

# Fotovoltaico

## Quadro sintetico della tecnologia e degli impianti

Sviluppata alla fine degli anni 50 nell'ambito dei programmi spaziali, per i quali occorreva disporre di una fonte di energia affidabile ed inesauribile, la tecnologia fotovoltaica (FV) si va oggi diffondendo molto rapidamente anche per applicazioni terrestri, come l'alimentazione di utenze isolate o gli impianti installati sugli edifici e collegati ad una rete elettrica preesistente. Il funzionamento dei dispositivi fotovoltaici si basa sulla capacità di alcuni materiali semiconduttori, opportunamente trattati, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua senza bisogno di parti meccaniche in movimento. Il materiale semiconduttore quasi universalmente impiegato oggi a tale scopo è il silicio. Il componente base di un impianto FV è la cella fotovoltaica, che è in grado di produrre circa 1,5 Watt di potenza in condizioni standard, vale a dire quando essa si trova ad una temperatura di 25 °C ed è sottoposta ad una potenza della radiazione pari a 1000 W/m<sup>2</sup>. La potenza in uscita da un dispositivo FV quando esso lavora in condizioni standard prende il nome di potenza di picco (Wp) ed è un valore che viene usato come riferimento. L'output elettrico reale in esercizio è in realtà minore del valore di picco a causa delle temperature più elevate e dei valori più bassi della radiazione. Più celle assemblate e collegate tra di loro in una unica struttura formano il modulo fotovoltaico. Il modulo FV tradizionale è costituito dal collegamento in serie di 36 celle, per ottenere una potenza in uscita pari a circa 50 Watt, ma oggi, soprattutto per esigenze architettoniche, i produttori mettono sul mercato moduli costituiti da un numero di celle molto più alto e di conseguenza di più elevata potenza, anche fino a 200 Watt per ogni singolo modulo. A seconda della tensione necessaria all'alimentazione delle utenze elettriche, più moduli possono poi essere collegati in serie in una "stringa". La potenza elettrica richiesta determina poi il numero di stringhe da collegare in parallelo per realizzare finalmente un generatore fotovoltaico. Il trasferimento dell'energia dal sistema fotovoltaico all'utenza avviene attraverso ulteriori dispositivi, necessari per trasformare ed adattare la corrente continua prodotta dai moduli alle esigenze dell'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 l'inverter, dispositivo che converte la corrente continua in uscita dal generatore FV in corrente alternata.

## Mercato dei sistemi fotovoltaici

Il mercato fotovoltaico mondiale ha conosciuto negli ultimi anni un notevole sviluppo, passando dai 45 MWp del 1990 ai 290 MWp del 2000. Questo grande risultato è stato possibile grazie al parallelo sviluppo di due tipologie di applicazioni: gli impianti isolati e quelli installati sugli edifici ed integrati alla rete elettrica. Gli incrementi più elevati nella potenza installata sono stati senza dubbio quelli del Giappone, degli Stati Uniti e della Germania, soprattutto grazie ai programmi di incentivazione da parte dello stato che, non solo hanno fornito sussidi per l'installazione di impianti FV, ma in alcuni casi

