

# IMPIANTI FOTOVOLTAICI

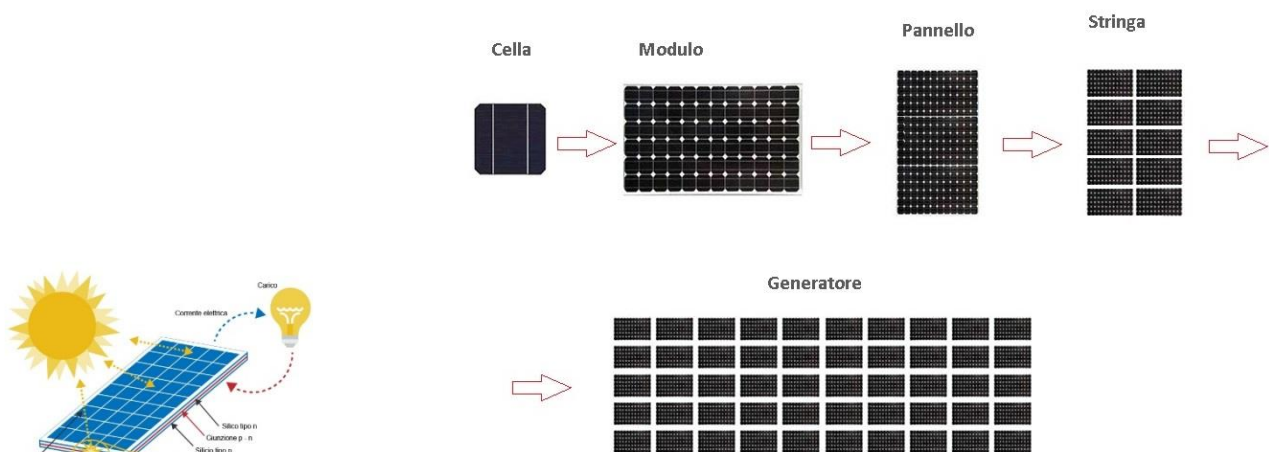
Nell'ultimo decennio l'Italia ha visto un'importante espansione dell'installato fotovoltaico, sostenuta principalmente dal sistema di incentivo dei Conti Energia. Oggi questi sistemi di incentivo non sono più attivi. Tuttavia, le **detrazioni fiscali del 50%** sostengono ancora la realizzazione di questi impianti. La taglia più consueta per l'edilizia residenziale monofamiliare è di 3 kW. Per ottimizzare la produzione, i pannelli fotovoltaici devono essere installati preferibilmente orientati a sud e con inclinazioni prossime ai 30°. I sistemi fotovoltaici possono essere **stand alone** (ossia isolati, non collegati alla rete elettrica) o **grid connected** (collegati alla rete elettrica nazionale). Nei sistemi stand alone è frequente l'abbinamento a sistemi per l'accumulo dell'elettricità prodotta e il successivo riutilizzo. Inoltre, in base alla tipologia di installazione, gli impianti FV possono suddividersi in **integrati architettonicamente** (quando il pannello sostituisce paramenti del fabbricato) o **parzialmente integrati** (quando il pannello viene sovrapposto a un elemento dell'edificio, per esempio la falda di copertura). Gli impianti fotovoltaici hanno la possibilità di accedere al **Sistema dello Scambio sul Posto (SSP)** per potenze entro i 200 kW.



Il funzionamento dei dispositivi fotovoltaici si basa sulla capacità di alcuni materiali, opportunamente trattati, di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua, senza bisogno di parti meccaniche in movimento.

Il componente base di un **impianto fotovoltaico (FV)**, nel quale avviene la conversione della radiazione solare in energia elettrica, è la cella fotovoltaica. Questa è costituita da una sottile fetta (**wafer**) di materiale semiconduttore, che si comporta come una minuscola batteria.

