controllo, e quelli che sfruttano elementi architettonici per immagazzinare l'energia del sole.

Un'altra classificazione è tra sistemi aperti e chiusi, ossia sistemi in cui il fluido scaldato è chiuso in circuito e utilizzato per trasferimento del calore, oppure sistemi in cui ciò che viene scaldato è direttamente l'acqua o l'aria che interessa portare ad una temperatura maggiore.

I principali tipi di collettore presenti in Italia sono:

> vetrati piani (molto comuni, di costo medio, versatili);



> non vetrati (solo per uso estivo, generalmente piscine o impianti balneari, molto economici);

> sottovuoto (ad alta efficienza, più costosi, ma ben utilizzabili tutto l'arco dell'anno);



> ad accumulo integrato (ben utilizzabili in zone a clima mite, abbassano i costi dell'impianto).

Il collettore è costituito dai seguenti elementi fondamentali: copertura trasparente costituita da una o più lastre di vetro o di plastica posta al disopra della piastra assorbente per ridurre gli scambi termici convettivi e radiativi tra la piastra e l'atmosfera; piastra assorbente nera che provvede ad assorbire la radiazione ed a trasferire l'energia raccolta da un fluido termovettore; isolamento termico per ridurre al minimo le perdite per conduzione della piastra. Involucro di forma parallelepipedica con funzione di contenimento e di protezione da polvere, umidità, ed agenti atmosferici.

La funzione essenziale di un collettore è quella di trasformare l'energia radiante del sole in energia termica del fluido che scorre all'interno dei tubi; il bilancio termico è il seguente:

$$I_b A_c (t_a) = Q_a = Q_u + Q_p + Q_{acc}$$

$I_b$  è l'intensità della radiazione solare globale incidente sul piano del collettore ( $W / m^2$ ).

$(t_a)$  è chiamato prodotto effettivo trasmissività-assorbimento.

$A_c$  è l'area del collettore ( $m^2$ ).

$Q_a$  è la potenza termica assorbita dalla piastra (W).

$Q_u$  è la potenza termica utile trasferita al fluido termovettore (W).

$Q_p$  è la potenza perduta dal collettore verso l'esterno (W).

$Q_{acc}$  è l'energia termica accumulata dal collettore nell'unità di tempo (W), nulla in condizioni di regime stazionario.

## **Tecnologia del solare termico ad alta temperatura**

Esistono tecnologie solari termiche che consentono di scaldare fluidi, per mezzo della concentrazione della radiazione solare, a temperature che vanno dai 100°C fin oltre i 1.200°C; il calore, a queste temperature, può essere utilizzato per vari processi industriali, per scopi di ricerca e, principalmente, per produrre energia elettrica. Anche lo sviluppo dei moderni sistemi solari termici per la produzione di energia e calore a media ed alta temperatura risale agli inizi degli anni '70 del secolo scorso, sotto la spinta della prima crisi petrolifera (quasi un motore per la ricerca nel campo delle energie rinnovabili).



Il concetto alla base di tali sistemi è un collettore che raccoglie e concentra la radiazione solare su una caldaia o ricevitore, il quale assorbe il calore e lo trasferisce ad un fluido scaldandolo a temperature che vanno dai 100 °C fin oltre i 1.200 °C: il fluido così riscaldato viene impiegato in vari processi industriali e/o per la produzione di energia elettrica.

I sistemi solari termici di potenza più diffusi sono di tre tipi: sistemi a concentratori parabolici lineari, sistemi a torre con ricevitore centrale e sistemi a disco o concentratori parabolici puntuali. La gamma delle potenze ottenibili va da una decina di kW fino ad alcune centinaia di MW, in quanto si tratta di impianti in genere modulari che possono essere raggruppati per concorrere alla realizzazione di centrali di molti MW.

Con l'attuale tecnologia, i siti economicamente convenienti per lo sfruttamento del solare termico di potenza devono avere un'insolazione non inferiore ai 1.800 kWh/m<sup>2</sup> all'anno, per cui meritano un'attenta valutazione le aree geografiche comprese tra i 40°N ed i 40°S di latitudine, e quelle caratterizzate da condizioni meteorologiche favorevoli quali la bassa frequenza di nuvolosità.

L'ENEA ha progettato un sistema che combina le tecnologie dei sistemi a collettori parabolici lineari e dei sistemi a torre che permette di superare i punti critici di entrambe: in esso è stata mantenuta la geometria parabolica lineare dei collettori, ma con sviluppi tecnologici tali da permettere il raggiungimento di alte temperature caratteristiche degli impianti a torre.



## **Applicazioni**

Le applicazioni più comuni sono relative ad impianti per acqua calda sanitaria, riscaldamento degli ambienti e piscine; sono in aumento casi di utilizzo nell'industria, nell'agricoltura e per la refrigerazione solare.

I collettori solari ad aria calda si differenziano da quelli ad acqua per il fatto che in essi il fluido termovettore è costituito da aria. I campi d'applicazione per tali impianti sono tipicamente quelli di riscaldamento dell'aria per la climatizzazione ambientale e, in campo industriale, per i processi d'essiccazione di prodotti alimentari. Nel campo della climatizzazione ambientale il vantaggio di utilizzare i collettori ad aria consiste nel fatto che l'aria in essi riscaldata può essere inviata direttamente all'ambiente senza scambiatori di calore intermedi.



Sempre più spesso i collettori solari vengono proposti, o installati, in abbinamento ad un impianto di riscaldamento a bassa temperatura, e dunque non più come semplici sistemi per la produzione di acqua calda per usi sanitari.

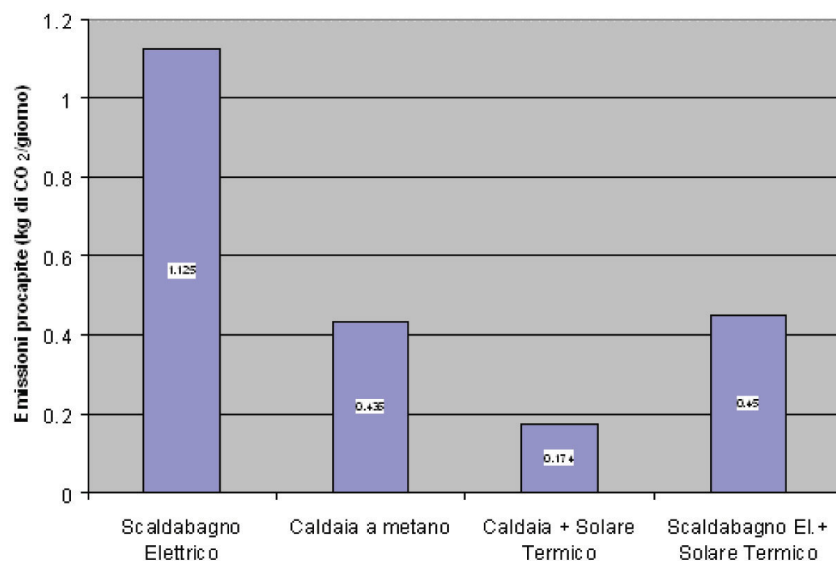
## **Impatto ambientale**

Per la sua semplicità di impiego la tecnologia solare termica meriterebbe ben altra attenzione, soprattutto in considerazione del fatto che gli usi finali termici a bassa temperatura rappresentano l'8,5% dei consumi energetici industriali, il 65,8% dei consumi del commercio e del terziario, il 23% dei consumi nel settore agricolo e ben l'85% dei consumi domestici.

I collettori solari non hanno alcun impatto sull'ambiente, se non quello dovuto alla loro produzione ed al loro successivo smaltimento.

Al contrario permettono un significativo risparmio dell'anidride carbonica immessa nell'ambiente per produrre, nelle stesse condizioni, acqua calda sanitaria con altri sistemi.

