

# POTENZIALITÀ, COSTI E INCENTIVI PER L'ENERGIA FOTVOLTAICA IN ITALIA

Prof. Ing. Sergio Brofferio

Dipartimento di Elettronica e Informazione  
Politecnico di Milano  
Email: [sergio.brofferio@polimi.it](mailto:sergio.brofferio@polimi.it)

## SOMMARIO

Il lavoro, motivato dall'importanza strategica, politica, sociale ed economica, delle energie alternative, discute alcuni aspetti dell'energia elettrica fotovoltaica. Si propongono metodi e strumenti di valutazione quantitativa delle potenzialità dell'energia solare per facilitare a Comuni ed altri Enti decisioni sufficientemente supportate con il censimento delle superfici idonee all'installazione di sistemi fotovoltaici.

Si richiamano quindi i sistemi di generazione elettrica fotovoltaica distribuita ed integrata con altre fonti, analizzando caratteristiche, problematiche, modalità di gestione, prestazioni e costi. Si confrontano i costi dei sistemi fotovoltaici con quelli di fonti non rinnovabili tenendo conto anche delle esternalità locali e globali.

Si esaminano infine le modalità di incentivazione nei principali paesi europei per evidenziare analogie e differenze con quanto si fa del nostro paese che, nonostante le innegabili potenzialità climatiche, ha ancora notevoli difficoltà a promuovere lo sviluppo dell'energia fotovoltaica e si accenna all'importanza strategica del controllo degli incentivi.

Per suggerire modalità d'incentivazione equa si propone un semplice modello matematico per quantificare i sussidi all'energia fotovoltaica: il modello indica che, nelle attuali condizioni di costi e prezzi alle utenze, si può sovvenzionare circa l'1% della produzione totale con un sovrapprezzo al prezzo di mercato del 2%. Il "Conto Energia" è quindi da affiancare a Certificati Verdi, offerti per importi minori, così da stimolare la diffusione degli impianti fotovoltaici e permettere al nostro paese di colmare un ritardo che nuoce anche alla nostra competitività.

## 1. INTRODUZIONE

Il lavoro prende in esame l'Energia elettrica Fotovoltaica (EFV) per valutarne le potenzialità nelle nostre condizioni climatiche, le tecnologie disponibili (impianti e rete elettrica) per discutere prestazioni e costi ed infine le incentivazioni per superare vincoli economici e legislativi.

Il mantenimento e lo sviluppo delle nostre strutture socio-economiche sono condizionati dalla disponibilità delle fonti di energia. Queste, costituite per più dell'80% da fonti non rinnovabili, sono risorse finite anche se la loro quantità e qualità sono un tema controverso e dibattuto. Inoltre il massiccio utilizzo del petrolio, il crescente costo di estrazione e di distribuzione, il suo impatto ambientale e non da ultimo le difficili situazioni geopolitiche, hanno stimolato la consapevolezza della necessità di utilizzare fonti rinnovabili e meno inquinanti.

Un futuro sostenibile non può quindi prescindere dalle energie alternative che, a parte quella geotermica, derivano direttamente o indirettamente dal sole. Fra queste l'EFV può rappresentare in un futuro prossimo un'utile fonte sussidiaria anche se, almeno per ora, in quantità modeste [1].

Un'ulteriore motivazione a questo studio è la constatazione dello scarso utilizzo dell'energia solare, in particolare fotovoltaica, in Italia rispetto a paesi vicini e meno favoriti.

Nella prossima sezione si discutono potenzialità e metodi di valutazione, in particolare con il censimento delle superfici idonee. Nella terza sezione si richiamano le principali caratteristiche e tipologie degli impianti per l'EFV, si presentano e discutono i costi di realizzazione e di produzione con le diverse voci di costo, incluse quelle di riciclo dei moduli. Nell'ultima sezione si confronta la situazione di alcuni paesi europei con quella italiana, si richiama il programma "Tetti fotovoltaici" della Regione Lombardia e si propone un semplice modello per il calcolo del finanziamento delle sovvenzioni all'EFV.

## 2. LE POTENZIALITÀ DELL'ENERGIA FOTVOLTAICA

Per valutare le potenzialità di produzione di EFV è necessario raccogliere diverse informazioni: le caratteristiche climatiche locali che determinano l'insolazione, la potenza ottenibile dai sistemi fotovoltaici e le aree delle superfici idonee alla loro installazione.

La densità media d'energia solare al suolo alla latitudine dell'Italia Centrale è di circa 1.100 kW/m<sup>2</sup>. Le ore efficaci per la produzione fotovoltaica sono circa 1000 h/y (ore/anno) mentre l'insolazione annuale siderale è di circa 4380 h/y. Le mappe d'insolazione solare al suolo permettono un affinamento della stima [2].