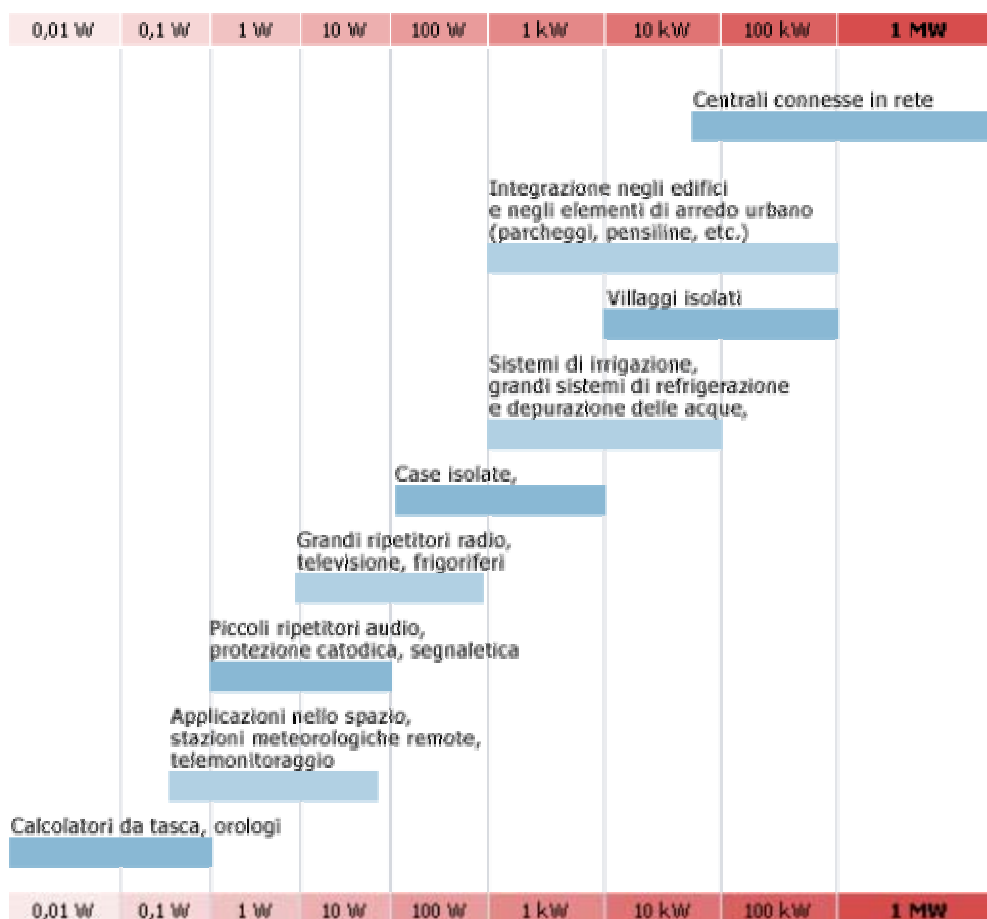
(come in Germania) hanno comprato l'elettricità in eccesso prodotta da tali impianti e riversata in rete ad un prezzo molto maggiore di quello di vendita dell'elettricità tradizionale, come a voler "premiare" le caratteristiche ecologicamente compatibili di tale energia. In Italia, dopo una fase di grande fermento della prima metà degli anni '90 in cui l'ENEL ha installato diverse centrali fotovoltaiche (la più grande delle quali la centrale di Serre nel salernitano di 3,3 MWp), il mercato ha vissuto un forte rallentamento soprattutto per l'assenza di adeguati meccanismi di incentivazione. Il Programma Tetti Fotovoltaici sarà in grado di dare a tutto il comparto fotovoltaico una forte accelerazione: per il 2001 sono previsti 2000 impianti fotovoltaici installati presso soggetti pubblici e privati. Se questa prima fase di avvio del programma avrà successo si prevede la realizzazione di 50.000 impianti fotovoltaici entro il 2007.

## Applicazioni

Data la loro modularità, i sistemi fotovoltaici presentano una estrema flessibilità di impiego. La principale classificazione dei sistemi fotovoltaici divide i sistemi in base alla loro configurazione elettrica rispettivamente in:

- Sistemi autonomi ("stand alone")
- sistemi connessi alla rete elettrica ("grid connectd")
  - Centrali fotovoltaiche
  - Sistemi integrati negli edifici

Il diagramma seguente mostra le principali applicazioni dei dispositivi FV classificate secondo la potenza elettrica.