Se esaminiamo le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla produzione di acqua calda sanitaria, vediamo che il sistema migliore è sicuramente la caldaia a metano combinata con il collettore solare, non potendo, in molti casi avere solamente il collettore per questioni di continuità del servizio richiesto.



Nel passaggio dalla soluzione con scaldabagno elettrico a quella con caldaia a gas integrata da collettori solari, il consumo energetico procapite passa da 4,93 a 0,87 kWh. E' il caso più interessante, dunque, che porta ad una riduzione dell'82% del consumo energetico, a parità di servizio reso.

Nel confronto tra il sistema basato sull'integrazione di collettore solare con una caldaia a gas e la caldaia stessa, si nota come il consumo passi da 2,18 kWh, per il caso della sola caldaia, a 0,87 kWh, per il sistema integrato. Nel passaggio dal solo scaldabagno elettrico ad uno scaldabagno integrato da collettori solari, il consumo energetico scende da 4,93 a 1,97 kWh.

## Costi

Nel caso dei collettori solari il costo al metro quadro è, in realtà poco indicativo, poiché il vero costo deve essere correlato alla quantità di acqua calda prodotta in un anno. Una famiglia di 4 persone che consuma 50÷60 litri di acqua calda a persona ogni giorno, per un totale di 80÷100 mila litri annui spende circa 500 € per riscaldare l'acqua con energia elettrica e 350 € se la scalda con caldaia a metano. Se l'impianto solare integra la caldaia per un 60÷70% il risparmio annuo oscilla tra 250 e 300 € ed in 5 anni si ammortizza una spesa di 1000 – 2000 €. Le agevolazioni statali consentono, a volte, di detrarre dalle tasse parte delle spese di acquisto e di installazione.

Ad oggi la spesa per l'installazione di un collettore solare sottovuoto si aggira attorno ai 3000 €: con questo sistema si può avere acqua calda per la gran parte dell'anno.

## Il Programma "Solare Termico" della Regione Veneto

Nell'estate del 2003 la Regione Veneto promuoveva il bando "solare Termico" che prevedeva tra l'altro il finanziamento del 25 % sul totale dell'importo per la messa in opera di un impianto solare termico.

Ad oggi, la Regione non ci ancora fornito i dati relativi alle adesioni al programma regionale.

## Stima del potenziale solare termico in Provincia di Verona

L'installazione di collettori solari non necessita di grossi investimenti. L'applicazione massiccia in Provincia di questa semplice tecnologia permetterebbe di ottenere un servizio con costi che sarebbero recuperati nel giro di pochi anni.

Per quanto riguarda la stima del potenziale in Provincia, ci si può riferire alle procedure ed ai calcoli che sono esposti nel capitolo sul solare fotovoltaico. La procedura potrebbe essere la stessa, tenendo a mente che le superfici ed i costi necessari sono molto inferiori.

## Esempi in Provincia di Verona

Riportiamo un esempio di impianto solare di una certa dimensione installato in Provincia di Verona.

### 1. Impianto dell'Azienda Gestione Edifici Comunali del Comune di Verona

L'impianto TeleSun di riqualificazione impiantistica di 3 fabbricati per un totale di 242 alloggi è stato cofinanziato dalla Regione Veneto.

Caratteristiche dell'intervento:

- > installazione di pannelli solari termici (superficie totale di 360 m<sup>2</sup>) per l'integrazione della produzione di acqua calda sanitaria della centrale di teleriscaldamento;
- > realizzazione di una nuova sottocentrale per l'accumulo termico di energia solare;
- > installazione di un sistema di controllo e gestione della temperatura ambiente in ogni singolo alloggio;
- > realizzazione di un sistema di supervisione e contabilizzazione in remoto per ogni singolo alloggio;
- > produzione ed utilizzo ottimizzato dell'energia;
- > ottimizzazione degli interventi di manutenzione;
- > riduzione dei consumi equivalenti di gas metano.

## Previsioni

Il fabbisogno energetico attuale per la produzione di acqua calda sanitaria dei 3 fabbricati è pari a 500.000 kWh/annui; l'impianto installato avrà una copertura teorica del fabbisogno energetico, per mezzo dell'energia solare, del 60 % ed una diminuzione dei consumi di gas equivalente pari a 31.600 Nm<sup>3</sup> annui.



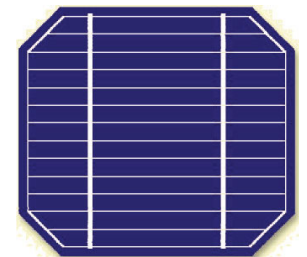
## > Il solare fotovoltaico

La tecnologia fotovoltaica (FV), sviluppata alla fine degli anni 50, nell'ambito dei programmi spaziali per i quali occorreva disporre di una fonte di energia affidabile ed inesauribile, si va oggi diffondendo molto rapidamente.

Oltre che negli apparati industriali ed elettronici, trova sempre maggiore applicazione in campo terrestre nell'alimentazione di utenze isolate o di impianti installati su edifici e collegati ad una rete di distribuzione elettrica preesistente.

## Tecnologia del solare fotovoltaico

In linea di principio, il funzionamento dei dispositivi fotovoltaici si basa sulle capacità di alcuni materiali semiconduttori, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua senza l'ausilio di parti meccaniche in movimento. La luce è composta da particelle, i *fotoni*, che trasportano energia: un fotone, assorbito da materiali semiconduttori opportunamente trattati, può liberare un elettrone, il quale lascia dietro di sé una carica positiva, chiamata *lacuna*. Il materiale semiconduttore universalmente impiegato è il silicio.



Il componente fondamentale di un impianto FV è la cella fotovoltaica, che è in grado di produrre circa 1,5 Watt di potenza in condizioni standard, ossia, a temperatura di 25 °C ed ad una potenza di radiazione solare pari a 1000 W/m<sup>2</sup>.

La potenza erogata da un dispositivo FV, quando lavora in condizioni standard, prende il nome di potenza di picco (Wp) ed è un parametro importante di riferimento.

La potenza elettrica generata risulta essere, nella realtà, minore del valore di picco a causa delle temperature più elevate e dei valori più bassi della radiazione. Più celle assemblate e collegate fra di loro tali da costituire un'unica struttura, formano un modulo fotovoltaico. Il modulo FV tradizionale, capace di erogare in uscita una potenza pari a circa 50 Watt, è costituito dal collegamento in serie di un certo numero di celle.

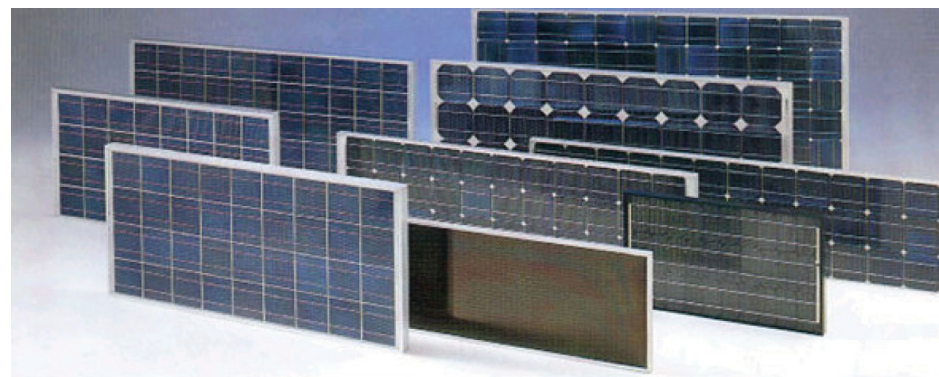
Attualmente, soprattutto per esigenze architettoniche, i produttori mettono sul mercato moduli costituiti da un numero di celle molto più alto e di conseguenza con potenza più elevata tale da raggiungere anche il valore di 200 Watt per ogni singolo modulo.