Gli attuali sistemi fotovoltaici producono energia elettrica sfruttando alcune parti dello spettro solare con un rendimento al netto delle perdite d'impianto di circa il 10% (con le migliori tecnologie il rendimento complessivo supera il 13%). Si può quindi assumere che i sistemi fotovoltaici (PV) abbiano una potenza di picco, con il miglior orientamento, di circa 0,125 kWp/m<sup>2</sup> (kWp è l'acronimo di kW di picco) [3] e che quindi producano energia elettrica con una densità media annuale di 0,125 MWh/(m<sup>2</sup>y) corrispondente a 0,125 TWh/(km<sup>2</sup>y).

L'attuale richiesta di energia elettrica nazionale è di circa 320 TWh/y (perdite di rete incluse) per cui sarebbe sufficiente, tenendo conto anche delle superfici ausiliarie agli impianti PV, meno del 2% del territorio nazionale per soddisfarla! Per una valutazione veramente realistica delle potenzialità è necessario stimare con buona approssimazione le superfici idonee all'installazione di impianti PV, tener presente i vincoli paesaggistici e architettonici e l'idoneità strutturale degli edifici o di altre strutture di supporto. La valutazione richiede pertanto accurate stime statistiche basate anche su censimenti ed è discussa di seguito.

## 2.1. Per un Censimento delle Superfici Idonee

Per valutare le potenzialità dell'EFV è necessario prendere in considerazione superfici molto diverse: dai tetti e facciate di edifici fino alle superfici di terreno non altrimenti utilizzabili. Si può far uso di dati architettonici, catastali, cartografici e di telerilevamento, soprattutto ottico, preelaborati ed estrapolarli per avere dati statistici attendibili. In questo lavoro ci si limita alla stima delle superfici delle coperture e facciate delle diverse tipologie di edifici.

La Tabella I riporta alcuni dati d'ingresso per la valutazione delle potenzialità dell'EFV. Il Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN) fornisce i consumi per ogni tipologia di utenza. Dal censimento ISTAT del 2001 si ha il numero di edifici per tipologia (si è fatta un'approssimazione considerando gli edifici non abitativi nell'unica tipologia Industria e Terziario di GRTN). Infine il rapporto dell'International Energy Association (IEA) del 2002 fornisce i dati statistici delle superfici degli edifici (tetti e facciate) al netto degli ingombri (Building Integration Photovoltaic, BIPV) anche per il nostro paese [3].

Tipologie di consumo (2003)	Consumo annuale (TWh/y)	n. edifici (10 <sup>3</sup> )	Sup. (km <sup>2</sup> ) Tetti BIPV	Sup. (km <sup>2</sup> ) Facciate BIPV
Industria e Terziario	230	859	2128	97
Consumi domestici	65	11.227	410	154
Agricoltura	5	N.D.	114	14
Altri	N.D.	N.D.	11	4
<b>Totali</b>	<b>300</b>	<b>12.087</b>	<b>763</b>	<b>269</b>

Tabella I - Consumi nazionali (GRTN, 2003), numero di edifici (ISTAT 2001), superfici totali ponderate (BIPV) per tetti e facciate [3]; N.D.: non dato

L'IEA fornisce, anche per l'Italia, le rese annuali di EFV degli edifici: 0,135 TWh/km<sup>2</sup> per le coperture e 0,083 TWh/km<sup>2</sup> per le facciate. La Tabella II riporta le rese per ogni tipologia di consumo e di produzione PV sugli edifici. I risultati assoluti e percentuali sono molto soddisfacenti, forse fin troppo! Per i consumi domestici ed agricoli si avrebbe l'autosufficienza nel primo caso e la fornitura di energia dal settore agricolo verso gli altri.

Per una valutazione realistica delle effettive potenzialità locali dell'EFV è necessario conoscere le aree delle coperture degli edifici delle diverse tipologie, le idoneità architettoniche e d'insolazione mediante stime dirette.

Un'altra valutazione statistica delle potenzialità degli edifici abitativi utilizza i dati ISTAT (vedi NOTA) e stima in 15,8 m<sup>2</sup>/abitante il suolo disponibile. Si può così calcolare la percentuale P<sub>PV</sub> di energia elettrica producibile con moduli PV sugli edifici abitativi con la semplicissima formula:

$$P_{PV} = (S \cdot KI \cdot D / E) \cdot 100$$

dove:

S= superficie abitativa coperta per abitante: S= 15,8 m<sup>2</sup>;

KI= fattore di idoneità (percentuale della copertura idonea al fotovoltaico): KI= 33% valore ottenibile da [3];

D=densità di EFV annuale prodotta: D= 100 kWh/(m<sup>2</sup>y);

E= consumo di energia elettrica per abitante: E=1.150 kWh/y, ricavabile dai dati del GRTN.

Con i predetti valori si ha che gli edifici abitativi possono produrre circa il 45% dei consumi domestici. Questo risultato non tiene conto della potenzialità delle facciate e differisce dai risultati IEA, ma appare più realistico.

