



# IL FOTOVOLTAICO

IMPIANTI INDUSTRIALI  
COSTRUZIONI  
ENERGIE RINNOVABILI  
INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
CONSULENZE AZIENDALI



# IL FOTOVOLTAICO

## INTRODUZIONE AL FOTOVOLTAICO

La conversione fotovoltaica consiste nella trasformazione diretta dell'energia solare in energia elettrica mediante dispositivi a stato solido (celle fotovoltaiche) basati sui semiconduttori, prodotti con metodi affini a quelli impiegati nell'industria elettronica. Essa mostra la più elevata efficienza di conversione dell'energia solare primaria in elettricità rispetto alle altre tecnologie rinnovabili.

La tecnologia fotovoltaica appare quella che consente il più promettente sfruttamento nel lungo termine e su grande scala delle fonti rinnovabili, soprattutto in paesi come l'Italia con alti livelli di insolazione ed il cui potenziale energetico fotovoltaico ammonta a 47.000 miliardi di kWh/anno.

Se ricordiamo che il fabbisogno elettrico nazionale si attesta ai 270 miliardi di kWh/anno, discende che utilizzare pochi per mille del potenziale fotovoltaico potrebbe soddisfare le richieste di tale energia del nostro paese: appare chiaro allora che un uso pur limitato di questa tecnologia sarebbe anche in grado di ridurre significativamente la dipendenza energetica dalle fonti convenzionali.

L'impatto inquinante ambientale del fotovoltaico è ridotto ed è legato alla sola fase produttiva dei supporti di silicio: la costruzione dei moduli, infatti, richiede l'uso di tecnologie convenzionali poco inquinanti e la spesa di energia vale, alle latitudini meridionali, circa il 20% dell'energia prodotta nella loro vita utile. L'esercizio delle centrali tuttavia non da origine ad alcun tipo di emissione ed il loro "decommissioning" (dopo 25-30 anni di esercizio) non presenta particolari problemi, anche se il materiale esausto non può comunque essere trattato come un rifiuto ordinario (nei sistemi stand-alone sono da smaltire le batterie esaurite, problema però comune anche ad altre tecnologie: telefonia, autotrazione, etc.).

A differenza di talune fonti rinnovabili il fotovoltaico beneficia della indipendenza del luogo di installazione rispetto alla fonte di energia: seppur in misura variabile, sulla superficie terrestre l'irraggiamento solare arriva ovunque, la fonte eolica e quella idro sono invece limitate a porzioni specifiche del territorio, laddove tali risorse si concentrano in misura idonea ad essere sfruttata, mentre la biomassa va coltivata in situ o comunque trasportata. Da ciò discende un ulteriore pregio del FV: tali impianti sono gli unici idonei ad applicazioni di tipo locale, sono modulari e impiegabili dai milliwatt ai megawatt, e possono risolvere ovunque fabbisogni puntuali non estensivi, capaci di alimentare autonomamente utenze isolate distanti dalla rete elettrica o protette da vincoli, tipo parchi naturali, isole, etc., nonché essere integrati negli edifici di nuova costruzione, secondo la corretta filosofia costruttiva delle architetture "bioclimatiche", le sole che, per posizionamento, scelta dei materiali costruttivi, integrazione di sistemi energetici, tendono ad autoprodurre il proprio fabbisogno di energia, svincolandosi da qualunque dipendenza esterna.

A fronte dei vantaggi esposti esiste una controindicazione importante alla diffusione del fotovoltaico: il suo costo di produzione è ancora non competitivo con le tecnologie a fonte fossile o rinnovabile matura, l'installazione di impianti in cui si desiderino potenze di taglia industriale conduce ad occupazioni ingenti del territorio: tali assetti sono assai poco attuabili nel nostro Paese, sia per il palese mutamento indotto sul paesaggio (risultano inaccettabili ad alcuni le grandi superfici riflettenti), sia per la difficoltà di reperire ampi siti che siano autorizzabili e non altrimenti destinati.

## 1. La cella fotovoltaica

La cella fotovoltaica è un dispositivo che, esposto al sole, è capace di convertire direttamente la radiazione solare in energia elettrica.