A seconda della tensione nominale necessaria all'alimentazione delle utenze elettriche domestiche, si collegano i moduli in serie in modo da formare una "stringa". Più "stringhe" collegate in parallelo generano la tensione elettrica continua che, attraverso particolari dispositivi elettronici, la rendono alternata ed adeguata per l'utenza finale.

Il complesso di tali dispositivi prende il nome di BOS (Balance of System). Un componente essenziale del BOS, se le utenze devono essere alimentate in corrente alternata, è costituito dall'*inverter*, dispositivo che converte la corrente continua in uscita dal generatore FV in corrente alternata.

Il mercato fotovoltaico mondiale si è intensificato a tal punto che, negli ultimi anni, si è avuto un notevole sviluppo, passando dai 45 MWp prodotti nel 1990 ai 290 MWp del 2000. Questo consistente risultato è stato reso possibile dallo sviluppo contemporaneo di due principali tipologie di applicazioni che vanno dagli impianti isolati a quelli installati sugli edifici ed integrati con la rete elettrica.

Attualmente, gli incrementi più elevati delle potenze installate si sono riscontrati in Giappone, negli Stati Uniti e nella Germania, soprattutto grazie ai programmi di incentivazione da parte dei rispettivi stati che, non solo hanno fornito sussidi per l'installazione di impianti FV ma, in alcuni casi, come la Germania, hanno comprato l'elettricità prodotta in eccesso da tali impianti riversandola in rete ad un prezzo molto maggiore di quello di vendita dell'elettricità tradizionale "premiando", in un certo senso, i produttori *ecologici* di tale energia alternativa.



Fino ad oggi sono state sviluppate varie tecnologie, basate su materiali diversi, sia semplici che composti, e le più importanti sono quelle relative al silicio cristallino (c-Si) e amorfo (a-Si), all'arseniuro di gallio (GaAs), e a materiali policristallini composti quali tellurio di cadmio (CdTe) e diseleniuro di indio e rame (CuInSe<sub>2</sub>).

Fra queste tecnologie, solo quelle relative al silicio e all'arseniuro di gallio sono giunte a maturazione con livelli di produzione industriale per applicazioni terrestri e/o spaziali: ciò è dovuto, non solo alle caratteristiche intrinseche di questi materiali, ma anche al fatto che il loro impiego nella realizzazione delle celle fotovoltaiche ha beneficiato, e continua a farlo, dei risultati ottenuti nello sviluppo di altre applicazioni.



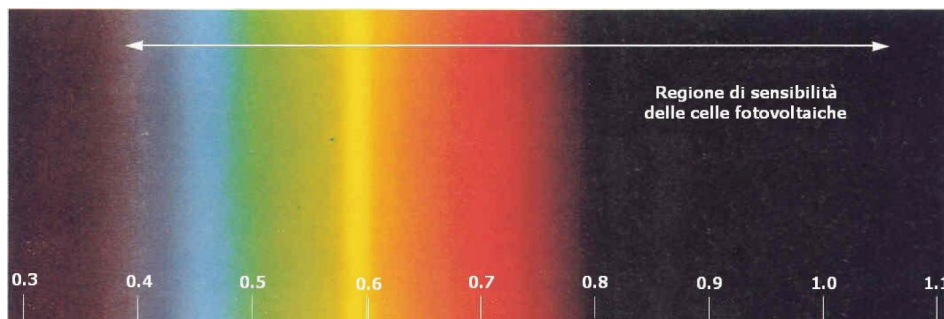
Nella tabella che segue sono riportate le efficienze dei dispositivi realizzati in laboratorio e, per confronto, quelle degli analoghi prodotti commerciali.

Tecnologia	Efficienza modulo di laboratorio (%)	Efficienza modulo in commercio (%)
Silicio mono-cristallino	18	13 – 14.7
Silicio poli-cristallino	15.2	11 – 12.5
Silicio amorfo	9.5	5 - 6
CdTe	7.3	-
CuInSe2	11.1	-

I motivi dei bassi valori di efficienza delle celle fotovoltaiche sono molteplici e possono essere ricondotti a:

- > fenomeni di riflessione: non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno, dato che vengono in parte riflessi dalla superficie della cella e in parte incidono sulla griglia metallica dei contatti;
- > fotoni troppo, o poco, energetici: per rompere il legame tra elettrone e nucleo è necessario un ben determinato valore di energia che non tutti i fotoni incidenti possiedono.

Spettro solare e regione di lavoro delle celle fotovoltaiche (valori in  $\mu\text{m}$ )



Alcuni fotoni troppo energetici generano coppie elettrone-lacuna che dissipano in calore l'energia eccedente quella necessaria a strappare l'elettrone al nucleo. L'efficienza del processo di generazione delle coppie elettrone-lacuna è funzione delle caratteristiche della radiazione incidente, cioè delle condizioni atmosferiche, dell'altezza del Sole sull'orizzonte e dunque dell'inclinazione dei pannelli fotovoltaici rispetto alla direzione del flusso di radiazione. Come mostrato in figura, solo una parte dello spettro solare, la regione indicata con il colore rosso, risulta utile alla conversione fotovoltaica, mentre in rosa è rappresentata la porzione di spettro sotto soglia, e in arancione la regione affetta da dissipazione di energia

- > fenomeni di ricombinazione: non tutte le coppie elettrone-lacuna generate vengono raccolte dal campo elettrico di giunzione, in quanto nel percorso che separa il loro punto di generazione dalla giunzione, possono incontrare cariche di segno opposto e quindi ricombinarsi.

Il silicio cristallino (sia mono- che poli-) è, oggi, il materiale maggiormente impiegato per la realizzazione dei moduli fotovoltaici disponibili sul mercato, dato che consente di preparare celle con un rendimento teorico pari al 30%: nonostante il progresso tecnologico e la continua crescita delle prestazioni dei dispositivi realizzati in laboratorio, si è però ancora ben lontani dai limiti teorici.

## Pannelli fotovoltaici in silicio amorfo

Il pannello in silicio amorfo è il modulo fotovoltaico più economico, ma anche quello con il minor rendimento e, purtroppo, anche soggetto ad un maggior degrado del rendimento nel tempo. Questo tipo di pannello fotovoltaico si presenta come una lastra di vetro grigio/bluastro di colore uniforme, dello spessore di pochi millimetri e, solitamente, è dotato di una cornice in alluminio per conferire maggiore robustezza. In pratica un vetro trasparente speciale viene rivestito su di un lato, con vari passaggi, di silicio allo stato amorfo e di altre sostanze al fine di creare un ottimo livello di impermeabilità e di isolamento elettrico; il lato trasparente è quello che verrà esposto al Sole, mentre sullo strato opaco sono fissati dei profili di alluminio per il fissaggio al tetto. Dallo stesso lato partono i due fili che portano la corrente generata dal pannello solare all'impianto di trasformazione.

La tensione prodotta da ogni singolo modulo fotovoltaico è di circa 24-40 Volt e il rendimento va dal 6 al 10% circa, ma, nei primi due mesi di vita, il rendimento diminuisce di circa il 20%, per poi rimanere stabile, con un degrado delle prestazioni che deve essere garantito, e non deve superare il 20% nei primi 20 anni di funzionamento. In ogni caso la potenza di questi moduli la si calcola proprio considerando immediatamente la perdita iniziale del 20%, quindi, durante i primi mesi di vita, la resa di un pannello venduto con potenza di 40 W, in realtà è di 48 W, fino a stabilizzarsi effettivamente sui 40 W dopo i primi mesi di funzionamento.