Tipologia Consumi (2003)	TWh/y Tetti	TWh/y Facciate	Potenziale EFV (TWh/y)	FV/ consumo (%)
Industria e Terziario	30,38	8,05	38,83	16,88
Consumi domestici	55,35	12,78	68,13	104,81
Agricoltura	15,39	1,18	16,57	331,45
Altro	1,54	0,35	1,89	N.D.
<b>Totale</b>	<b>103,06</b>	<b>22,37</b>	<b>125,43</b>	<b>41,81</b>

Tabella II Potenziale dell'EFV per le tipologie di consumo

Come esempio di valutazione per tipologia di edifici si è stimata la potenzialità delle tettoie delle stazioni di servizio autostradali: dalla guida del Touring Club se ne sono rilevate circa 250 e stimando una superficie media netta di 250 m<sup>2</sup> per stazione si ha un potenziale di circa 8 GWh/y (0,3% del consumo nazionale).

I risultati statistici sono molto soddisfacenti, ma come ogni statistica non entra nello specifico delle situazioni locali dove si devono prendere decisioni con criteri soprattutto economici.

La valutazione delle potenzialità dell'EFV è fondamentale per contribuire alla definizione di Piani Energetici Ambientali e per questo si ritiene che un censimento delle coperture idonee degli edifici sia non solo utile, ma necessario. In Appendice si suggerisce una metodologia di valutazione deterministico-statistica a tre livelli di dettaglio: Regionale, Comunale e di Edificio con elaborazioni informatiche su cartografie, in particolare comunali, misure aerofotogrammetriche e rilevazioni dirette sugli edifici.

**NOTA** Per la stima della superficie di copertura degli edifici abitativi si è fatto riferimento al numero medio di piani per edificio (2,23) e si sono utilizzati i due seguenti metodi:

- dal numero delle abitazioni (27.000.000) e dalla superficie media dell'abitazione: (96 m<sup>2</sup>) si è ricavata una superficie totale degli edifici abitativi pari a 1.162 km<sup>2</sup>;
  - dalla superficie totale delle abitazioni (2.010.294 km<sup>2</sup>) si ha immediatamente la superficie totale di 901 km<sup>2</sup>.
- Per le stime si è utilizzato il valore più piccolo.

## 3. I SISTEMI FOTOVOLTAICI ED I LORO COSTI

I sistemi PV sono costituiti da tre parti generalmente ben distinte [4]: il campo PV che genera l'energia elettrica in corrente continua, gli apparati di conversione e, generalmente, d'interconnessione alla rete elettrica pubblica e infine i supporti meccanici.

Il campo PV è organizzato su tre livelli: la cella, il modulo, la stringa. Le celle sono collegate in serie per costituire i moduli le cui dimensioni devono essere tali da permettere un facile maneggiamento per l'installazione e lo smantellamento. I moduli hanno attualmente una vita utile di 20-30 anni e sono dimensionati per resistere a forti idrometeorie. Le stringhe collegano i moduli in serie o in parallelo. E' possibile montare le stringhe su supporti ad inseguimento automatico del sole: si ha un aumento di rendimento del 30% inclusa l'energia di movimentazione. Più stringhe, anche con diverso

orientamento, costituiscono il campo che produce l'energia avviata all' utilizzatore finale e/o al gestore della rete elettrica.

La conversione da corrente continua ad alternata può avvenire a livello di stringa (si semplifica l' architettura) o di campo (si privilegia il rendimento).

Il ciclo solare giornaliero e le perturbazioni atmosferiche non permettono, ovviamente, una produzione costante di energia elettrica mentre è essenziale fornire un servizio continuativo; per questo sono state introdotte diverse tipologie di sistemi:

- ad isola con accumulatori ;
- in rete (grid-connected) senza accumulo locale di energia;
- in rete, integrati ad altre fonti di energia elettrica, con eventuale accumulo.

I sistemi in rete incontrano il maggiore interesse tecnico economico e sono generalmente inseriti in impianti per la Generazione Distribuita di energia elettrica [5]. Questi sono realizzati per fornire potenze di almeno 100kW e raccolgono l'energia (in generale a 400V in continua) prodotta da diversi tipi di generatori (fotovoltaici, eolici, microidroelettrici, a biomasse, a gas, celle a combustibile, diesel, ecc.) in modo da garantire le richieste di potenza delle utenze locali.

In vista di future e rilevanti installazioni è opportuno tenere presente la necessità di modificare la struttura della rete pubblica da albero a maglia (per permettere una distribuzione multidirezionale dell'energia) e di risolvere problemi di stabilità del sistema di trasmissione e distribuzione. Tutto ciò richiederà un efficiente coordinamento fra fornitori di energia e gestori della rete elettrica pubblica.

