

## Pannelli fotovoltaici

### Descrizione della tecnologia

I sistemi fotovoltaici convertono l'energia solare (sia quella direttamente incidente sui pannelli sia quella diffusa)<sup>1</sup> in energia elettrica (normalmente a bassa tensione e a corrente continua) che può essere direttamente utilizzata presso il sito di produzione oppure immessa nella rete di distribuzione dell'energia elettrica (da cui si preleva energia elettrica nel momento del bisogno)<sup>2</sup>.

Gli elementi che costituiscono un impianto fotovoltaico variano in funzione dell'applicazione specifica del sistema (**Tab.1**): si possono infatti avere impianti connessi alla rete di distribuzione dell'energia elettrica, impianti isolati e impianti collegati ad una specifica utenza, come nel caso dei sistemi utilizzati per il pompaggio dell'acqua da pozzo (questa è una delle applicazioni più comuni del fotovoltaico nel mondo e soddisfa le esigenze idriche per usi domestici, per usi irrigui o per creare accumuli di risorsa idrica).

**Tab.1 – composizione delle varie tipologie di impianti fotovoltaici**

	Impianti collegati alla rete di distribuzione dell'elettricità	Impianti isolati	Impianti per il pompaggio dell'acqua
componenti	<b>Generatore fotovoltaico:</b> è costituito da un insieme di moduli fotovoltaici (formati da un insieme di celle fotovoltaiche, in materiale semiconduttore, che generano una corrente elettrica quando vengono colpite dalla luce solare) collegati in modo da ottenere i valori di potenza e tensione desiderati (secondo uno schema modulare ove più moduli danno un pannello e un insieme di pannelli collegati elettricamente in serie forma una stringa).		
	<b>Elementi di struttura</b> su cui vengono montati i moduli fotovoltaici. Possono essere elementi fissi o mobili: i sistemi mobili permettono di variare l'orientamento dei pannelli e mantenere un'elevata incidenza dei raggi solari.		
	<b>Sistema di controllo della potenza:</b> adatta, dopo la conversione operata dall'inverter, la tensione del generatore a quella di rete effettuando l'inseguimento del punto di massima potenza e controlla la qualità della potenza immessa in rete in termini di distorsione e rifasamento.	<b>Sistema di condizionamento della potenza:</b> adatta le caratteristiche del generatore fotovoltaico a quelle dell'utenza <b>Batterie:</b> accumulano l'energia elettrica prodotta dalle celle fotovoltaiche nel periodo in cui si ha l'irraggiamento solare per restituirla nei momenti di necessità (di notte o nelle giornate nuvolose). Il corretto dimensionamento delle batterie in funzione dello specifico fabbisogno energetico dell'utenza è fondamentale per garantire la massima durata della batteria stessa e le massime prestazioni (i cicli di carica e scarica sono gli elementi di criticità delle batterie). <b>Controllori di carica delle batterie:</b> regolano i cicli di carica e scarica delle batterie, gestendo quindi l'accumulo di energia. <b>Generatori a combustibile:</b> forniscono elettricità nei momenti in cui si hanno malfunzionamenti delle batterie ed eliminano la necessità di sovradimensionare il sistema di produzione e accumulo dell'energia elettrica.	<b>Pompe</b> per l'estrazione di acqua: possono essere alimentate sia con corrente continua che con corrente alternata. <b>Serbatoi di stoccaggio</b> dell'acqua in cui si accumula l'acqua estratta nei periodi di irraggiamento e da cui l'acqua viene prelevata nei momenti di bisogno.
	<b>Inverter:</b> convertono la corrente continua prodotta dalle celle fotovoltaiche o uscente dalle batterie in corrente alternata, richiesta per molte applicazioni e molti motori. La rete di distribuzione dell'elettricità veicola corrente alternata e pertanto l'inverter è un elemento indispensabile per sistemi fotovoltaici connessi alla rete.		