Da un punto di vista del “costo energetico per la natura” il pannello in silicio amorfo è il prodotto che si difende meglio, in quanto, necessitando di un quantitativo abbastanza basso di energia per essere prodotto, riesce a restituire in pochi anni l'energia che è stata usata per produrlo, e riesce a generarne fino a 10-12 volte di più, nell'arco della propria vita: si tratta di un dato molto importante da un punto di vista prettamente ecologico, in quanto spesso si rischia di utilizzare prodotti che, per essere realizzati, necessitano di una quantità di energia maggiore di quella che poi possono restituire.

Il rovescio della medaglia è che purtroppo, avendo un basso rendimento rispetto agli altri modelli di pannelli fotovoltaici, occorre installarne un numero elevato: se si dispone di un tetto abbastanza ampio, il problema non si pone, e si realizza anche un risparmio economico visto che, in pratica, il costo per ogni Watt producibile con questa tecnologia è del 25-40 % inferiore rispetto a quello prodotto per mezzo delle altre tecnologie fotovoltaiche.

Un altro vantaggio molto importante dei moduli a silicio amorfo è legato al fatto che, durante le giornate nuvolose, ombreggiate, o nelle ore serali e mattutine, si ottengono dei rendimenti superiori anche dell'8-15% rispetto alle tecnologie mono- e poli-cristalline, in quanto questa tecnologia riesce a sfruttare anche questi momenti particolari: se ne deduce quindi che i pannelli solari a silicio amorfo sono particolarmente indicati per le zone dove spesso c'è la presenza di nuvole, foschie, vegetazione o edifici che generano ombre nel corso della giornata, ma occorre tener presente che normalmente il rendimento del modulo in silicio amorfo diminuisce di circa l'1% ogni anno, mentre il rendimento del collettore in silicio cristallino rimane costante anche per 25 anni.

La scelta del pannello in silicio amorfo è valida anche perché un impianto solare con questo tipo di moduli garantisce ottimi risultati per i primi 20 anni d'esercizio, con costi minori rispetto alla scelta del modulo mono-poli-cristallino, e tra 20 anni la tecnologia del solare fotovoltaico sarà certamente più avanzata, matura e soprattutto più economica, per cui sarà possibile sostituirlo, a fine vita operativa, con prodotti caratterizzati da rendimenti migliori.

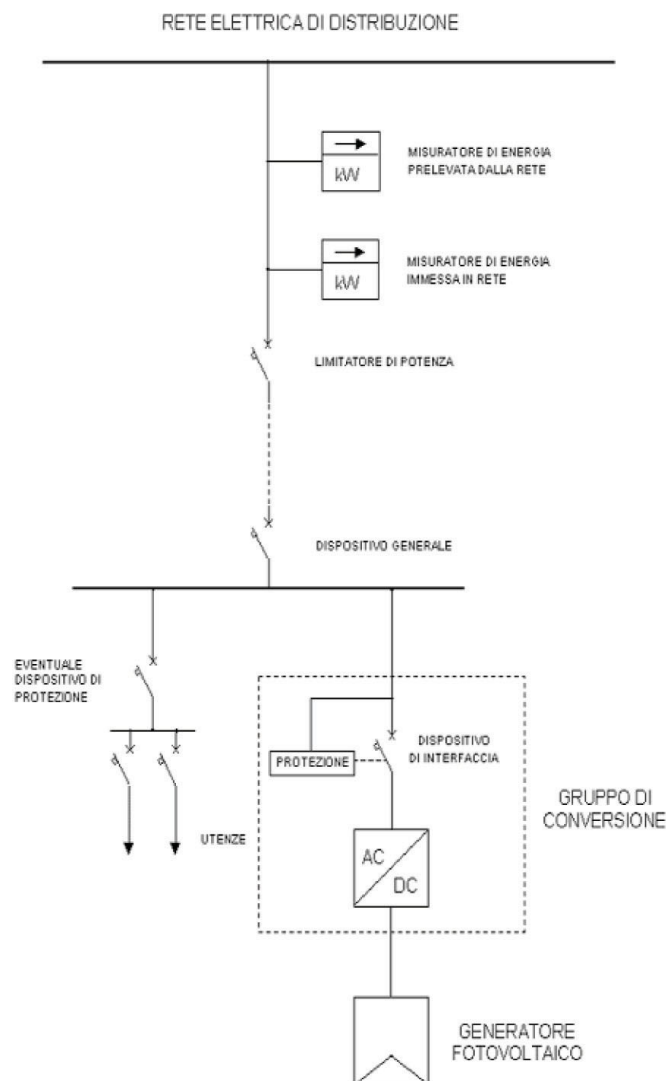
## *Pannelli fotovoltaici in silicio mono- e poli-cristallino.*

Queste due tipologie di moduli fotovoltaici appaiono, esteticamente, come una serie di celle quadrate o rettangolari (da 30 a 70 celle), affiancate l'una all'altra, connesse elettricamente tra loro e disposte sotto una lastra di vetro per garantire un corretto isolamento dagli agenti atmosferici.

Il rendimento di un pannello solare in silicio mono-cristallino è circa il 13-17%, mentre quello di un pannello in silicio poli-cristallino è circa il 12-14%: questo significa che, a parità di spazio, rispetto al modulo solare in silicio amorfo si hanno rendimenti doppi, o quasi tripli, anche se il costo per ogni Watt producibile con la tecnologia del silicio cristallino rimane superiore a quello prodotto con la tecnologia del silicio amorfo. Inoltre, va ricordato che per produrre moduli fotovoltaici mono-poli-cristallini, viene utilizzata molta energia, ed ogni modulo impiega anche 3-6 anni (contro i circa 2-3 anni del prodotto in silicio amorfo) per restituire la stessa energia, mentre nell'arco della propria vita operativa ne produrrà 4-8 volte di più.

Un altro difetto che presenta questa tecnologia è la sostanziale diminuzione, o addirittura l'abbattimento, del rendimento nel caso si abbiano ombre particolari che coprono anche una piccola porzione del modulo, nel caso si abbia cielo nuvoloso o, ancora, durante le ore serali o alle prime luci del giorno. Comunque sia, questi due tipi di pannelli fotovoltaici rimangono ottimi prodotti, sia per quanto riguarda la qualità che per la stabilità temporale del rendimento, garantita nel tempo anche per 25 anni come richiesto dai parametri di stabilità delle prestazioni presenti sui bandi statali e regionali.

*Schema elettrico di collegamento dell'impianto fotovoltaico alla rete elettrica di distribuzione*



La potenza nominale erogata dell'impianto fotovoltaico su base annua e convertita in corrente alternata, deve risultare inferiore a quella fornita dall'Ente distributore, parametro rilevabile dal contratto di fornitura di energia elettrica e, per nuove utenze, si potrà fare riferimento al consumo annuale presunto di energia elettrica.

La quantità di energia elettrica generata deve essere calcolata, con riferimento alla norma UNI 10349, assumendo come efficienza operativa media annuale dell'impianto il 75% dell'efficienza nominale del generatore fotovoltaico.

L'efficienza nominale del generatore fotovoltaico è numericamente data, in pratica, dal rapporto tra la potenza nominale del generatore, espressa in kW, e la relativa superficie, espressa in m<sup>2</sup> e pari alla somma della superficie dei moduli fotovoltaici.

Se le condizioni impiantistiche e d'uso dell'impianto fotovoltaico sono tali da trasferire, in rete, una potenza maggiore di quella contrattuale, stabilita nel contratto di fornitura, si dovrà adeguare la potenza impegnata.

Inoltre nella progettazione dell'impianto fotovoltaico si dovrà generare:

- > una potenza lato corrente continua superiore all'85% della potenza nominale del generatore fotovoltaico, per le particolari condizioni di irraggiamento;
- > una potenza attiva, lato corrente alternata, superiore al 90% della potenza lato corrente continua (efficienza del gruppo di conversione);

e, pertanto, una potenza attiva, lato corrente alternata, superiore al 75% della potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, riferita alle particolari condizioni di irraggiamento.