#### I costi del sistema PV.

Le valutazioni prendono come riferimento un impianto da 1 kWp; attualmente (2004) il costo di realizzazione (trasporto, montaggio e tasse esclusi) è di circa 6.000€kWp per impianti fino ai 10 kWp che scende, ma in modo non sostanziale, per impianti di potenza maggiore. Valutazioni recenti portano il costo delle celle, incluso quello dell' energia per produrre il modulo [6], a circa 2€Wp pari all' 80% del costo del modulo. In Tabella III si riportano le diverse voci di costo di mercato ed aggregate stimate.

Componenti	Percentuale costo	Costo di mercato	Costo aggregato stimato
	%	€Wp	€Wp
Moduli	70	4,2	2,75 (*)
Apparati elettrici	20	1,2	1,2
Supporti meccanici	10	0,6	0,6
<b>Totale</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>4,55</b>

(\*) Il costo comprende anche quello di riciclo del modulo

Tabella III - Costi dell' impianto PV (2004), trasporto e montaggi esclusi

I costi diretti comprendono la manutenzione, le riparazioni e il riciclo. Se l'inclinazione e le piogge sono sufficienti, non è richiesto alcun intervento per il mantenimento della trasparenza della superficie assorbente. L'elemento più critico è il convertitore DC/AC per il quale si richiede sovente una sostituzione durante la prima fase del ciclo di vita.

Il riciclo o lo smaltimento dei moduli, in particolare dei metalli rari che non devono essere dispersi nell' ambiente, ha costi che sono stati valutati [7] in 0,25€Wp, cioè circa il 4% del costo di mercato 2004. Il tempo di recupero energetico

(energy pay back time), attualmente di circa 3 anni alle nostre latitudini, si riduce a 1,5 con l'energia prodotta dal riciclo [7].

In conclusione si osserva che il costo di un impianto PV è, per ora, determinato dal costo dei moduli PV, che il costo dell' energia necessaria produrli è largamente compensata da quella prodotta nel ciclo di vita e che in futuro il costo percentuale del modulo rispetto a quello dell'impianto si ridurrà ulteriormente richiedendo maggiore attenzione ai costi degli altri componenti del sistema.

### **3.1. Il costo del kWh fotovoltaico**

In Italia, tenendo conto degli attuali rendimenti e durate degli impianti, si possono produrre in media 1.250 kWh/kWp installato. Se si includono i costi di riciclo e si trascurano i costi di gestione, manutenzione e di smaltimento si ottiene un costo unitario di 0,25€kWh; se si aggiunge un interesse annuo del 3% per il capitale investito il costo aumenta a circa 0,32€kWh.

Il costo del kWh PV dipende dalle condizioni climatiche e dalla tipologia d'impianto. Si possono considerare due casi estremi (interessi compresi): un sistema nel Sud Italia ha un costo di circa 0,27€kWh e nel Nord Italia di circa 0,39€kWh. Il costo remunerativo per la produzione di EFV in Italia si può quindi stimare a 0,40€kWh; si ricorda che il prezzo di mercato per utenze domestiche è attualmente 0,10÷0,15 €kWh.

L'analisi dei costi e benefici del fotovoltaico deve tenere conto che le perdite di trasmissione e distribuzione dell'energia in rete ammontano a circa il 6,5%; ciò comporta una modesta riduzione del costo globale del kWh prodotto con moduli fotovoltaici; con questa ulteriore voce i costi (interessi compresi) dei due casi precedenti divengono 0,26€kWh per il Sud Italia e 0,37€kWh per il Nord Italia.

Inoltre se le fonti di generazione decentrata dell'energia elettrica diverranno percentualmente significative si potrà avere un ulteriore beneficio perché si ridurrà la necessità di aumentare la capacità delle linee elettriche di trasmissione e di distribuzione.

#### Il confronto fra i costi

La pianificazione energetica rivolta ad un futuro sostenibile deve tenere conto, nel confronto dei sistemi di produzione di energia elettrica, anche dei costi esterni. In Tabella IV si riportano le voci di costo dell' energia da fonti primarie (petrolio e gas) e da fotovoltaico [8].

Fonte	Costo Industriale (c€kWh)	Costi esterni locali (c€kWh)	Costo diretto (c€kWh)	Emissione CO <sub>2</sub> (kg/kWh)	Costo (incluso CO <sub>2</sub> ) (c€kWh)
primaria	3,15	1,05	4,2	0,469	5,6
PV	43,4	0,15	43,55	0	43,55

Tabella IV - Costi industriali, incluse le esternalità. Dati del 2001 [8]

Per produrre 1kWh di energia elettrica occorrono circa 0,215kg di petrolio. Il costo del petrolio è 0,043 €kWh al costo di 30\$/barile (corrispondenti a 0,2€kg). E' quindi evidente che i costi dell' energia primaria di Tabella IV sono inferiori a quelli attuali. Se si assume che l'emissione di CO<sub>2</sub> per kWh sia la principale causa dell'effetto serra con un costo stimato in 30 €t(CO<sub>2</sub>) [ €tonnellata di anidride carbonica prodotta dalla combustione] si può calcolare il costo globale dell'energia elettrica prodotta da idrocarburi fossili.