I materiali semiconduttori, da cui si genera la corrente elettrica quando vengono colpiti dalla radiazione solare, più comunemente utilizzati per la fabbricazione dei sistemi fotovoltaici sono a

<sup>1</sup> I sistemi fotovoltaici quindi producono elettricità anche quando il cielo è nuvoloso grazie alla presenza di luce solare diffusa. Per determinare la quantità complessiva di elettricità che il sistema può erogare occorre valutare la disponibilità media annuale di energia solare presso il sito di installazione, piuttosto che riferirsi a valori di irradianza istantanea.

<sup>2</sup> Per gli impianti connessi alla rete elettrica è necessario dotarsi di due contatori dedicati rispettivamente a contabilizzare l'energia prodotta dal sistema fotovoltaico e immessa in rete e quella assorbita dalla rete per soddisfare il fabbisogno energetico dell'utenza, in modo da ricavare il proprio bilancio energetico.

base di silicio. Si possono avere moduli cristallini (in silicio mono o policristallino) e moduli in silicio amorfo (materiale che, oltre ad avere un'efficienza contenuta, presenta un sensibile calo del rendimento nel tempo ma che è caratterizzato da una maggiore economicità), con sui è possibile realizzare strati sottili di materiale.

La tecnologia dei cosiddetti film sottili, che vedono l'impiego di materiali a basso costo insieme a quantità minime di un semiconduttore ad alto costo, è ad oggi l'alternativa più promettente alla tecnologia a moduli cristallini. Nell'ambito della tecnologia dei film sottili rientrano, oltre ai moduli in silicio amorfo, anche moduli realizzati con elementi diversi dal silicio quali il telluro di cadmio (CdTe), il solfuro di cadmio e il diseleniuro di rame e indio (CIS, CIGS nel caso di aggiunta di gallio). Una particolare applicazione della tecnologia dei film sottili consiste nella realizzazione di strutture create sovrapponendo in serie più strati di materiali semiconduttori diversi: grazie al fatto che ciascuno strato fornisce una risposta ottimale per intervalli diversi di lunghezze d'onda dello spettro della luce solare con questa soluzione è possibile incrementare la conversione dell'energia solare in energia elettrica.

Le celle fotovoltaiche possono essere create anche con solfuro di cadmio microcristallino (tecnologia che presenta il vantaggio di costi di produzione molto contenuti ma lo svantaggio di basse efficienze e tossicità del cadmio) e arseniuro di gallio (lega che fornisce efficienze molto elevate ma dal costo molto elevato che ne limita l'impiego ad applicazioni di nicchia).

L'energia elettrica erogata da un sistema fotovoltaico dipende, oltre che dall'efficienza propria dei pannelli, anche dalla quantità di radiazione solare incidente sugli stessi, radiazione che può essere massimizzata mediante l'installazione di un inseguitore solare, ovvero un dispositivo meccanico che permette di orientare il pannello fotovoltaico perpendicolarmente rispetto ai raggi del sole. Gli inseguitori solari possono essere mobili attorno ad uno o due assi, ovvero essere dotati di uno o due gradi di libertà:

- inseguitori che ruotano attorno all'asse est-ovest che alzano o abbassano i pannelli rispetto all'orizzonte in modo da ottenere un angolo ottimale rispetto al suolo in funzione della specifica stagionalità, determinando un incremento di produttività del pannello che non raggiunge il 10%;
- inseguitori che ruotano attorno all'asse nord-sud seguendo il percorso quotidiano del sole lungo la volta celeste a prescindere dalla stagione in cui sono utilizzati;
- inseguitori di azimuth che permettono di ruotare il pannello su una base rotante complanare al terreno e che determinano un aumento della produttività dei pannelli attorno al 25%;
- inseguitori che ruotano su due assi allineando ortogonalmente i pannelli fotovoltaici rispetto ai raggi solari incidenti e portano ad incrementare la produzione di energia elettrica anche del 30%.