Più celle connesse in serie elettrica costituiscono un **modulo fotovoltaico**.



I moduli vengono poi assemblati meccanicamente in una struttura chiamata **pannello fotovoltaico**. I moduli in commercio, attualmente più diffusi (con una superficie di circa 0,5 m<sup>2</sup>), prevedono tipicamente 36 celle. I moduli rappresentano il componente elementare di qualsiasi tipo di sistema fotovoltaico. Un insieme di moduli collegati in serie costituisce **una stringa**. Mettendo in parallelo più stringhe si ottiene il cosiddetto **generatore fotovoltaico**.

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI



Il materiale che oggi viene quasi universalmente adottato per la costruzione delle celle è il **silicio**. Esso viene utilizzato in diverse forme: monocristallino, policristallino, amorfo. Le celle in **silicio monocristallino** sono costituite da materiale più puro che garantisce un rendimento mediamente più elevato rispetto a quelle in silicio policristallino; sono di colore omogeneo, blu scuro e di forma generalmente ottagonale. Le celle al **silicio poli o multicristallino** sono prodotte con materiale meno puro e quindi con un'efficienza di qualche punto inferiore; la colorazione è blu cangiante. La maggiore o minore efficienza è indicativa della quantità di moduli (e quindi di superficie) necessaria a raggiungere una determinata potenza. Inoltre la tipologia di materiale influenza anche la produzione di energia: i pannelli in silicio monocristallino producono bene alle basse temperature e sono più efficienti dei policristallini a fronte di intensità solari minori. I pannelli policristallini, invece, producono bene alle alte temperature e, al contrario dei monocristallini, garantiscono una maggiore efficienza a fronte di irradiazione solare maggiore. La scelta fra l'uno e l'altro tiene in considerazione principalmente la disponibilità di superficie.



Un'alternativa è rappresentata dal **silicio amorfo**. In questo caso è improprio parlare di celle fotovoltaiche: il silicio, infatti, viene depositato uniformemente, in piccole quantità su superfici plastiche o vetrate, formando un unico film sottile dello spessore di qualche millesimo di millimetro. I moduli sono disponibili sia nella tradizionale struttura rigida, con telaio di rinforzo, sia in rotoli flessibili per impianti ad alta integrazione architettonica. I pannelli in silicio amorfo hanno una colorazione omogenea, di solito nera o comunque scura, e sono leggeri e flessibili. Sono principalmente utilizzati per applicazioni architettoniche avanzate, in cui è ritenuta importante la resa estetica. Il costo dei moduli in silicio amorfo è inferiore del 30-40% rispetto alle tecnologie in silicio cristallino.

Il mercato attuale è principalmente governato dalle tre alternative descritte (mono o policristallino e amorfo); tuttavia, la ricerca si sta spingendo verso materiali nuovi e promettenti. In particolare, l'interesse attuale è rivolto da un lato verso lo sviluppo di materiali alternativi al silicio che garantiscano comunque un livello di efficienza comparabile e, dall'altro, verso il tema delle celle organiche. Le alternative più rilevanti al silicio sono costituite:

- dal **Tellurio di cadmio (CdTE)**, materiale con cui attualmente è garantita la realizzazione di pannelli (made in Italy) con rese del 10-12 % ma che punta a raddoppiare
- dal **Diseleniuro di indio-rame (CIS) e diseleniuro di indio-rame-gallio (CIGS)**, materiale che registra rendimenti del 10 % circa, un costo di produzione molto competitivo, una notevole diffusione commerciale, buone prestazioni in condizioni di bassa temperatura e scarsa luminosità (simile alle caratteristiche del silicio monocristallino). La versione CIGS prevede l'aggiunta di gallio che ne migliora ulteriormente le prestazioni
- dall'**Arseniuro di gallio (GaAs)**, materiale con rendimenti del 30 % a fronte di costi proibitivi.