Ai fini del funzionamento delle celle i fotoni di cui è composta la luce solare non sono tutti equivalenti: per poter essere assorbito e partecipare al processo di conversione, un fotone deve possedere un'energia superiore ad un certo valore minimo, che dipende dal materiale di cui è costituita la cella; in caso contrario, il fotone passa attraverso tutto lo spessore del dispositivo senza innescare il processo di conversione.

Con il silicio, materiale semiconduttore più usato per la costruzione delle celle, non viene assorbita tutta la parte della radiazione solare con energia insufficiente, ovvero con lunghezza d'onda superiore a 1.1  $\mu\text{m}$ , e risulta così inutilizzata ai fini della conversione.

IMPIANTI INDUSTRIALI  
COSTRUZIONI  
ENERGIE RINNOVABILI  
INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
CONSULENZE AZIENDALI

Anche i fotoni con troppa energia vengono utilizzati solo parzialmente: in tal caso il fotone viene assorbito, ma la frazione di energia in eccesso rispetto al valore di soglia necessario per l'assorbimento viene convertita in calore e quindi persa dal punto di vista elettrico.

Questo meccanismo detto "a soglia" è essenziale per determinare l'efficienza di conversione ottenibile con celle costruite con materiali differenti.

Quando un fotone dotato di sufficiente energia viene assorbito nella cella, all'interno di quest'ultima si crea una coppia di cariche elettriche di segno opposto, chiamate elettrone e lacuna, che si rendono disponibili per la conduzione di elettricità. Per generare effettivamente la corrente elettrica è però necessaria una differenza di potenziale che faccia muovere tali cariche, ed essa viene creata grazie all'introduzione di piccole quantità di impurità nel materiale delle celle: tali impurità, dette droganti, sono in grado di modificare profondamente le proprietà elettriche del semiconduttore.

Introducendo fosforo per esempio, si ha la formazione di silicio definito di tipo n, mentre usando impurità come il boro si ha la formazione di silicio di tipo p.

Nel primo caso si consegue la formazione di un materiale caratterizzato da una densità di elettroni liberi (cariche negative) molto più alta di quella presente nel silicio normale, nel secondo caso le cariche in eccesso sulla norma sono di segno positivo.

Una cella fotovoltaica richiede l'intimo contatto, su una grande superficie, di due strati di silicio p ed n: nella zona di contatto tra i due tipi di silicio, detta giunzione n-p, si ha la formazione di un forte campo elettrico, capace di muovere in direzioni opposte le cariche elettriche positive e negative generate dalla luce in prossimità della giunzione. In questo modo le cariche vengono separate e, collegando questo dispositivo ad un circuito esterno, si potrà avere una circolazione di corrente: tanto maggiore è la quantità di luce incidente, tanto maggiore è la corrente generata.

La tipica cella fotovoltaica prodotta industrialmente è costituita da una sottile fetta di silicio mono o policristallino, di spessore pari a circa 0.3 mm, di forma circolare o quadrata e con un'area di circa 100 cm<sup>2</sup> (inserire la fig.8 di pag. 148).

Nello spessore della cella si distinguono due strati semiconduttori: quello superiore esposto alla radiazione solare, molto sottile, di tipo n, ed un secondo strato, di tipo p, in cui avviene l'assorbimento della luce incidente.

La luce genera all'interno della cella le coppie elettrone-lacuna, che migrano verso gli elettrodi sotto l'azione del campo elettrico presente alla giunzione n-p: gli elettroni vengono raccolti dall'elettrodo superiore, le lacune da quello inferiore, creando un generatore di corrente. La potenza massima erogabile in condizioni di illuminazione e temperatura specificate viene misurata in Watt di picco (Wp): si conviene che, alla temperatura della giunzione di 25 °C e con un irraggiamento di 1000 W/m<sup>2</sup>, una cella ha una potenza nominale di 1 W di picco se eroga la potenza massima di 1W.

L'efficienza di una cella fotovoltaica risulta dal rapporto tra la potenza massima erogata e l'irraggiamento incidente sulla sua superficie: per il silicio monocristallino varia dal 15% (celle commerciali) al 25% (prove di laboratorio).