## Potenzialità del fotovoltaico

La quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico dipende da numerosi fattori:

- 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
- altri parametri (p.es. temperatura di funzionamento)

A titolo di esempio viene calcolata la quantità di energia elettrica mediamente prodotta dai sistemi fotovoltaici in un anno di funzionamento nei tre siti di Roma, Milano e Trapani. 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). Si ipotizza che i pannelli FV siano inclinati di 30° sull'orizzontale ed orientati verso Sud. Per l'efficienza dei moduli si è preso un valore conservativo di 12.5% (i moduli possono avere efficienze anche fino al 16 – 17%), mentre per quella del BOS un valore dell'85% (include l'efficienza dell'inverter ed altri fattori di perdita, come ad esempio le perdite nei cavi elettrici di collegamento).

Calcolo dell'energia elettrica mediamente prodotta in corrente alternata in un anno da 1 m<sup>2</sup> di moduli

<b>Tabella.1</b>	Insolazione media annua	X Efficienza moduli	X Efficienza del BOS	= Elettricità prodotta mediamente in un anno
MILANO	1372.4 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	85%	145.8 kWhel/m <sup>2</sup> anno
ROMA	1737.4 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	85%	184.6 kWhel/m <sup>2</sup> anno
TRAPANI	1963.7 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	85%	208.6 kWhel/m <sup>2</sup> anno

Calcolo dell'energia elettrica in corrente continua mediamente prodotta in un anno da 1 kWp di moduli:

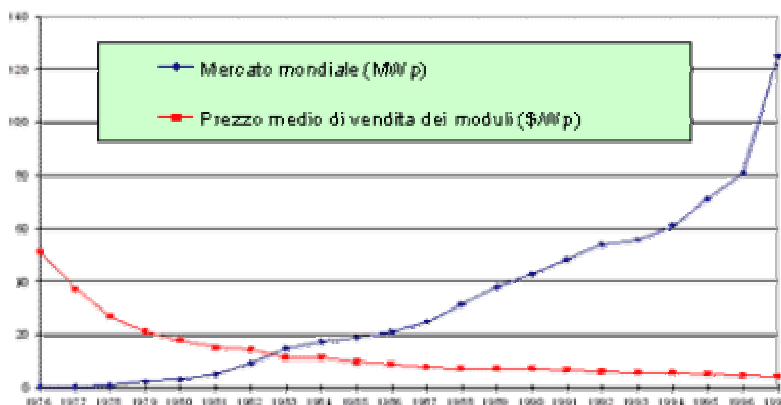
<b>Tabella.2</b>	Insolazione media annua	X Efficienza moduli	X superficie occupata da 1 kWp di moduli	= Elettricità prodotta mediamente in un anno in corrente continua
MILANO	1372.4 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	8 m <sup>2</sup>	1372.4 kWhel/kWp anno
ROMA	1737.4 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	8 m <sup>2</sup>	1737.4 kWhel/kWp anno
TRAPANI	1963.7 kWh/m <sup>2</sup> anno	12,5%	8 m <sup>2</sup>	1963.7 kWhel/kWp anno

Calcolo dell'energia elettrica in corrente alternata mediamente prodotta in un anno da 1 kWp di moduli:

<b>Tabella.3</b>	Elettricità prodotta mediamente in un anno in corrente continua	X efficienza del BOS	= Elettricità prodotta mediamente in un anno in corrente alternata
MILANO	1372.4 kWhel/kWp anno	85%	1167 kWhel/kWp anno
ROMA	1737.4 kWhel/kWp anno	85%	1477 kWhel/kWp anno
TRAPANI	1963.7 kWhel/kWp anno	85%	1669 kWhel/kWp anno

### Costi

Le voci che costituiscono il costo di un sistema fotovoltaico sono: costi di investimento, costi d'esercizio (manutenzione e personale) e altri costi (assicurazioni e tasse). Il costo d'investimento è in prima approssimazione diviso al 50% tra i moduli ed il resto del sistema. Nel corso degli ultimi due decenni il prezzo dei moduli è notevolmente diminuito al crescere del mercato. Tuttavia, il prezzo del kWp installato, prossimo ai 16.000.000 Lire, è ancora tale da rendere questa tecnologia non competitiva dal punto di vista economico con altri sistemi energetici, se non in particolari nicchie di mercato o in presenza di meccanismi di incentivazione.