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Una delle frontiere più interessanti della ricerca sul fotovoltaico riguarda l'utilizzo di **composti organici del carbonio**. Il principio di funzionamento delle celle organiche imita artificialmente il processo della fotosintesi clorofilliana. Le sperimentazioni si stanno concentrando su un'ampia gamma di materiali, che vanno dai pigmenti a base vegetale, ai polimeri, a materiali ibridi organico/inorganico. L'aspetto più interessante delle celle organiche è che utilizzano al meglio le potenzialità della tecnologia a film sottile: i minimi spessori permettono la realizzazione di pannelli su substrati plastici flessibili e leggeri. Si tratta di moduli realizzabili con le metodologie proprie dell'industria della stampa, semplicemente depositando la pellicola fotovoltaica su ampie superfici, evitando i più energivori trattamenti richiesti dal silicio. Le efficienze al momento più alte (circa l'11%) sono state raggiunte con le celle *dye sensitized* (DSSC), realizzate con molecole sintetiche e caratterizzate dalla presenza di nanocristalli in biossido di titanio. Le celle completamente organiche, invece, hanno efficienze ancora poco soddisfacenti, ma in prospettiva risultano molto interessanti anche per la completa eco-compatibilità dei materiali utilizzati.

La caratteristica di variabilità di tensione e corrente continua in uscita dal generatore fotovoltaico al variare dell'irraggiamento solare e della temperatura delle celle, mal si adatta alle specifiche dell'utenza, che richiede prevalentemente corrente alternata, per alimentare direttamente il carico o per il collegamento alla rete elettrica di distribuzione. Nei sistemi fotovoltaici il generatore è quindi collegato, a seconda dei casi, alla batteria, agli apparecchi utilizzatori o alla rete, tramite un sistema di controllo e condizionamento della potenza, che prende il nome di **BOS (Balance of System)** e che è costituito da uno o più dei seguenti dispositivi:

- **l'inverter**, che trasforma la corrente continua in corrente alternata e la rende disponibile agli utilizzi più comuni, dall'illuminazione, all'alimentazione degli elettrodomestici e, soprattutto, ne consente l'allaccio alle reti elettriche di città;
- **il regolatore di carica**, che consente di erogare energia in modo uniforme e senza i salti dovuti alle variazioni dell'irraggiamento solare;
- le eventuali **batterie di accumulo**, necessarie laddove si richieda un utilizzo locale dell'energia prodotta senza possibilità di connessione alla rete cittadina.





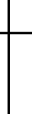
L'energia elettrica che un sistema fotovoltaico è in grado di produrre in un certo periodo dipende da diverse variabili:


- **il sito di installazione**. Le condizioni climatiche locali (come nuvolosità, nebbie, ecc.) hanno una certa influenza sui valori di insolazione, ma è la latitudine che costituisce il vero fattore determinante. In Italia si hanno regimi solari medio-alti e con consistenti variabilità tra regioni settentrionali e meridionali.

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Per esempio, su base annua, l'insolazione media giornaliera è dell'ordine di 3.6 kWh/m<sup>2</sup> in località della pianura padana, 4.7 kWh/m<sup>2</sup> al centro-sud e arriva a 5.4 kWh/m<sup>2</sup> in Sicilia.

- **la disposizione dei moduli fotovoltaici.** La posizione dei moduli fotovoltaici rispetto al sole influisce notevolmente sulla quantità di energia captata e quindi sulla quantità di energia elettrica generabile. Per questo è sempre necessario valutare quale sia la disposizione dei moduli che permetta di massimizzare l'energia solare raccolta annualmente sulla loro superficie. I parametri che direttamente governano il fenomeno sono: l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzonte (**angolo di tilt**) e l'orientamento rispetto a Sud (**angolo di azimut**).