## Rendimenti

La quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico dipende da numerosi fattori fra i quali i più importanti sono:

- > superficie dell'impianto;
- > posizione dei moduli FV nello spazio (angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale ed angolo di orientamento rispetto al Sud);
- > valori della radiazione solare incidente nel sito di installazione;
- > efficienza dei moduli FV;
- > efficienza del BOS (Balance of System);
- > altri parametri (p.es. temperatura di funzionamento).

A titolo di esempio si può calcolare la quantità di energia elettrica mediamente prodotta dai sistemi fotovoltaici in un anno di funzionamento in tre siti in Provincia di Verona. Come siti vengono prese in considerazione tre centraline di rilevamento ARPAV.

Ai fini del calcolo si può ragionare indifferentemente per m<sup>2</sup> di pannelli o per unità di potenza installata (ad es. 1 kWp).

Ipotizzando una disposizione dei pannelli FV inclinati di 30° sull'orizzontale ed orientati verso Sud e considerando un valore cautelativo dell'efficienza dei moduli pari a 12,5%, pur sapendo che i moduli possono avere efficienze superiori anche di 16 – 17%, per quella relativa ai BOS un valore dell'85% (incluso l'efficienza dell'inverter ed altri fattori di perdita, come ad esempio le perdite nei cavi elettrici di collegamento) si hanno i seguenti prospetti:

*Energia elettrica mediamente prodotta da 1 m<sup>2</sup> di moduli*

Tabella	Insolazione media giornaliera	Efficienza moduli	Efficienza del BOS	Elettricità prodotta
Dolcè	3377 Wh/m <sup>2</sup>	12,5%	85%	358 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Roverchiara	4099 Wh/m <sup>2</sup>	12,5%	85%	435 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>
Castelnuovo	3759 Wh/m <sup>2</sup>	12,5%	85%	399 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>

*Energia elettrica mediamente prodotta da 1 kWp di moduli in un anno*

Tabella	Elettricità prodotta da 1 m <sup>2</sup>	Massima area occupata da 1 kWp di moduli	Elettricità prodotta in un anno
Dolcè	358 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1309 kWh <sub>e</sub>
Roverchiara	435 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1589 kWh <sub>e</sub>
Castelnuovo	399 Wh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>	1457 kWh <sub>e</sub>

Considerando che il consumo medio di una famiglia è di circa 2500 – 3000 kWh all'anno, si nota come già con un impianto da un kWp si possa ottenere, nelle zone della Provincia di Verona, un sostanziale beneficio in termini di consumi.

## Applicazioni

I sistemi fotovoltaici, con la loro modularità, presentano una estrema flessibilità di impiego e sono, in generale riconducibili, secondo la configurazione elettrica, in due tipologie:

- > sistemi autonomi ("stand alone");
- > sistemi connessi alla rete elettrica ("grid connected").

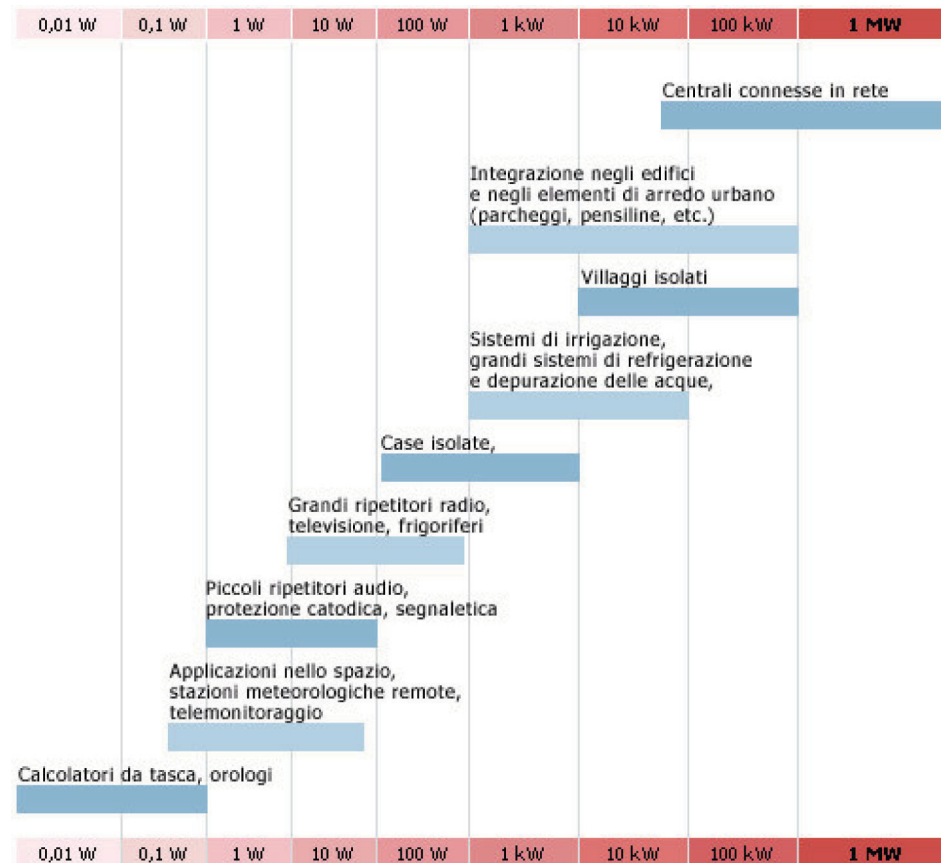
I sistemi connessi alla rete elettrica si dividono a loro volta in:

- > centrali fotovoltaiche ;
- > sistemi integrati negli edifici.



# L'ENERGIA SOLARE

Le principali applicazioni dei dispositivi FV, classificate secondo la potenza elettrica, è la seguente:



Le applicazioni più ricorrenti avvengono come integrazione architettonica di sistemi fotovoltaici (vetrate fotovoltaiche, facciate fotovoltaiche, etc.), come illuminazione stradale, di parchi e punti isolati, come azionamenti di motori per azionamenti di pompe, paratie, utensili, etc., come alimentazione di strumentazioni quali trasmettitori radio, strumenti di misura, etc. Altra applicazione interessante è quella delle barriere acusto-fotovoltaiche che sono strutture antirumore dotate di dispositivi in

grado di captare e convertire l'energia solare in elettricità per effetto fotovoltaico. La specificità tecnologica delle barriere acusto-fotovoltaiche risiede quindi nella duplice valenza delle strutture: acustica ed energetica.

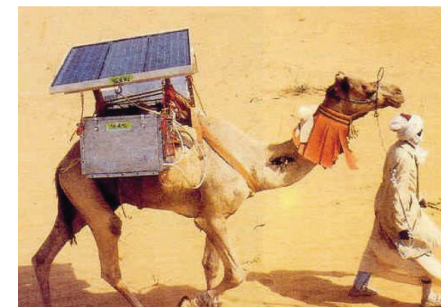
*Pannello FV montato su Camper (frigo, tv, computer, etc.)*

Una delle applicazioni più promettenti della conversione fotovoltaica è l'alimentazione di case o comunità isolate con carico elettrico contenuto. In que-



sti casi la conversione fotovoltaica si può porre come valida alternativa sia all'allacciamento alla rete di distribuzione che ai piccoli gruppi a combustione interna. Il quadriciclo delle Officine Pacifico (Macerata). Le pressanti esigenze ambientali danno ai "quadricicli leggeri" elettrici, buone potenzialità di sviluppo.

Le potenze di 1 ÷ 4 kW, sono infatti adeguati ad una velocità massima di 45 km/h che a sua volta risulta sufficientemente compatibile con il traffico urbano, soprattutto nei centri storici. Anche la "ripresa" è molto interessante, trattandosi di motori elettrici.