Tali non elevati valori discendono dalla considerazione che parte dell'energia che investe una cella si perde per riflessione, per fotoni troppo o poco energetici, per resistenze parassite; per diminuire la riflessione si sottopone la superficie della cella ad un trattamento chimico che le conferisce una struttura a piramidi. Dopo questi trattamenti la cella assume il caratteristico colore blu scuro o nero.

## 2. Il modulo fotovoltaico

Per ragioni di praticità le celle vengono assemblate in una struttura robusta e maneggevole, in grado di garantire molti anni di funzionamento anche in condizioni ambientali difficili: il modulo fotovoltaico.

Nella sua forma più comune un modulo è costituito da 36 celle, disposte su 4 file parallele e collegate in serie tra loro; le celle sono sigillate tra due lastre di vetro o vetro e plastica (posteriore).

La potenza erogata da un modulo in condizioni di sole pieno vale 40-50 W, con tensione di lavoro ai morsetti intorno ai 17 V, in modo che sia collegabile direttamente ad una tipica batteria di automobile per immagazzinare l'energia prodotta.

Un modulo raggiunge un'efficienza di conversione pari al 12-13%, inferiore a quella delle singole celle: tale diminuzione dipende dal fatto che il risultato dell'assemblaggio è una struttura la cui superficie non può essere interamente ricoperta dalle celle e quindi non tutta l'area esposta al sole partecipa alla conversione; a ciò si aggiunge la non omogeneità delle caratteristiche elettriche delle celle, con conseguente perdita di potenza.

Collegando in serie/parallelo un insieme di moduli si ottiene un generatore FV con le caratteristiche desiderate di corrente e tensione.

### 3. Il generatore (o campo) fotovoltaico

Si basa sull'accoppiamento in parallelo di stringhe di moduli, ciascuna ottenuta mettendo in serie un opportuno gruppo di moduli: il collegamento in serie fornisce il valore desiderato di tensione, mentre il numero di stringhe in parallelo determina la corrente di lavoro.

La potenza complessiva del campo è allora data dal prodotto della tensione di stringa per la corrente di lavoro del campo fotovoltaico.

Nella pratica l'installazione dei moduli fotovoltaici avviene nei seguenti modi:

- con impiego di strutture preesistenti (tetti delle abitazioni, capannoni industriali);
- apposite strutture di sostegno fisse su una o più file parallele
- apposite strutture di sostegno mobili, capaci di "inseguire" il sole

Le prime due soluzioni, semplici ed affidabili, sono le più diffuse per i sistemi di piccola e media potenza, la terza è complessa e costosa, viene adottata solo su impianti di grande taglia, specie in località con un predominio di radiazione diretta rispetto alla diffusa.

### 4. La regolazione della potenza

Le caratteristiche elettriche del generatore FV (corrente e tensione in corrente continua, variabili al variare dell'irraggiamento e della temperatura) differiscono spesso da quelle delle utenze, funzionanti quasi sempre in corrente alternata e a valori costanti di tensione.

È allora necessario dotare il generatore di opportune apparecchiature di condizionamento della potenza, di controllo e protezione (nonché sicurezza nel caso di impianti collegati alla rete).

Nel caso di utenze in corrente continua questo sistema è essenzialmente un convertitore cc/cc che funziona come un trasformatore con rapporto di trasformazione variabile: è cioè in grado di mantenere costante la tensione alla propria uscita indipendentemente dalle variazioni di tensione del generatore fotovoltaico.

Nel caso di utenze in corrente alternata l'elemento base è l'inverter, capace di convertire la tensione continua in alternata, assicurando nel contempo il valore voluto di tensione.

### 5. Il sistema di accumulo

Negli impianti isolati dove il fotovoltaico costituisce l'unica fonte di energia, la continuità di alimentazione delle utenze è assicurata dal sistema di accumulo dell'energia elettrica tramite accumulatori ricaricabili.