FATTORE DI CORREZIONE K DOVUTO AD ORIENTAMENTO ED INCLINAZIONE DEI MODULI					
Inclinazione		0°	30°	60°	90°
Orientamento					
Est		0,93	0,90	0,78	0,55
Sud - Est		0,93	0,96	0,88	0,66
Sud		0,93	1,00	0,91	0,68
Sud - Ovest		0,93	0,96	0,88	0,66
Ovest		0,93	0,90	0,78	0,55

 Posizioni sconsigliate, a meno di particolari esigenze di carattere tecnico ed architettonico

Fonte: Progetto Perseus  
Regione Emilia Romagna

Alle latitudini italiane, la soluzione ottimale risulta pertanto, in generale, quella con orientamento SUD ed inclinazione di 30° circa.

Il sistema fotovoltaico perde circa il 10-12 % nell'applicazione su superficie orizzontale e ben il 35 % nell'applicazione su facciata verticale. L'influenza dell'angolo di azimut è invece minore. In un intervallo compreso tra -45° e +45° rispetto al Sud (angolo di azimut compreso tra sud-est e sud-ovest) i valori della radiazione incidente non si discostano significativamente dal valore massimo, con una perdita pari a solo il 5%.

Le perdite totali di un impianto FV sono costituite dalla somma di una serie di perdite: quelle della cella, del modulo, delle stringhe, del sistema di controllo della potenza e di conversione, eventualmente anche dell'accumulo.



## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

L'**efficienza di conversione** di un modulo è il rapporto tra l'energia elettrica in corrente continua misurata ai suoi morsetti e l'energia solare incidente sulla superficie del modulo stesso.

Questa dipende, oltre che da fattori di tipo tecnologico, anche da fattori di tipo fisico come la radiazione incidente e la temperatura (il riscaldamento porta a un peggioramento delle prestazioni degli stessi). In genere vengono utilizzate condizioni di riferimento standardizzate per la valutazione delle performance dei collettori.

Per esempio, un modulo con superficie pari ad 1 m<sup>2</sup>, con un'efficienza del 10% genera, in condizioni standard, una potenza elettrica (corrente continua) ai suoi morsetti di 100 Watt; 10 m<sup>2</sup> di moduli forniscono 1 kWp di potenza elettrica. Un modulo di 1 m<sup>2</sup>, con un'efficienza del 12,5 % genera in condizioni standard una potenza elettrica di 125 Watt. In questo caso per produrre 1 kWp sono necessari 8 m<sup>2</sup> di moduli.

A parità di potenza di picco, quindi, la superficie necessaria per produrre tale potenza è tanto più alta quanto più bassa è l'efficienza di conversione dei moduli.

Nella tabella seguente si riportano i valori di efficienza media per i moduli in commercio in silicio cristallino e amorfo.

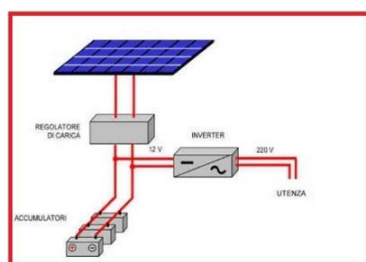
Entro l'anno dall'installazione il **silicio amorfo** subisce un crollo di efficienza del 20% circa, poi resta statico per i successivi 20 anni. I pannelli in **silicio cristallino**, invece, evidenziano un calo di rendimento dell'1% medio annuo; quindi, a 10 anni dall'installazione, la resa ammonterà al 90% del rendimento da scheda tecnica e, a 20 anni, si ridurrà fino all'80%.