Nel seguito si riporta l'esempio di calcolo del costo del kWh elettrico prodotto da un tetto fotovoltaico a Trapani. Sono stati assunti i seguenti parametri di calcolo:

- tasso di sconto reale 5% (credito agevolato);
- tempo di ammortamento dell'impianto uguale al tempo di vita dello stesso, stimato in 25 anni (valore valido solo per moduli in silicio cristallino);
- efficienza del B.O.S.: 85%;
- costo annuo di manutenzione: 1% del costo capitale dai costi è sempre escluso il sistema di acquisizione dati, il cui prezzo è molto variabile;

Tipo di	Poten	Costo	Costo	Costo	Costo	Costo annuo di	Energ	Costo del
---------	-------	-------	-------	-------	-------	----------------	-------	-----------

impianto	za impianto (kWp)	moduli (Lit/Wp)	BOS (Lit/Wp)	totale impianto (Lit/Wp)	totale impianto (Lit)	manutenzione/gestione	ia prodotta annua (kWh)	kWh prodotto (Lit/kWh)
Integrato negli edifici	3	6,825	7,175	14,000	42,000,000	420,000	5062	672

## Vantaggi ambientali

I vantaggi dei sistemi fotovoltaici sono la modularità, le esigenze di manutenzione ridotte (dovute all'assenza di parti in movimento), la semplicità d'utilizzo, e, soprattutto, un impatto ambientale estremamente basso. In particolare, durante la fase di esercizio, l'unico vero impatto ambientale è rappresentato dall'occupazione di 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.

Per produrre un chilowattora elettrico vengono bruciati mediamente l'equivalente di 2,56 kWh sotto forma di combustibili fossili e di conseguenza emessi nell'aria circa 0,53 kg di anidride carbonica (fattore di emissione del mix elettrico italiano alla distribuzione). Si può dire quindi che ogni kWh prodotto dal sistema fotovoltaico evita l'emissione di 0,53 kg di anidride carbonica. Questo ragionamento può essere ripetuto per tutte le tipologie di inquinanti. Per quantificare il beneficio che tale sostituzione ha sull'ambiente è opportuno riferirsi ad un esempio pratico. Si considerino degli impianti fotovoltaici installati sui tetti di abitazioni a Milano, Roma e Trapani con una potenza di picco di 1 kWp (orientati a Sud con inclinazione 30°). L'emissione di anidride carbonica evitata in un anno si calcola moltiplicando il valore dell'energia elettrica prodotta dai sistemi per il fattore di emissione del mix elettrico. Per stimare l'emissione evitata nel tempo di vita dall'impianto è sufficiente moltiplicare le emissioni evitate annue per i 30 anni di vita stimata degli impianti. La tabella seguente riporta l'esempio di calcolo:

Emissioni evitate da un kWp di moduli nel tempo di vita degli impianti

<b>Tabella 6.1</b>	Energia elettrica generata in c.a. in un anno	X Fattore del mix elettrico italiano	= Emissioni evitate in un anno	X Tempo di vita dell'impianto	= Emissioni evitate nel tempo di vita
Milano	1167.4kWhel/kWp	0,531kg CO <sub>2</sub> /kWhel	729kg CO <sub>2</sub>	30anni	18590kg CO <sub>2</sub>
Roma	1477.4kWhel/kWp	0,531kg	922kg CO <sub>2</sub>	30anni	23529kg

		CO <sub>2</sub> /kWhel			CO <sub>2</sub>
Trapani	1669.7kWhel/kWp	0,531kg CO <sub>2</sub> /kWhel	1043kg CO <sub>2</sub>	30anni	26587kg CO <sub>2</sub>