Detto sistema viene progettato in modo da garantire un adeguato numero di ore di alimentazione del carico anche in assenza completa di irraggiamento, deve tenere anche conto del rendimento delle batterie e della necessità di evitare sovraccarichi o scariche profonde, superiori cioè al 50% della carica nominale.

Le batterie contribuiscono inoltre a stabilizzare la tensione di uscita del generatore FV in molte applicazioni: in piccoli impianti ciò può essere sufficiente ad eliminare il sistema di condizionamento della potenza.

### INCENTIVI

In Italia, da settembre 2005, è attivo un meccanismo di incentivazione, definito "**Conto Energia**", che remunera la produzione di energia elettrica ottenuta tramite impianti fotovoltaici.

Il decreto ministeriale che regola tale meccanismo, è stato soggetto a modifiche importanti nel corso degli anni. In particolare, a febbraio 2007 ("**Secondo Conto Energia**"), ad agosto 2010 ("**Terzo Conto Energia**") ed infine a maggio 2011 ("**Quarto Conto Energia**").

La caratteristica fondamentale di questo sistema di incentivazione è quella di remunerare l'energia prodotta dall'impianto con una tariffa incentivante. In altre parole è come se lo Stato riconoscesse ai cittadini e alle aziende proprietari di impianti fotovoltaici un contributo sulla produzione di energia elettrica. Tale energia è misurata in kWh (chilowattora). La tariffa incentivante può essere concessa a tutti gli impianti fotovoltaici di potenza non

IMPIANTI INDUSTRIALI  
COSTRUZIONI  
ENERGIE RINNOVABILI  
INGEGNERIA E ARCHITETTURA  
CONSULENZE AZIENDALI

inferiore ad 1 kWp, e l'ente pubblico preposto ad erogare questo incentivo è il GSE (Gestore dei Servizi Energetici)

il soggetto responsabile dell'impianto è tenuto ad inviare al GSE la richiesta della tariffa incentivante completa di tutta la documentazione (Allegato 3-C del decreto ministeriale) **entro 15 giorni solari dalla data di entrata in esercizio dell'impianto** (come definita all'art. 3 comma 1 lettera g del decreto interministeriale del 05/05/2011), il mancato rispetto di tali termini comporta il mancato riconoscimento delle tariffe incentivanti per il periodo intercorrente fra la data di entrata in esercizio e quella di comunicazione al GSE, fermo restando il diritto alla tariffa vigente alla data di entrata in esercizio (Art. 10 comma 1).

Gli impianti solari fotovoltaici (titolo II del decreto) vengono ancora distinti tra quelli "su edificio", premiati più generosamente, e "altri impianti". Le tariffe per impianti che vanno a sostituire le coperture di pergole, serre, barriere acustiche, tettoie e pensiline saranno pari alla media aritmetica fra quelle spettanti agli "impianti fotovoltaici realizzati su edifici e " quelle per "altri impianti fotovoltaici" (così come previsto già nel Terzo Conto Energia).

La realizzazione di un impianto fotovoltaico comporta un esborso di denaro che viene compensato nel corso di alcuni anni. Per limitare tale esborso è possibile utilizzare uno dei finanziamenti ad hoc concesso da un istituto bancario. Se si utilizzano tali strumenti è possibile pagare l'impianto mediante delle rate, normalmente semestrali, che vengono parzialmente (e a volte totalmente) "coperte" dagli utili derivanti dall'esercizio dell'impianto fotovoltaico e dai risparmi sulla bolletta elettrica. Le società che installano impianti fotovoltaici hanno spesso delle convenzioni con uno o più istituti bancari mediante i quali è possibile ottenere dei finanziamenti con caratteristiche vantaggiose. Un ulteriore strumento è costituito da prodotti assicurativi dedicati ad impianti fotovoltaici. La caratteristica principale di tali assicurazioni è quella di coprire anche il rischio derivante dalla mancata produzione e quindi dalla perdita all'incentivo in conto energia oltre ai rischi derivanti da eventi dolosi, catastrofici e guasti.

IMPIANTI INDUSTRIALI

COSTRUZIONI

ENERGIE RINNOVABILI

INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CONSULENZE AZIENDALI