## **Impatto ambientale**

I vantaggi dei sistemi fotovoltaici si possono riassumere nei seguenti punti:

- > modularità;
- > manutenzione ridotte;
- > semplicità d'utilizzo;
- > impatto ambientale estremamente basso.

In particolare, nella fase di esercizio, l'unico vero impatto ambientale è rappresentato dall'occupazione della superficie. Tali caratteristiche rendono la tecnologia fotovoltaica particolarmente adatta all'integrazione negli edifici in ambiente urbano. In questo caso, infatti, sfruttando superfici già utilizzate, si elimina anche l'unico impatto ambientale in fase di esercizio di questa tecnologia.

I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di sistemi FV sono proporzionali alla quantità di energia prodotta, supponendo che questa vada a sostituire dell'energia altrimenti fornita da fonti convenzionali.

Rispetto alle fonti tradizionali, il fotovoltaico presenta il vantaggio di essere facilmente gestibile, in modo autonomo, dalle popolazioni locali e di poter essere distribuito in modo capillare sul territorio senza l'esigenza di realizzare grandi reti di distribuzione (spesso bastano uno o due moduli fotovoltaici per alimentare una piccola sala operatoria di emergenza o per pompare l'acqua necessaria ad un villaggio).

I benefici ambientali ottenibili dall'adozione di sistemi fotovoltaici sono proporzionali alla quantità di energia prodotta, supponendo che questa vada a sostituire energia altrimenti prodotta a partire da fonti convenzionali: per produrre 1 kWh elettrico vengono bruciati mediamente 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili e di conseguenza immessi in atmosfera circa 0,53 kg di CO<sub>2</sub>. Si può dire, quindi, che ogni kWh prodotto dal sistema fotovoltaico evita l'emissione di 0,53 kg di CO<sub>2</sub>.

## **Costi**

E' innegabile che l'obiettivo primario per l'industria solare fotovoltaica deve essere quello di assicurare nei prossimi anni una riduzione sostanziale dei prezzi, ma non va dimenticato che la diversificazione energetica non solo comporta benefici in termini di una maggiore garanzia e sicurezza di approvvigionamento energetico, ma assicura incontestabili benefici ambientali essendo una tecnologia emission-free e dunque in grado di garantire un significativo impatto in termini di riduzione delle emissioni globali di CO<sub>2</sub>.

Gli impianti fotovoltaici normalmente vengono commercializzati in base ai kWh che producono in condizioni ottimali di irraggiamento: un impianto da 1,2 kWp (in condizioni ottimali produce 1.200 Watt) costa circa 6.500 € (IVA, installazione e trasporto inclusi) e produce, se installato nel nord Italia 1.300/1.500 kWh/anno. Un impianto da 2 kWp costa circa 9.000 € (IVA, installazione e trasporto inclusi); l'installazione, se non espressamente compresa nel prezzo, può venire a costare 500-1.500 €, a seconda delle difficoltà che gli installatori possono incontrare. Comunque sia, a volte, è sempre possibile accedere ai finanziamenti governativi o regionali, oppure chiedere il rimborso dell'IRPEF.

Quali sono i tempi necessari ad ammortizzare le spese? Il calcolo in questo caso non è particolarmente semplice: considerando un vita minima dell'impianto solare di 30 anni, le spese di eventuali manutenzioni, l'aumento del costo delle stesse e del prezzo dell'energia elettrica in futuro, il tutto in base all'inflazione, con l'impianto da 1,2 kWp si ottiene un risparmio di 300-550 €/anno.

Un impianto solare dura tranquillamente 30 anni, quindi se si tiene conto delle spese, del risparmio annuale, degli eventuali finanziamenti statali o regionali e del recupero del 41% di IRPEF, il tempo per ammortizzarlo sarà di circa 6-12 anni.

## ***Impatto del Programma “10.000 tetti fotovoltaici” in Provincia di Verona***

Considerazioni di carattere ambientale ed una maggior sensibilità da parte dell'opinione pubblica spinsero, nel 2000, il Ministero dell'Ambiente ad avviare il programma “Tetti fotovoltaici” finalizzato alla realizzazione di impianti fotovoltaici (con potenza compresa tra 1 e 20 kWp) integrati negli edifici e connessi alla rete elettrica di distribuzione in bassa tensione.

Organizzato in due sottoprogrammi (uno rivolto a soggetti pubblici mentre l'altro, attraverso la pubblicazione di appositi bandi da parte di Regioni e Province Autonome, indirizzato a soggetti pubblici e privati), il programma “Tetti fotovoltaici” prevedeva finanziamenti e contributi pubblici in conto capitale pari al 75% del valore degli investimenti, con risorse disponibili complessive pari a circa 32 milioni di €: gli obiettivi del programma pluriennale erano la realizzazione di 50 MW installati in entro il 2004 da portare a 150-200 MW in 7 anni (2008) fino a giungere ai 300 MW installati al 2010 (secondo l'obiettivo, modesto, del Libro Bianco Italiano), ma il programma è partito lentamente a causa dei tempi lunghi di gestione dei bandi regionali, della lentezza nella valutazione delle domande pervenute, dell'incertezza dell'importo finanziabile, tutti fattori che hanno portato alla mancata creazione di un mercato stabile per l'industria fotovoltaica vanificando, così, la tanto attesa contrazione dei prezzi.

Alle singole amministrazioni regionali sono pervenute, complessivamente, richieste di finanziamenti pari a 5-10 volte le risorse disponibili, segno, questo, che esiste attenzione da parte del mercato; da parte loro, gli operatori del settore lamentano l'assenza di regole chiare per tutti e chiedono, a tal proposito, di essere coinvolti direttamente.

Supposto che si decida di continuare a sostenere il fotovoltaico, quali sono le azioni da compiere a livello governativo e i metodi che possono essere adottati?

Certamente gli incentivi in conto capitale sono utili per partire, ma sono auspicabili incentivi fiscali quali la riduzione o addirittura l'eliminazione dell'IVA, confermando le detrazioni esistenti; è poi necessario il riconoscimento incentivante della qualità dell'energia prodotta e immessa in rete (seguendo l'esempio della Germania) e, perché no, anche il ricorso a metodi coercitivi (concessioni edilizie subordinate alla

presenza, in fase progettuale, di dispositivi atti alla produzione di energia da fonti rinnovabili ed alla garanzia dell'efficienza e del risparmio energetici).

Ma quanti MWp sarebbero necessari per assicurare la copertura dell'1% del fabbisogno elettrico nazionale?

Secondo alcune stime sarebbero sufficienti 2.850 MWp che, al prezzo medio corrente di 6.500 € a kWp (prezzo indicativo per fornitura e posa in opera del materiale), impegnerebbero poco meno di 20 milioni di € (cioè 40 miliardi di vecchie lire): tenuto conto che, come emerso da un'indagine condotta dall'Associazione Amici della Terra, in collaborazione con il Gruppo Ferrovie dello Stato e concretizzata nel “4° Rapporto sui costi ambientali e sociali della mobilità in Italia”, le spese annuali sostenute dalla collettività per rimediare ai danni determinati dall'inquinamento atmosferico riconducibile ai soli sistemi di mobilità, ammontano a circa 100 miliardi di € (quasi 200.000 miliardi di vecchie lire), destinando solo il 2% di tale cifra alla realizzazione di impianti fotovoltaici sarebbe possibile coprire l'intero fabbisogno elettrico del Paese.

Si tratta, senza dubbio, di una strada percorribile, se non altro per ridurre la pressione dell'importazione d'energia dall'estero in attesa dello sviluppo della tecnologia dell'idrogeno e delle celle a combustibile da destinare quali serbatoi e vettori energetici; così facendo, inoltre, ingenti quantitativi di capitale rimarrebbero nel Paese e diverrebbero immediatamente disponibili per la ricerca.