Energia fotovoltaica		Costo industriale (2004) (c€/kWh)	Costo al netto di tutti i benefici (2004) (c€/kWh)
Energia da combustibili Primari (2001)	(c€/kWh)	32	26÷37
Costo senza effetto serra	4,2	7,6	5,9÷8,8
Costo con effetto serra	5,6	5,7	4,5÷6,6
Prezzo italiano minimo per uso domestico (2004)	10÷15	2,1÷3,2	1,7÷3,7

Tabella V- Rapporto fra costi dell' EFV e quella primaria con diverse voci di costo

In Tabella V sono stati calcolati i rapporti fra il costo dell'EFV e quello da fonti fossili per le diverse voci di costo e condizioni climatiche, si tenga presente che il costo del petrolio non è stato attualizzato.

In conclusione si può affermare che a seconda delle condizioni il rapporto fra il costo del kWh fotovoltaico e il prezzo all'utente domestico è compreso fra 1,7 e 3,7 con il valor medio, per l'Italia, di 2,7.

#### 4. GLI INCENTIVI ALL' ENERGIA FOTOVOLTAICA

E' utile attivare una sinergia fra ricerca, sviluppo tecnologico e utilizzo operativo per rimuovere i vincoli che limitano al diffusione dell' EFV. Finanziamenti alla realizzazione e prezzi d'acquisto sovvenzionati sono gli strumenti economici più utilizzati; le due seguenti Tabelle riportano i dati d'incentivazione e sviluppo per alcuni paesi europei.

Paese	Sussidio o finanziamenti (k€/ kWp)	Prezzo sovvenzionato (€/kWh)	Note (2004)
Austria	3,5	0,60	Scaduti
Francia	da 4,6 a 6,1	da 0,155 a 0,305	
Germania		da 0,45 a 0,62	Rinnovati
Italia	fino al 70%	nessuno	Per alcune regioni
Spagna	da 19% a 70%	da 0,216 a 0,396	
Svizzera		0,07	+ Certificati Verdi

Tabella VI- Forme di incentivazione dell'EFV in alcuni Paesi europei

Paese	2000 (MWp)	2003 (MWp)	2003 in rete	2003 a isola	Incr.% 00-03	Wp/ abitante
Austria	4,9	16,83	14,66	2,17	244	2,08
Francia	11,3	21,71	4,39	17,32	92	0,36
Germania	113,8	397,60	375,00	22,60	249	4,85
Grecia	0,9	3,25	1,11	2,14	261	0,31
Italia	22	26,02	14,34	11,69	18	0,45
Spagna	12,1	27,26	13,20	14,06	125	0,69

Tabella VII- Andamento della potenza fotovoltaica installata in alcuni paesi dell'EU [9,10]

I paesi europei adottano forme d'incentivazione differenti , aggiornate di anno in anno per tenere conto della dinamica dei costi degli impianti PV (Tabella VI).

Austria e Germania (Tabella VII) hanno avuto un incremento superiore al 200% nonostante condizioni di insolazione inferiori a quelle di altri paesi grazie a lungimiranti politiche energetiche, migliori risorse

economiche e tecnologie e non da ultimo maggiore consapevolezza civica. Nei paesi che si affacciano sul Mediterraneo la situazione è più variegata con una maggiore varianza nelle tipologie degli impianti e negli incrementi temporali.

In Italia, negli anni passati, sono stati dati opportuni finanziamenti alla realizzazione (Programma "Tetti Fotovoltaici"), attualmente limitati ad alcune Regioni. Si ha un conguaglio alla produzione mediante accredito della potenza fornita alla rete, ciò nonostante il nostro incremento è decisamente il più modesto fra i paesi europei considerati.

I Certificati Verdi [11] sono stati introdotti anche nel nostro paese e possono contribuire sostanzialmente alla diffusione dell'EFV purchè si abbassi l'importo minimo dell' offerta, attualmente limitata ad impianti di potenza superiore a 100KWp. Si suggerisce di ammettere impianti con potenza di almeno 30 kWp che garantiscano una produzione di almeno 30 MWh/y se tale è il limite superiore per essere ammessi a fruire del "Conto Energia". In tal modo si fornirebbe una duplice motivazione ai piccoli produttori di EFV a vantaggio anche della decentralizzazione della produzione di energia elettrica.

La scarsa diffusione dell'EFV nel nostro paese è giustificabile da parte di un investitore che deve avere un ritorno a breve termine, ma non da parte della comunità e dei pianificatori che devono attuare piani di sviluppo a medio e lungo termine, con opportune strategie eliminando, ovunque possibile, imposizioni fiscali, come ad esempio IVA e tasse di produzione.