Tipo di Silicio	Efficienza
Cristallino	12 - 20 %
Amorfo e film sottili	6 - 12 %

L'efficienza di conversione del BOS raggiunge solitamente il 75-85%. A titolo di esempio, in un anno di funzionamento in Italia Centro-Settentrionale, un impianto su piano inclinato di 30° e orientato a sud è in grado di produrre circa 160 kWh/ m<sup>2</sup> anno, ossia circa 1.300 kWh/kW

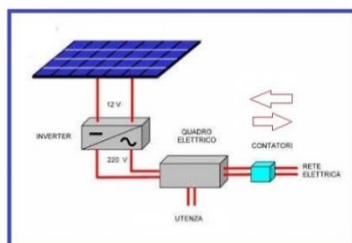
Una classificazione generale degli impianti fotovoltaici può essere fatta tra due principali categorie di sistemi:

- **gli impianti isolati (stand-alone).** Questi vengono normalmente utilizzati per elettrificare aree o utenze difficilmente collegabili alla rete perché ubicate in zone poco accessibili, ma anche per le utenze con bassissimi consumi di energia che non rendono conveniente il costo dell'allacciamento alla rete (ad esempio particolari sistemi di arredo urbano-parchimetri, lampioni, pannelli informativi). In questi casi, l'energia prodotta dal sistema FV viene utilizzata direttamente e immagazzinata in batterie di accumulo da cui si può prelevare il quantitativo necessario per le ore notturne o di scarso irraggiamento solare.



Impianto stand alone

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI



Impianto grid connected



- **Sistemi collegati alla rete elettrica (grid connected).** Il principio della connessione alla rete elettrica è quello dello scambio in due direzioni di energia elettrica: se la produzione del campo FV eccede per un certo periodo il consumo dell'utenza servita, l'eccedenza viene inviata alla rete. Nelle ore in cui il generatore non fornisce energia elettrica sufficiente per soddisfare il carico, l'elettricità è acquisita dalla rete. Questo meccanismo è reso possibile dalla presenza di contatori che contabilizzano l'energia scambiata nelle due direzioni. La presenza della rete assicura, da un lato, la disponibilità continua di energia elettrica e, dall'altro, permette che l'elettricità prodotta dal sistema non venga mai sprecata. Il fatto di non dover disporre di sistemi di accumulo a batterie garantisce in generale, per i sistemi grid-connected, una maggiore affidabilità di funzionamento, una minore necessità di manutenzione, un costo minore a parità di potenza e un minore impatto ambientale in fase di utilizzo, (che nei sistemi isolati è dovuto appunto alla necessità di periodico rinnovo e conseguente smaltimento del parco batterie). Il collegamento in rete permette inoltre di eseguire un dimensionamento più elastico. In un impianto isolato, l'insieme di campo FV e batterie deve essere in grado di assicurare la copertura completa dei consumi annuali dell'utenza servita. In un impianto collegato alla rete, invece, questo non è necessario, poiché la rete agisce come un accumulo di capacità praticamente illimitato. Ciò permette di basare il dimensionamento, quando necessario, su altri parametri come la superficie effettivamente disponibile su una certa copertura o il budget iniziale disponibile per l'investimento.

Gli **impianti integrati** stanno assumendo, in questi ultimi anni, una notevole importanza e la possibilità di collegamento con la rete elettrica di distribuzione li rende estremamente interessanti: utilizzano i tetti o le facciate degli edifici come superficie di base per i moduli FV, sono in genere preposti al soddisfacimento della domanda di energia elettrica delle utenze su cui vengono installati (produzione distribuita) e quindi caratterizzati da potenze relativamente basse (da qualche kW fino a qualche decina di kW).

Diversi sono i vantaggi legati **all'integrazione edilizia dei sistemi fotovoltaici**:

- l'edificio diventa energeticamente attivo consentendo rilevanti **risparmi sulle bollette** e ridimensionando l'immissione nell'atmosfera di grandi quantità di CO<sub>2</sub>
- i sistemi integrati **producono energia** esattamente **dove viene richiesta**, con una notevole riduzione delle perdite di distribuzione
- la produzione di energia elettrica nelle **ore di insolazione** permette di **ridurre la domanda** alla rete durante il giorno, proprio quando si verifica in genere la richiesta maggiore



## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

- i moduli del sistema FV possono diventare **elementi costruttivi**, sostituendo parti costitutive dell'edificio, diminuendone il costo globale
- non esistono impatti aggiuntivi perché gli impianti integrati sfruttano **superfici che altrimenti rimarrebbero inutilizzate**
- un sistema FV integrato è in grado di migliorare le **prestazioni termofisiche dell'edificio** con conseguente riduzione dei consumi energetici complessivi dello stesso.