Il movimento degli inseguitori può essere regolato da sistemi analogici (collegati ad un sensore che individua la posizione del punto più luminoso in cielo) o da sistemi digitali (collegati ad un microprocessore in cui sono stati registrati i dati relativi alla posizione del sole nel cielo).

I sistemi a concentrazione rappresentano un'altra soluzione per aumentare la luce incidente sulle celle fotovoltaiche: in questi sistemi la radiazione solare non va a incidere direttamente sulle celle ma viene concentrata da opportune lenti, rendendo possibile una riduzione dell'area di estensione della cella e quindi una riduzione della quantità di silicio impiegato a parità di energia elettrica erogata<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Le caratteristiche proprie dei sistemi a concentrazione fanno intravedere la possibilità di raggiungere, nel medio-lungo periodo con uno sviluppo della tecnologia, costi di sistema inferiori a 2€/W contro i circa 7 €/W dei sistemi fotovoltaici piani.

### Specifiche tecniche per l'installazione e la manutenzione

Nella valutazione e progettazione di un impianto fotovoltaico devono essere tenuti in considerazione, come elementi che influiscono sulla resa energetica e sulla fattibilità realizzativa in relazione alle caratteristiche del sito in cui l'impianto deve essere installato:

- l'efficienza associata alle diverse tipologie di celle fotovoltaiche;
- le condizioni di installazione che rendono possibile il miglior sfruttamento sia della risorsa solare disponibile sia delle potenzialità proprie della tecnologia;
- l'ingombro dei pannelli e la superficie disponibile per l'installazione;
- le esigenze di manutenzione e la durata dell'impianto.

L'efficienza delle celle fotovoltaiche viene indicata attraverso i valori dell'efficienza nominale, parametro che esprime l'entità percentuale dell'energia solare catturata dal pannello che viene trasformata in energia elettrica nelle condizioni di una temperatura del pannello di 25°C; in **Tab.2** sono riportati i valori ottenibili per le celle fotovoltaiche più diffuse sul mercato.

All'aumentare della temperatura del pannello fotovoltaico tale efficienza diminuisce; è importante quindi montare i pannelli in modo da garantire una buona circolazione dell'aria tale da evitare situazioni di surriscaldamento dei pannelli. Ciò è possibile mantenendo opportune spaziature tra i vari moduli e tra i moduli e la superficie su cui sono installati, tenendo conto, oltre che delle esigenze di raffreddamento del sistema, anche della pressione del vento.

**Tab.2 – efficienza nominale delle tipologie di celle fotovoltaiche più diffuse sul mercato.**

Materiale delle celle	Efficienza nominale	Note
Silicio monocristallino	13-17%	I sistemi in silicio mono o policristallino offrono una stabilità del rendimento su un arco temporale molto lungo (attorno ai 25 anni). Prove di laboratorio hanno mostrato un decadimento annuo dell'efficienza pari allo 0,4%. In virtù del maggior rendimento, a parità di produzione energetica, è necessario un impianto di minori dimensioni rispetto ai sistemi a base di silicio amorfo.
Silicio policristallino	12-14%	Il rendimento viene però pesantemente compromesso in corrispondenza di situazioni di irraggiamento non ottimali, ovvero nel caso di ombreggiature, anche parziali e ridotte, del modulo o in occasione di giornate nuvolose o nelle fasce orarie di prima mattina e sera.
Silicio amorfo	6-10%	Normalmente nei primi due mesi di vita, il rendimento dei sistemi in silicio amorfo diminuisce di circa il 20%, per poi rimanere stabile nell'arco dei primi venti anni di funzionamento. Rispetto alle tecnologie mono e poli-cristalline, i sistemi in silicio amorfo forniscono rendimenti superiori anche dell'8-15% in situazioni di irraggiamento non ottimale (ovvero in presenza di ombreggiature, in giornate nuvolose o nelle ore serali e mattutine). La resa dei sistemi in silicio amorfo, inoltre, è meno suscettibile all'innalzamento della temperatura.