Per contribuire alla valutazione degli incentivi si riportano di seguito alcuni dati che si riferiscono ai finanziamenti nella Regione Lombardia e quindi si presenta un semplice modello d'incentivazione per la valutazione dei prezzi sussidiati.

#### 4.1. I bandi della Regione Lombardia

La Regione Lombardia nell'ambito del programma "Tetti Fotovoltaici" ha indetto due bandi nel 2001 e nel 2003 dell'importo complessivo di 12.000.000 € per finanziare l'installazione di sistemi PV per una potenza totale di circa 3 MWp [12]. I contributi, suddivisi in parti uguali fra soggetti pubblici e privati, sono costituiti da una quota fissa per ogni provincia ed il rimanente assegnato proporzionalmente alla popolazione.

Le richieste di contributo, numerose e generalmente ben documentate, sono state valutate in base ad alcuni criteri fra cui:

- 1) tipologia, potenza e costo dell' impianto (per quelli integrati negli edifici si è introdotto un fattore moltiplicativo d'incentivazione di 1,5 nel primo bando e di 1,3 nel secondo);
- 2) la percentuale massima del costo per il contributo richiesto è stata del 75% nel primo bando e del 70% nel secondo;

La Tabella VIII riassume alcuni dati significativi anche per evidenziare l'evoluzione dei bandi; si osserva che :

- 1) le domande ammesse sono aumentate e così pure la percentuale di quelle finanziate;
- 2) gli importi unitari richiesti nel secondo bando sono stati più realistici avvicinandosi ai costi effettivi;
- 3) il contributo percentuale è diminuito per poter finanziare un maggior numero d'impianti.

A fronte di questi dati confortanti sono stati evidenziati aspetti negativi dovuti soprattutto a:

1. complessità delle procedure burocratiche; si suggerisce la sola comunicazione al Comune;

2. mancanza di autocertificazione dell' idoneità dei moduli PV comprendente la dichiarazione della durata garantita e dell' anno di produzione.

Anno	Ammesse Domande (n.) Potenza (MWp)	Finanziate Domanda (n.) Potenza (kWp)	Importi Richiesti (€ kWp)	Contributi totali (k€) unitari (€kWp)	Contributi in % del richiesto
2001	601 3,39	184 938	5.407	4.437 4.730	87
2003	838 4,08	429 2.223	6.756	7.559 3.400	50

Tabella VIII - Dati relativi ai bandi "Tetti Fotovoltaici" della Regione Lombardia

Il programma "Tetti Fotovoltaici" è stato un' esperienza necessaria, anche per il monitoraggio e le successive valutazioni sperimentali, in vista dell' introduzione del Conto Energia (prezzi sovvenzionati al kWh fotovoltaico) che solo permetterà una diffusione consapevole della produzione di EFV nel nostro Paese.

#### 4.2. Un Modello per il Calcolo dell' Incentivazione

Si propone che l' incentivazione sia sostenuta dall' utilizzatore finale con un opportuno sovrapprezzo dell' energia per sovvenzionare una determinata percentuale della produzione nazionale sotto forma di energia fotovoltaica, con procedure analoghe a quelle della maggior parte dei paesi che promuovono l' utilizzo delle energie alternative.

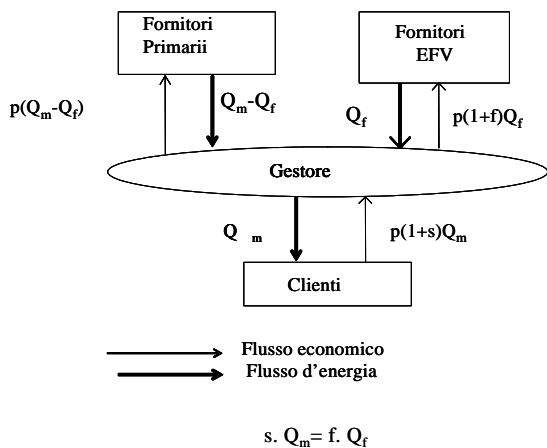


Fig. 1 Modello per la determinazione dell' incentivazione alla produzione di Energia Fotovoltaica.

Il modello (Fig. 1) stabilisce l' equilibrio dei flussi economici che coinvolgono i quattro attori: i fornitori di energia elettrica primaria, i fornitori di EFV, gli utilizzatori (clienti) e il gestore che deve garantire l' equilibrio economico.

Questo è espresso dalla semplice relazione:

$$p(Q_m - Q_f) + p(1+f)Q_f = p(1+s)Q_m$$

dove  $Q_m$  e  $Q_f$  sono rispettivamente l' energia richiesta dai clienti e l' EFV prodotta,  $p$  è il prezzo del kWh primario,  $s$  è il

sovrapprezzo al cliente e  $f$  l' incentivo al produttore di EFV, entrambi espressi in frazioni di  $p$ .