L'adozione di questi sistemi permette la diffusione tra gli utenti di una maggiore **coscienza energetica**: l'utente è contemporaneamente anche produttore in proprio e, pertanto, è portato a consumare energia in maniera più consapevole.

Gli impianti FV integrati possono essere classificati a seconda della disposizione dei moduli nell'edificio:



- **Copertura piana praticabile.** È la tipologia più flessibile per gli interventi di retrofit fotovoltaico poiché non presenta vincoli di orientamento e il sistema può essere disposto in maniera ottimale, in modo che la sua resa energetica annuale sia massima. L'effetto estetico può risultare mediocre. La posa in opera è semplice e prevede il dimensionamento di zavorre che garantiscano la tenuta al vento dei pannelli.
- **Copertura a falda inclinata.** L'inclinazione e il rendimento non sono liberi e la resa energetica può non essere ottimale. Nel caso di coperture a falda sono possibili due sistemi di retrofit fotovoltaico:
  - il **sistema viene sovrapposto** alla copertura preesistente, svolgendo esclusivamente funzione energetica. Basso costo di installazione (componentistica pre-assemblata)
  - il **sistema viene integrato nel rivestimento della copertura** che, quindi, viene parzialmente sostituito dai moduli fotovoltaici garantendo una maggiore resa estetica e architettonica nell'edificio; il costo di installazione risulta però in genere più elevato. Ovviamente questa soluzione si presta in particolar modo in tutti quei casi in cui l'intervento di retrofit fotovoltaico si inserisce in un intervento generale di ristrutturazione o rifacimento del manto di copertura, oppure per realizzazioni su edifici di nuova costruzione.
- **Sistemi di facciata.** Le facciate di un edificio possono fornire grandi superfici e la possibilità di realizzare impianti di elevata valenza estetica. I sistemi FV possono essere usati come elementi protettivi di rivestimento e finitura delle pareti esterne o utilizzati come schermi solari per l'ombreggiamento delle finestre, contribuendo quindi al miglioramento delle prestazioni termofisiche dell'edificio.

## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

### LIVELLI DI COSTO

Il prezzo medio complessivo di un impianto fotovoltaico connesso alla rete dipende sostanzialmente dalla taglia dell'impianto e dal tipo di tecnologia utilizzata (silicio monocristallino, policristallino o amorfo, altre tecnologie comprese tra i "film sottili").

Per quanto riguarda la prima variabile, va detto che il **costo medio per kWp è inversamente proporzionale alla dimensione dell'impianto**: più elevata è la sua taglia, più si diluiscono i costi di progettazione e installazione, di inverter, cavi, mano d'opera ecc. Per una potenza compresa fra 1 e 3 kW il costo di impianto è compreso fra 2.000 €/kW e 2.500 €/kW. Per taglie maggiori, fra 3 e 5 kW, invece, il costo decresce attestandosi fra i 1.500 €/kW e i 2.000 €/kW.

Il costo iniziale d'investimento viene in media coperto dal risparmio energetico in circa 10 - 15 anni.

### I MECCANISMI DI INCENTIVO

Da alcuni anni non è più attivo il sistema del Conto Energia per impianti fotovoltaici che ha incentivato il grosso della potenza attualmente installata in Italia. Tuttavia è possibile applicare, alla realizzazione di impianti FV, il sistema delle detrazioni fiscali per le ristrutturazioni edilizie che permettono, in 10 rate annuali, di detrarre il 50% dei costi sostenuti per realizzare l'intervento.