In linea generale la resa unitaria del sistema fotovoltaico (ovvero l'energia elettrica erogata per unità di riferimento del sistema) dipende:

- dalla localizzazione dell'impianto (in termini di latitudine e altitudine) che determina la quantità di radiazione solare disponibile;
- dall'orientamento e dell'inclinazione dei pannelli rispetto alla radiazione solare incidente da cui deriva l'entità della radiazione solare catturata e quindi trasformabile in energia elettrica;
- dall'efficienza nominale delle celle.

Come prima indicazione della variabilità, in funzione della localizzazione, nella produttività dei sistemi fotovoltaici, si tenga conto che un impianto di potenza nominale<sup>4</sup> pari a 1 kWp eroga mediamente:

- 1080 kWh/anno se installato nel nord Italia;
- 1350 kWh/anno se installato nel centro Italia;
- 1500 kWh/anno se installato nel sud Italia.

In riferimento ad orientamento ed inclinazione dei pannelli, qualora questi non siano montati su inseguitori solari, le condizioni ottimali di installazione di pannelli fotovoltaici in Italia sono le seguenti:

- esposizione delle superfici dei pannelli verso sud (installazioni con esposizione verso sud-est o sud-ovest sono ammesse ma comportano una leggera perdita di produttività rispetto alla soluzione con esposizione ottimale);
- inclinazione dei pannelli di 30 gradi rispetto al piano orizzontale (variazioni di inclinazione di  $\pm 10$  gradi rispetto all'ottimale comportano cali di rendimento trascurabili)<sup>5</sup>.

Laddove, per svariati motivi, i pannelli fotovoltaici non possano essere installati sui tetti o a terra, questi possono trovare collocazioni alternative quali:

- sulle facciate dell'edificio, sfruttando in prevalenza la radiazione solare diffusa, anche se con rendimenti minori;
- su balaustre e parapetti, generalmente in facciata degli edifici;
- su pensiline e altre strutture di copertura di spazi pedonali o parcheggi con inclinazione ottimale dei moduli o con disposizione orizzontale;
- su lucernai, potendo scegliere di installare moduli completamente opachi oppure moduli traslucidi che permettono il passaggio parziale della luce solare negli spazi interni sottostanti;
- su sistemi di schermatura per il sole (schermi frangisole, brise-soleil, tettoie, lamelle, ecc.) meglio se orientabili con sistemi manuali o automatici in modo da poter regolare l'inclinazione delle superfici di captazione su valori ottimali).

Per gli impianti installati su coperture o pareti degli edifici è necessario prestare attenzione che non si generino interferenze con la impermeabilizzazione o la coibentazione delle superfici.

Nella scelta di dove e come installare i pannelli occorre infine valutare attentamente la presenza di eventuali ombreggiature, anche apparentemente di scarsa importanza, quali quelle generate da pali della luce, alberi, edifici confinanti, comignoli, antenne, che dovrebbero essere evitate poiché determinano decrementi importanti nella produttività del sistema (nel caso di sistemi a base di silicio amorfo la perdita di rendimento determinata in caso di ombreggiatura del pannello risulta contenuta rispetto a sistemi in silicio mono o pluricristallino e pertanto il ricorso a questo tipo di materiale è indicato qualora nell'installazione dei pannelli fotovoltaici non si possano evitare parziali ombreggiature).

L'ingombro dell'impianto è una variabile sicuramente importante in quanto, verificata la potenza totale del sistema che risponde al fabbisogno elettrico dell'utenza, occorre valutare la grandezza dell'impianto in grado di erogare tale potenza e quindi confrontare questo dato con la superficie realmente disponibile per l'installazione<sup>6</sup>. La dimensione finale dell'impianto è determinata dalla

<sup>4</sup> Potenza nominale o potenza di picco (kWp): si tratta della potenza erogabile in condizioni standard, ovvero in condizioni di temperatura delle celle pari a 25 °C e irraggiamento della luce solare pari a 1 kW per m<sup>2</sup>.