Dall' equilibrio si ricava:

$$f \cdot Q_f = s \cdot Q_m$$

in cui le variabili indipendenti sono generalmente  $Q_m$  e  $s$ . Incentivazione e produzione fotovoltaica risultano quindi inversamente proporzionali. Ad esempio si può pagare l' EFV al triplo del prezzo di mercato per soddisfare l' 1% del consumo nazionale con un sovrapprezzo del 2% al prezzo di mercato.

Si ritiene che il modello sia valido per la situazione attuale in cui l' EFV ha un ruolo marginale, ma per questo non meno importante per i futuri sviluppi.

#### 4.3. Il Controllo delle Incentivazioni

Da quanto precede si constata la necessità di sostanziali incentivazioni che devono essere efficaci e efficienti. Per questo si richiede un sufficiente grado di controllo a priori ed a posteriori.

L' efficacia richiede un' opportuna e trasparente legislazione e regolamentazione per assicurare all' energia fotovoltaica il buon fine dei finanziamenti erogati.

L' efficienza è visibile nella regolamentazione che richiede la puntuale e completa certificazione dell' impianto in fase di progetto, realizzazione e collaudo soprattutto nel caso di sistemi in rete (si ricordano le norme CEI e TÜV). In questo caso le normative sui contatori sono indispensabili per le corrette misure di produzione e per evidenziare eventuali frodi. Un controllo approssimato della produzione può essere facilmente fatto con i dati d' insolazione regionali e quelli dell' impianto.

L' incentivazione dell' EFV mediante il "Conto Energia" e i "Certificati Verdi" è quindi attualmente realistica e necessaria alla diffusione dell' EFV nel nostro paese purchè questi strumenti siano equi e correttamente gestiti.

#### 5. CONCLUSIONI

Il lavoro ha richiamato dati climatici e territoriali ed ha constatato, in base ai dati statistici globali, le ottime prospettive per il nostro paese. Non si ritiene che i dati statistici siano sufficienti alla stesura di Piani Energetici Regionali o Comunali per cui si suggeriscono studi e informazioni più dettagliati per valutare le effettive potenzialità d' installazione di sistemi PV nel nostro paese.

E' ragionevole ritenere che in Italia i sistemi fotovoltaici saranno installati soprattutto sugli edifici in quanto non esistono grandi estensioni di terreno utilizzabili per la sola EFV.

Si sono poi richiamati gli attuali sistemi fotovoltaici evidenziando le tipologie per la generazione distribuita come le più interessanti dal punto di vista tecnico-economico. Fintanto che le potenze in gioco sono modeste non si individuano problemi di gestione, ma quando le potenze e le oscillazioni di produzione saranno considerevoli si richiederanno modifiche alla struttura della rete elettrica, alla sua gestione e controllo per garantire la qualità e la quantità delle forniture.

I costi dell' energia elettrica fotovoltaica sono ancora superiori a quelli delle altre fonti, ma rispetto ai prezzi per le utenze domestiche il rapporto (inferiore a 3) è decisamente contenuto anche tenendo conto dei costi di riciclo.

Per suggerire opportune forme d'incentivazione si è esaminata anche la situazione negli altri paesi europei: il confronto ha evidenziato il nostro ritardo.

Si è proposto un semplicissimo modello che permette di valutare, in prima approssimazione, gli oneri economici necessari ad incentivare l'energia fotovoltaica mediante il "Conto Energia": il risultato è che, nelle attuali condizioni di costi e prezzi, si può sovvenzionare circa l'1% della produzione totale con un sovrapprezzo del 2% al prezzo di mercato e quindi stimolare, assieme all'offerta di Certificati Verdi di minore importo, la diffusione degli impianti fotovoltaici sugli edifici.

Infine si ritiene che in assenza di un'opportuna strategia di sovvenzioni alla ricerca, allo sviluppo industriale ed all'utilizzazione il nostro paese non sarà in grado di competere, quando l'energia fotovoltaica diverrà economicamente conveniente, per mancanza di capacità gestionale, realizzativa e produttiva. E' quindi necessario che le nostre autorità attivino, al più presto, strumenti legislativi che permettano alle energie alternative non inquinanti di essere una componente significativa di un futuro sostenibile.

### Ringraziamenti

L'autore ringrazia il collega Prof. Enrico Tironi per lo scambio d'esperienze sui sistemi di generazione distribuita e l'Architetto Filippo Ragone della Direzione Generale Risorse Idriche e Servizi di Pubblica Utilità della Regione Lombardia per i dati sul Progetto "Tetti Fotovoltaici".