Nel 2001 la Regione Veneto promuoveva il bando “solare FOTOVOLTAICO” che prevedeva tra l'altro il finanziamento del 75 % sul totale dell'importo per la messa in opera di un impianto solare.

**PROGRAMMA REGIONALE TETTI FOTOVOLTAICI**  
**(Regione Veneto - Bando del 1/12/2001)**

ATTUAZIONE:	Derivante dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 29.03.01
RISORSE:	4.400 milioni di Lire (3.100 dallo Stato e 1.300 dalla Regione Veneto)
SOGGETTI :	privati e pubblici (firma del titolare del contratto di fornitura)
IMPIANTI e TAGLIA:	connessi alla rete e integrati negli edifici - Taglia: 1 – 20 kWp
TEMPI:	150 gg. dall'accoglimento (per iniziare) + 270 gg (per finire)
COSTI:	ACCETTABILI progettazione - direzione lavori – collaudo – certificazione impianto – fornitura e posa- opere edili necessarie
CRITERI PREFERENZIALI:	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; privati con finalità sociali</li> <li>&gt; aree disagiate per allacciam. ENEL</li> <li>&gt; forniture plurime</li> <li>&gt; potenzialità maggiori a 10 kWp</li> </ul>
DOCUMENTAZIONE RICHIESTA:	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; scheda tecnica</li> <li>&gt; progetto di massima</li> <li>&gt; preventivo di spesa</li> <li>&gt; dichiarazione di assunzione di spesa</li> <li>&gt; comunicazione all'ente erogatore</li> <li>&gt; impegno a preservare l'impianto per 12 anni</li> </ul>
COSTI AMMISSIBILI:	15,5 milioni di lire per 1 kWp
EROGAZIONE:	Al termine dei lavori e al soggetto richiedente
DIMENSIONAMENTO:	inferiore alla media fornita negli ultimi tre anni.
CONTRIBUTO:	75% (IVA esclusa). Per edifici ad alta valenza architettonica, il contributo sale all'85%.

Entro fine anno la Regione Veneto riaprirà il bando relativo al solare fotovoltaico con finanziamenti fino al 60 % della spesa per gli Enti Pubblici e privati e del 20% per le Attività Produttive.

***Stima del potenziale Solare Fotovoltaico in Provincia di Verona***

Lo sfruttamento della risorsa sole per ottenere energia elettrica prevede la copertura di vaste superfici con celle solari. In territori come quello veronese già intensamente interessati dall'attività umana, in cui la domanda di energia si concentra nei centri urbani e in prossimità dei distretti industriali diventa quasi una necessità sfruttare gli edifici già presenti per l'installazione di celle fotovoltaiche.

La trasformazione delle superfici costruite in piccole centrali elettriche implica innanzitutto un'analisi della disponibilità di tali superfici. Questa analisi è stata l'oggetto di un lavoro condotto dalla International Energy Agency (IEA), un organismo autonomo fondato all'interno della cornice della Organizzazione mondiale per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo (OECD). Il progetto di ricerca ha prodotto un rapporto finale edito nell'anno 2001 in cui si descrive come valutare il potenziale fotovoltaico degli edifici presenti in una data zona geografica tenuto conto degli aspetti solari (sufficiente esposizione al sole) ed architettonici (presenza di vincoli, inclinazione delle superfici, ombreggiatura).

La determinazione del potenziale fotovoltaico integrato negli edifici fornisce una base fondamentale per valutare il potenziale mercato, dà informazioni fondamentali per chi deve pianificare la politica energetica.

Lo studio della IEA fornisce una metodologia validata ed accettata internazionalmente per valutare tale potenziale.

In questo lavoro il nostro obiettivo è stato applicare la metodologia IEA per calcolare il potenziale del fotovoltaico integrato negli edifici (BIPV) in provincia di Verona.

I passaggi metodologici per ottenere questo dato sono così schematizzabili:

- > calcolo dell'area dei tetti e delle facciate degli edifici presenti: questo dato è stato ottenuto dall'analisi della cartografia digitalizzata della provincia di Verona, fornita dalla Regione Veneto da cui si è ricavata l'area complessiva del piano terra di tutti gli edifici della provincia. Il rapporto fra l'area del tetto e l'area del piano terra è pari a 1.2, per le facciate tale rapporto vale 1.5



- > calcolo della disponibilità architettonica: l'ombreggiatura, l'uso delle superfici disponibili per altri usi, la tutela dei beni architettonici di interesse storico impediscono lo sfruttamento di tutte le superfici disponibili, siano essi tetti o facciate. La IEA valuta che questi fattori limitanti riducano del 40% la superficie utilizzabile dei tetti e dell'80% la superficie utilizzabile delle facciate.
- > calcolo della disponibilità solare: l'orientazione dell'edificio non sempre permette un ottimo sfruttamento della risorsa sole. Si definiscono utilizzabili le facciate e i tetti che permettono lo sfruttamento dell'80% dell'irraggiamento massimo solare annuo di una data località. Il fattore di utilizzazione solare è pari al 50% per le facciate ed al 55% per i tetti.
- > calcolo del valore medio annuo della radiazione solare massima: l'ARPAV possiede diverse stazioni meteorologiche dislocate nella provincia di Verona. Dalle misure di irradiazione solare è stato calcolato il valore medio dell'irraggiamento solare annuo negli ultimi XXXX anni nelle diverse fasce della provincia: zona di pianura, fascia pedemontana, fascia lacustre e zona montana. Si è poi tenuto conto, a causa dei vincoli architettonici, di sfruttare mediamente l'80% di questa risorsa.

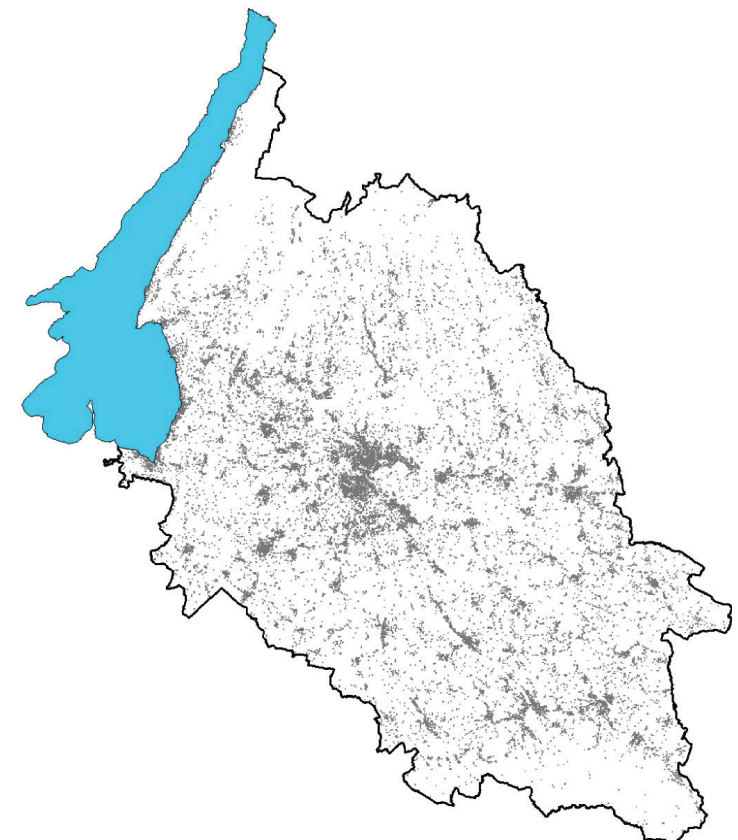
La superficie architettonica che può essere utilizzata per convertire l'energia solare in energia elettrica si ottiene applicando il seguente schema:

DESCRIZIONE	TETTI m <sup>2</sup>	FATTORE APPLICATO	FACCIATE m <sup>2</sup>	FATTORE APPLICATO
Area del piano terra	1000			
Area disponibile	1200	1.2	1500	1.5
Area architettonicamente adatta	720	0.6	300	0.2
Area adatta dal punto di vista solare	400	0.55	150	0.5

Ogni 1000 m<sup>2</sup> di superficie edificata corrispondono a 400 m<sup>2</sup> di tetto e 150 m<sup>2</sup> di facciate disponibili per la conversione dell'energia solare in energia elettrica tramite celle fotovoltaiche.