<sup>5</sup> Nel caso di pannelli fotovoltaici fissi installati sul tetto inclinato di un edificio l'inclinazione dell'impianto coincide con l'inclinazione del tetto (in quanto il ricorso a dispositivi atti a migliorare l'inclinazione dei pannelli può esporre l'impianto alle sollecitazioni del vento e può determinare deterioramenti del tetto); per installazione su tetti piani o installazioni a terra, l'inclinazione dei pannelli viene invece fornita dai supporti su cui si installano i pannelli stessi.

<sup>6</sup> Nel caso di impianti connessi alla rete di distribuzione dell'energia elettrica, qualora la superficie disponibile per l'installazione del sistema sia insufficiente ad ospitare un impianto di potenza tale da soddisfare completamente il fabbisogno elettrico dell'utenza, si potrà andare ad installare un impianto di taglia inferiore, compensando le necessità elettriche mediante prelievi dalla rete di distribuzione; nel caso invece di impianti isolati, il ricorso ad un generatore di

dimensione unitaria delle celle fotovoltaiche<sup>7</sup> e dal numero complessivo di celle che vengono assemblate per realizzare il sistema.

All'aumentare dell'efficienza nominale del sistema, a parità di potenza complessiva desiderata, la grandezza dell'impianto diminuisce poiché servono meno elementi (celle) per ottenere lo stesso risultato energetico. In media, un impianto con potenza nominale pari a 1 kWp realizzato con moduli fotovoltaici in silicio monocristallino o policristallino occupa circa 8 m<sup>2</sup> sul tetto, mentre se si usano moduli in silicio amorfo, lo spazio occupato sul tetto diventa di circa 20 m<sup>2</sup>. Per installazioni su superfici piane che richiedono più file di pannelli, nella valutazione della superficie necessaria occorrerà tener conto anche della distanza che si dovrà lasciare tra una fila e l'altra per evitare ombreggiamenti prodotti dalle file stesse.

L'approccio al dimensionamento di un impianto fotovoltaico può essere di due tipi:

- *in funzione del fabbisogno elettrico dell'utenza* da cui si ricava la potenza che deve essere garantita dall'impianto e, in funzione dell'efficienza nominale propria dello specifico materiale semiconduttore costituente le celle fotovoltaiche, viene calcolata la dimensione dell'impianto che garantisce l'erogazione della potenza voluta;
- *in funzione della superficie disponibile* per l'installazione da cui, tenendo conto dell'ingombro delle diverse tipologie di pannelli che, come visto, dipendono dall'efficienza nominale delle celle, si ricava la potenza erogabile dal sistema.

In caso di sistemi fotovoltaici connessi alla rete elettrica si può scegliere di installare impianti sovradimensionati rispetto alle esigenze dell'utenza dato che il surplus di energia elettrica prodotta viene ceduta (e venduta) alla rete di distribuzione.

L'investimento nella tecnologia fotovoltaica permette di sfruttarne i vantaggi per un periodo piuttosto lungo: i moduli fotovoltaici hanno infatti una durata che va da un minimo di 20 anni e può arrivare anche a 30 anni<sup>8</sup>. Superati i primi 20-30 anni di funzionamento si ha un calo dell'efficienza degli impianti che rende indispensabile una sostituzione dei moduli quando non si realizzano più condizioni convenienti per l'utenza. Per sfruttare il più possibile vantaggiosamente un impianto fotovoltaico è conveniente utilizzare strutture di supporto che abbiano una durata analoga a quella dei pannelli. La maggior parte degli altri componenti del sistema hanno una durata di dieci anni o più, mentre le batterie (ove presenti) richiedono un ricambio con una frequenza di circa 5 anni.