### Riferimenti

- [1] B. Lomborg, *The Skeptical Environmentalist- Measuring the Real State of the World*, Cambridge University Press, 1998
- [2] F. Barbaliscia, M. Buomis, P.G. Masullo, *Caratteristiche dell'insolazione in Italia*, Note Recensioni e Notizie, Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, Vol. XXXIX, n. 4, ottobre-dicembre 1990, pp. 135-146
- [3] Report IEA PVPS T7-4 : 2002 Summary [http://www.oja-services.nl/iea-pvps/products/download/rep7\\_04.pdf](http://www.oja-services.nl/iea-pvps/products/download/rep7_04.pdf)
- [4] F. Groppi and C. Zuccaro, *Impianti solari fotovoltaici a norme CEI, UTET, Torino 2002*
- [5] G. Celli, R. Cicoria, B. Colombo, R. Faranda, M. Lissandrini, F. Filo, S. Poretta, L. Sfrondini, E. Tironi and G. Valtorta, *La generazione distribuita e le tendenze dell'evoluzione della rete di distribuzione*, Atti della Giornata di Studio su "Generazione Distribuita: evoluzione e prospettive" Milano 8 maggio 2003 organizzata da AEI Gruppo Specialistico Distribuzione Pubblica
- [6] K.E. Knapp, T.L. Jester, *An Empirical Perspective on the Energy Payback Time for Photovoltaic Modules*, Solar 2000 Conference Madison, Wisconsin
- [7] K. Wambach, *Recycling of Solar Cells and Photovoltaic Modules*, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 giugno 2004, Parigi
- [8] G. De Leo, L. Rizzi, A. Caizzi and M. Gatto, *The Economic Benefits of the Kyoto Protocol*, Nature, Vol. 413, ottobre 2001 (Supplementary Information)
- [9] EPIA (European Photovoltaic Industry Association) [www.epia.org](http://www.epia.org)
- [10] *Photovoltaic Energy Barometer* (aprile 2004): Progetto EU "EurObserver'ER"
- [11] <http://www.grtn.it/ita/fontirinnovabili/certificativerdi.asp>

[12] C. Cormio, M. Dicorato, A. Minola e M. Trovato, *La pianificazione energetica regionale*, Rivista Automazione, Elettronica Informatica Telecomunicazioni (AEIT) Vol. 90, novembre 2003

[13] A. Biasion, S. Dequal e A. Lingua, *A New Procedure for the Automatic Production of True Orthophotos*, Atti XVIIIth International Symposium of CIPA, Potsdam (D) 2001, pp. 269-276.

### Appendice

#### Un metodo per il Censimento delle Coperture d'Edifici per la Produzione di Energia Elettrica Fotovoltaica

Il metodo opera a tre livelli: Regionale, Comunale e d'Edificio (Tabella A). La cartografia in scala 1:20.000 permette l'estrazione automatica delle superfici degli agglomerati e il calcolo dell'idoneità d'insolazione geografica. Per individuare i singoli edifici è necessario integrare l'elaborazione cartografica con un'elaborazione d'immagine delle aerofotografie facilmente realizzabile a livello comunale.

Livello	Elemento	superficie	Cartografia in scala	Altri strumenti
Regionale	Agglomerato	100 km x 100 km	1:20000	aerofotografie
Comunale o agglomerato	Edificio	10 km x 10 km	1:1000	aerofotografie
Edificio	Tetto	100 m x 100 m	1:100	Misuratori di coni d'ombra

Tabella A- Strumenti per il censimento dell'energia solare

A questo livello si utilizza una cartografia almeno in scala 1:2.000; se questa è costituita da più livelli (layer) di rappresentazione (suolo, edifici, quote di gronda e colmo, ecc.) è possibile il calcolo automatico di dati caratteristici dei singoli edifici come superficie coperta, orientamento e inclinazione dei tetti e idoneità d'insolazione locale (ombre di edifici nelle vicinanze). I risultati di questa rilevazione permettono di valutare la potenzialità di sfruttamento dell'energia solare con una discreta approssimazione e possono essere utilizzati per:

- individuare gli edifici di maggiore interesse per procedere alla valutazione a livello di edificio;
- stimare a livello regionale la potenzialità degli agglomerati.

Per quanto riguarda la valutazione delle caratteristiche delle coperture è necessario integrare la cartografia con le ortofoto per allineare e sovrapporre i due tipi d'immagine e determinare le tipologie dei tetti con un algoritmo di riconoscimento d'immagini.

A livello d'edificio si richiede l'analisi tridimensionale dei tetti mediante ortofoto ricavate da viste aerofotografie stereoscopiche [13] oppure, più semplicemente, con rilevazioni in loco nel caso sia richiesta la valutazione dell'idoneità strutturale del supporto edilizio (idoneità architettonica). Per valutare l'efficienza energetica dell'impianto solare è necessario determinare, con sistemi d'ausilio alla progettazione disponibili sul mercato, anche il cono delle ombre.