Questo corrisponde nella nostra provincia ad una area potenziale per il solare fotovoltaico integrato negli edifici pari a

DESCRIZIONE	TETTI m <sup>2</sup>	FACCIATE m <sup>2</sup>
Area edificata in Provincia di Verona <sup>1</sup>	57.985.107	86.977.662
1. Per il calcolo dell'area edificata, si è utilizzata la CTR della Regione Veneto, includendo nel calcolo solo gli edifici civili ed industriali (Layer 1A1, 1B2).		



Applicando la procedura IEA sopra descritta si ottengono i valori seguenti.

DESCRIZIONE	TETTI m <sup>2</sup>	FATTORE APPLICATO	FACCIATE m <sup>2</sup>	FATTORE APPLICATO
Area del piano terra	57.985.107			
Area disponibile	69.582.129	1.2	86.977.662	1.5
Area architettonicamente adatta	41.749.277	0.6	17.395.532	0.2
Area adatta dal punto di vista solare	22.962.102	0.55	8.697.766	0.5

Tenuto conto dell'irraggiamento solare medio nelle diverse zone della provincia, del fattore di sfruttamento dell'80% e che i pannelli fotovoltaico hanno una efficienza di conversione media del 10% (12.5 % è la resa della cella e 85% è la resa del BOS) si trova il potenziale solare (BIPV) per i tetti e le facciate degli edifici della provincia di Verona.

Irraggiamento medio annuo (kWh/m <sup>2</sup> /y)	BIPV Tetti (GWh/y)	BIPV Facciate (GWh/y)	Consumi di energia elettrica (GWh/y)	Rapporto energia solare potenziale/energia consumata
1380	2.535,0	960,2	5.232,6	66,8 %

## Esempi in Provincia di Verona

Riportiamo due esempi di impianti fotovoltaici di una certa dimensione installati in Provincia di Verona.

### 1. Impianto Fotovoltaico ad alta valenza architettonica a Verona

L'impianto fotovoltaico realizzato in via Camuzzoni 1, su un immobile di recentissima ristrutturazione, è la prima realizzazione a Verona che preveda l'allacciamento alla rete elettrica. Inoltre, risulta essere uno tra i maggiori impianti realizzati in Italia su facciata.

Le due facciate integrate architettonicamente permettono la generazione elettrica quasi 20 kWp di potenza, fornendo un ottimo contributo all'estetica dell'edificio e all'integrazione con gli edifici circostanti.

I pannelli sono collocati sulle pareti sud-ovest e sud-est. I 133 moduli, in silicio policristallino, sono stati costruiti con dimensioni adatte a quelle dell'edificio.

La superficie totale dell'impianto è di 180 m<sup>2</sup> e garantisce una produzione annua di 15.000 Kwh, che ogni utente può verificare su un display vicino al proprio inverter. La struttura di sostegno è stata progettata e realizzata in modo da essere nascosta alla vista ed è costituita essenzialmente di profili strutturali in alluminio.

Parte dei moduli fotovoltaici sono ad alta trasparenza, permettendo una buona illuminazione naturale interna sul vano scale. L'impianto fornisce energia e sei utenze (uffici e studi professionali), ognuna dotata di un proprio inverter (strumento impiegato per convertire la corrente continua, prodotta dai pannelli, in corrente alternata, presente in una normale rete elettrica).

Un ulteriore aspetto progettuale da evidenziare è la distanza (8 cm) dei moduli dalla parete, che consente il passaggio dell'aria e quindi una ventilazione naturale tra la superficie captante e la parete esterna. Si tratta di un sistema che permette di ridurre i consumi per il riscaldamento dell'edificio e di abbassare i costi di condizionamento.



La realizzazione è stata coordinata da Ecologica Tredi – divisione Energia, che ha curato gli aspetti legati al reperimento di finanziamenti, alla ricerca degli installatori di pannelli; ha eseguito la direzione lavori e seguito l'iter per l'allacciamento alla rete AGSM.

L'impianto è stato inaugurato il 5 aprile 2003 con una tavola rotonda, presso l'ATER di Verona, dal tema: "Le energie rinnovabili e il risparmio energetico in città".

## CARATTERISTICHE

Potenza = 20 kW

Superficie = 180 m<sup>2</sup>

Energia prodotta attesa  
in un anno = 15.000 kWh

N° moduli FV = 133

Moduli silicio policristallino da 160 W

Struttura di sostegno in alluminio personalizzata ed integrata con le facciate dell'edificio.



## 2. Impianti Agsm

L'AGSM ha realizzato negli anni '80 l'impianto fotovoltaico denominato "Zambelli" in Lessinia.

L'impianto ha una potenza di 70 kWp con una producibilità annua di circa 105 MWh.

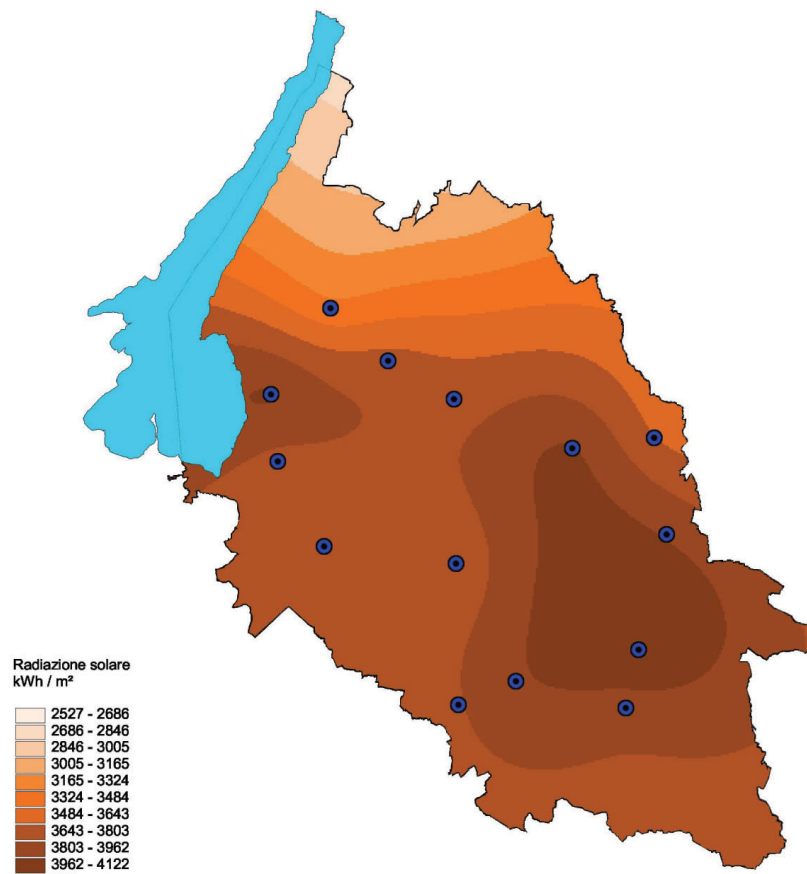


Nel corso del 2004 l'AGSM ha installato un impianto di 20 kWp sul tetto della propria sede. L'impianto ha una potenza di 20 kWp con una producibilità annua di circa 30 MWh.



## > Cartografia

La seguente mappa mostra la distribuzione della radiazione solare (media degli anni 1992-2000) sul territorio della Provincia di Verona (Dati ARPAV).





# L'ENERGIA SOLARE

---