Tutti gli impianti fotovoltaici di potenza nominale compresa tra 1 kW e 200 kW, connessi alla rete, possono scegliere di usufruire del **servizio di Scambio sul posto**, in alternativa alla vendita dell'energia prodotta. In base a questo schema di contratto l'energia prodotta dagli impianti, eccedente rispetto alla quota autoconsumata dall'utenza, viene immessa in rete, ritirata dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) che la vende sul mercato elettrico. I guadagni derivanti dalla vendita dell'energia vengono conguagliati nella fattura elettrica dell'utenza. Il Servizio di Scambio sul Posto (SSP) è una specifica forma di autoconsumo realizzata immettendo in rete l'energia elettrica prodotta ma non direttamente autoconsumata, per poi prelevarla in un momento differente da quello in cui avviene la produzione. In altri termini, la rete, in un sistema in Scambio sul Posto, rappresenta una sorta di accumulo virtuale dell'energia elettrica prodotta in surplus e a cui utente può attingere in funzione delle proprie necessità. Lo scambio sul posto non è propriamente un incentivo ma è uno fra i possibili sistemi di valorizzazione economica dell'energia elettrica prodotta dall'impianto.

Tuttavia, in base a come è strutturato, il conguaglio in fattura viene effettuato considerando le voci seguenti:

- Valore economico dell'energia immessa in rete in un determinato lasso temporale
- Valore economico dell'energia prelevata dalla rete da parte dell'utenza, in riferimento allo stesso lasso temporale
- Costo dei servizi di rete, restituiti all'utenza in proporzione alle quantità di energia scambiata con la rete.



## IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Il ristoro del costo dei servizi di rete, indirettamente, rappresenta il vero incentivo nascosto nel sistema di SSP; l'impianto infatti fruisce della rete gratuitamente per una parte di energia prodotta, immessa in rete e consumata successivamente.

### PRODUZIONE ENERGETICA E CONVENIENZA ECONOMICA

Un impianto tipico, realizzato architettonicamente integrato sulla falda di un'abitazione monofamiliare, ha una potenza di 3 kW<sub>p</sub>. Se installato con esposizione a sud, in zona centro-nord Italia e con un angolo di tilt ottimizzato (35°), la produzione stimabile è pari a 3.750 kWh/anno, equivalenti a 1.250 kWh/kW<sub>p</sub>. Il costo dell'impianto finito è pari a 6.000 €. L'intervento fruisce delle detrazioni fiscali del 50% che garantiscono un incentivo di 3.000 € ripartito in 10 rate annuali da 300 €, detratte dalla tassazione a cui il contribuente è soggetto.

L'utenza a cui l'impianto è allacciato, nell'arco di un anno ha un consumo medio di circa 3.000 kWh, di cui circa 1.000 kWh sono collocati in fase diurna e i residui in fase serale.

I 1.000 kWh consumati nelle ore diurne sono un autoconsumo dell'energia prodotta dall'impianto FV e, quindi, un mancato prelievo dalla rete. Economicamente corrisponde a un risparmio di circa 200 €/anno.

I 2.000 kWh residui, invece, vengono prelevati dalla rete a fronte di una spesa sopportata pari a circa 400 €/anno.

L'impianto FV produce energia in surplus rispetto all'autoconsumo da parte dell'utenza, che viene immessa in rete, equivalente a 2.750 kWh. Questa energia viene valorizzata circa 410 €. Il ristoro della quota servizi, invece, ammonta a 200 €/anno.

Complessivamente, quindi, l'utente spende 400 €/anno per il prelievo dalla rete e guadagna (o risparmia) 810 €/anno inclusivi della valorizzazione dell'autoconsumo, del ristoro della quota servizi e dell'immesso in rete eccedente l'autoconsumo. Sulla base di questi valori e applicando le detrazioni fiscali, il rientro economico di investimento avviene in 8,5 anni.