Altro aspetto vantaggioso è dato dalle scarse esigenze di manutenzione degli impianti:

- i moduli, come unico intervento manutentivo, richiedono una periodica pulizia, ogni 2-3 anni, per rimuovere lo sporco che si accumula in superficie e che determina un calo nell'efficienza dell'impianto anche se normalmente gli stessi si mantengono abbastanza puliti grazie alla pioggia e al vento. E' comunque consigliabile effettuare annualmente un'ispezione visiva dello stato dei moduli in modo da verificare l'integrità del vetro superficiale e la necessità di rimozione dello sporco accumulato;
- una volta all'anno va verificato l'isolamento verso terra dell'impianto, la continuità elettrica dei circuiti di stringa ed il corretto funzionamento dell'inverter. Nel caso specifico dell'inverter, tale dispositivo è solitamente dotato di spie di allarme che evidenziano necessità di manutenzione elettrica, a fronte di anomalie di funzionamento o guasti;
- nel caso in cui i pannelli siano installati su inseguitori solari occorre invece programmare, oltre all'ordinaria manutenzione elettrica, una più frequente manutenzione meccanica delle parti mobili che sono soggette a normale usura.

---

corrente a combustibile permetterà di integrare al bisogno l'offerta energetica fornita dall'impianto fotovoltaico sottodimensionato.

<sup>7</sup> Le celle in silicio monocristallino sono di forma quadrata ed hanno mediamente dimensioni del lato da 8 a 10 cm; quelle in silicio pluricristallino, anch'esse quadrate, hanno un lato che va da 12 a 15 cm.

<sup>8</sup> Il decadimento dell'efficienza dei sistemi in silicio amorfo comporta una durata dell'impianto inferiore a quella dei sistemi in silicio mono o pluricristallino; la durata minima dell'impianto che deve comunque essere garantita anche per i sistemi in silicio amorfo, durante la quale il calo di efficienza non può superare il 20%, è pari a 20 anni.

Per agevolare gli interventi di manutenzione è opportuno montare le strutture in modo da garantire facile accesso alle diverse parti che necessitano di interventi periodici (operazioni di sostituzione e pulizia per i moduli, ispezione e manutenzione per le scatole di giunzione elettrica).

### **Campo di applicabilità e di convenienza**

I sistemi fotovoltaici sono applicabili laddove vi sia un'adeguata disponibilità di radiazione solare e un contestuale moderato fabbisogno di energia elettrica.

La quantità di energia elettrica prodotta dai sistemi fotovoltaici è direttamente correlata:

- alla quantità di radiazione solare disponibile e "catturata" dai pannelli stessi;
- all'efficienza di trasformazione dell'energia solare in energia elettrica propria delle celle fotovoltaiche;
- all'efficienza delle altre componenti del sistema;
- alle dimensioni dell'impianto.

In determinate condizioni ambientali di disponibilità della "risorsa solare", data una specifica tipologia di celle fotovoltaiche, la quantità di energia elettrica prodotta può essere incrementata aumentando la dimensione, e quindi i costi<sup>9</sup>, dell'impianto; in altri termini la risposta a fabbisogni energetici importanti, quali possono essere quelli connessi ad apparecchiature utilizzate a scopo produttivo, richiede l'installazione di impianti fotovoltaici di costo molto rilevante.

Poiché nei sistemi connessi alla rete di distribuzione dell'elettricità la rete stessa agisce come batteria di capacità illimitata, l'efficienza totale del sistema risulta superiore a quella di un sistema isolato (dove in alcuni casi si può avere produzione di energia elettrica in condizioni in cui le batterie connesse al sistema sono già completamente cariche e quindi l'energia prodotta deve essere dispersa non trovando spazio per essere accumulata). Nonostante ciò l'installazione di pannelli fotovoltaici in siti dove esiste la connessione alla rete elettrica non risulta economicamente attraente in considerazione di costi unitari di autoproduzione dell'energia non competitivi con il costo dell'energia elettrica fornita dalla rete.

Le installazioni più convenienti della tecnologia fotovoltaica sono quelle su siti scollegati dalla rete di distribuzione dell'elettricità ove è necessaria una bassa produzione energetica (inferiore ai 10 kW come potenza di picco), in quanto il costo che si richiederebbe per collegare il sito alla rete elettrica è notevolmente superiore al costo dei pannelli. Per le applicazioni in connessione alla rete elettrica, ad oggi la tecnologia fotovoltaica può essere economicamente sfruttata solo in presenza di elementi di finanziamento e/o incentivo (va però tenuto conto che i progressi della tecnologia faranno via via diminuire nel tempo il costo dell'energia elettrica prodotta con tali sistemi mentre la riduzione della disponibilità dei combustibili fossili, con cui viene tradizionalmente prodotta l'energia elettrica immessa in rete, comporterà un costante incremento del costo dell'energia fornita).

### **Considerazioni ambientali**

Il bilancio energetico tra il quantitativo di energia speso per la produzione di un pannello fotovoltaico e il quantitativo di elettricità erogato durante la sua vita, grazie ai progressi tecnologici che si sono avuti dallo sviluppo di tale tecnologia ad oggi, è un bilancio positivo. Sotto questo profilo ambientale i sistemi in silicio amorfo sono quelli con le prestazioni migliori, essendo meno energivoro il loro processo di produzione e riuscendo quindi a restituire in pochi anni l'energia usata per la loro produzione, per poi arrivare a generarne fino a 10-12 volte di più nell'arco della loro vita. Per la fabbricazione dei moduli fotovoltaici mono o pluricristallini viene invece spesa molta più energia e quindi ogni modulo impiega anche 3-6 anni per restituire la sola energia che è stata impiegata per essere prodotto, mentre nell'arco della sua vita ne produrrà 4-8 volte di più.

<sup>9</sup> I prezzi medi per pannelli fotovoltaici in silicio cristallino si aggirano attorno ai 10.000 €/kWp per gli impianti isolati e attorno ai 6.000 €/kWp per gli impianti connessi alla rete elettrica.

La produzione di elettricità attraverso i sistemi fotovoltaici, grazie al suddetto bilancio energetico favorevole e grazie all'utilizzo di una sorgente energetica "pulita" quale la radiazione solare, comporta un risparmio di gas serra: prendendo come esempio esplicativo un impianto di potenza nominale da 1 kWp installato alle latitudini dell'Italia centrale, la cui produzione di energia elettrica si attesta sui 1460 kWh, si ottiene un quantitativo di 780 kg di anidride carbonica non emessa per ogni chilowatt di picco installato. Considerando una durata dell'impianto di 30 anni, la stima complessiva del risparmio di CO<sub>2</sub> lungo l'intera vita del sistema fotovoltaico preso ad esempio è pari a 23.400 kg/kWp.

Come ulteriori aspetti ambientali positivi propri degli impianti fotovoltaici va considerato che:

- durante il loro funzionamento sono silenziosi e non rilasciano alcuna emissione;
- i materiali costituenti le più comuni celle fotovoltaiche sono a base di silicio, materiale molto abbondante in natura e completamente innocuo.

### Fonti

- "*Clean energy project analysis: RETScreen engineering & cases textbook – Photovoltaic Project Analysis*", RETScreen International – Clean Energy Decision Support Center, Minister of Natural Resources Canada, 2001-2004; [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)
- [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org) (sito dell'agenzia internazionale per l'energia)
- <http://efficienzaenergetica.acs.enea.it> (sito ENEA per l'efficienza energetica)
- "*Il fotovoltaico*", S. Castello e F. De Lia, ENEA, 2006.
- "*L'energia fotovoltaica*" – opuscolo n°22 collana "Sviluppo Sostenibile", ENEA, luglio 2006.
- "*Impianti solari fotovoltaici a norme CEI*", Francesco Groppi e Carlo Zuccaro, casa editrice Editoriale Delfino, 2004.