

RISORSE & AMBIENTE.

Impianti fotovoltaici connessi alla rete, prime misure dirette di produzione e rendimento

RISULTATI SODDISFACENTI MA LA CRESCITA DEL SETTORE DIPENDE DAGLI INCENTIVI

Nel 2002 erano stati realizzati e connessi alla rete in Sardegna i primi impianti fotovoltaici per utenze domestiche e per imprese artigiane. E per la prima volta è stato possibile misurarne direttamente la produzione e metterla a confronto con i rendimenti calcolati in base ai dati meteorologici disponibili per la regione.

Nel gennaio 2000 la delibera 224/00 dell'Autorità per l'Energia ed il Gas aveva aperto la possibilità di stipulare i cosiddetti contratti di "Net Metering", ovvero di cessione alla rete dell'energia prodotta da impianti fotovoltaici monofase fino ai 5 kWp e trifase fino ai 20 kWp. L'energia prodotta è contabilizzata da un apposito contatore dando luogo ad un *credito di corrente* al quale attingere al momento del consumo (in pratica ogni kWh prodotto abbatte un kWh consumato). Questo implica che l'utenza continui ad essere servita dal precedente contratto (con tutte le sue caratteristiche di potenza), mentre l'impianto fotovoltaico lavora parallelamente e senza entrare direttamente in relazione con i consumi.

Questa tipologia di installazione ha dato il via alla diffusione del fotovoltaico in ambito urbano, secondo la filosofia della *generazione distribuita*, che prevede la diffusione di tanti piccoli generatori elettrici vicini all'utenza piuttosto che di grandi centrali lontane dall'utenza. Gli impianti hanno bisogno di una manutenzione minima e non necessitano di accumulatori (la rete stessa costituisce un accumulo di capacità infinita).

Valutazione teorica della produzione

La corretta progettazione di un impianto fotovoltaico comporta una previsione di rendimento basata sulla disponibilità, statisticamente misurata, di radiazione solare sul piano orizzontale (a tale scopo si fa riferimento ad atlanti specifici o alla norma UNI 10349). L'energia solare sul piano orizzontale deve essere riportata all'orientamento e all'inclinazione della superficie dei moduli (il calcolo è descritto nella norma UNI 8477).

La radiazione incidente sul piano dei moduli viene convertita in corrente secondo una complessa relazione che tiene conto dello spettro della luce incidente, del riscaldamento delle celle, del loro invecchiamento, della qualità del collegamento tra le celle, eccetera.

Il parametro di riferimento per la potenza di un impianto fotovoltaico è il Watt di picco⁽¹⁾, la cui misurazione fa riferimento ad una situazione standard di radiazione e di temperatura ambiente: in pratica un generatore fotovoltaico da 1000 Wp per ogni ora di insolazione standard produce 1 kWh. Questa naturalmente deve intendersi come la produzione massima in condizioni ottimali.

Gli atlanti di insolazione riportano per la Sardegna una irradiazione media giornaliera sul piano orizzontale di 4,4 kWh/giorno per metro quadro, che cresce sino a circa 5 kWh/giorno per metro quadro su un piano inclinato di 30° e rivolto a sud.

Misure di rendimento sul campo

Il 27 novembre del 2002, a Capoterra (CA), in località Poggio dei Pini, è stato collegato alla rete elettrica il primo impianto fotovoltaico di un utente privato in Sardegna. L'impianto, realizzato con 7 moduli fotovoltaici monocristallini da 150 Wp per una superficie captante di 8,8 m² (vedi scheda

GLI AUTORI.

L'ingegner **Guido Coraddu** ed il dott. **Massimo Coraddu** si occupano di impianti per il risparmio energetico e lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia. tel. 070.304644 e-mail: coraddu@tiscali.it

Gli autori ringraziano per la preziosa collaborazione i proprietari degli impianti, il sig. Giampaolo Lai e l'ing. Silvano Usai.

1) Il Wp (Watt di picco) è definito come potenza istantanea misurata con una luce di intensità pari a 1000 w/mq filtrata in modo da assumere le caratteristiche spettrali della luce del sole dopo l'attraversamento di 1,5 strati atmosferici, la cosiddetta "massa d'aria" (AM), con la temperatura del dispositivo fotovoltaico pari a 25°C.

**Tabella 1. Impianto fotovoltaico a Poggio dei Pini:
calcolo teorico di produzione
(orientamento sud, inclinazione 10°)**

	insolazione KWh/m ² giorno	produzione media giornaliera KWh	produzione mensile prevista KWh
gennaio	3,28	2,29	71
febbraio	4,24	2,94	82
marzo	5,84	4,09	127
aprile	6,87	4,74	142
maggio	7,89	5,44	169
giugno	8,42	5,82	174
luglio	8,46	5,87	182
agosto	7,62	5,25	164
settembre	6,27	4,35	130
ottobre	4,80	3,38	105
novembre	3,50	2,48	74
dicembre	3,02	2,10	65
totale anno			1.486

numero 1), è dotato di un *data logger* scaricabile da pc attraverso una interfaccia RS232. I dati relativi a tutto il 2003 sono stati analizzati attraverso un apposito software, permettendoci così di realizzare le prime misure di rendimento effettivo su un impianto installato.

Il calcolo teorico di rendimento, effettuato sui dati metereologici di Capoterra, fornisce la previsione⁽²⁾ riassunta nella tabella 1.

Il 2003 è stato un anno caratterizzato da condizioni atmosferiche particolarmente variabili, con una abbondanza di precipitazioni che si è prolungata nel periodo primaverile. L'estate è stata straordinariamente calda, cosa che ha provocato un abbassamento del rendimento delle celle fotovoltaiche. Le misure rilevate sono riassunte nella tabella 2.

L'anno di riferimento può perciò considerarsi chiuso con una produzione leggermente inferiore al previsto, 1.360 kWh circa contro i 1.480 stimati, con una differenza di 120 kWh che rientra nello scarto atteso ($\pm 10\%$).

Osservando le medie stagionali si può osservare come lo scostamento sia verificato in primavera (marzo, aprile e maggio, circa -10%), in agosto (un -15% senz'altro da attribuire al caldo anomalo) ed in ottobre (-14%). Complessivamente le misure seguono l'andamento previsto.

**Tabella 2. Impianto fotovoltaico Poggio dei Pini:
misure della produzione
(orientamento sud, inclinazione 10°)**

data della lettura	numero giorni	totale KWh prodotti alla data di lettura	KWh prodotti nell'intervallo di lettura	produzione Kwh/giorno
24/03/2002	79	286	286	3,62
04/04/2003	11	332	46	4,18
12/05/2003	38	520	188	4,95
24/06/2003	43	752	232	5,39
24/07/2003	30	913	161	5,36
24/08/2003	31	1063	150	4,84
24/09/2003	31	1193	130	4,19
24/10/2003	30	1279	86	2,86
24/11/2003	31	1351	72	2,32
26/12/2003	32	1416	65	2,03
07/01/2004	12	1443	27	2,25

2) Una procedura di calcolo previsionale è illustrata in "Impianti solari fotovoltaici a norma CEI" (Groppi e Zuccaro, edizioni UTET 2000), parte C, capitolo 2. I dati metereologici utilizzati sono quelli riportati su "La radiazione solare globale al suolo in Italia" (Petrarca, Cogliani e Spinelli, edizioni ENEA 2000). L'efficienza media complessiva dei moduli è $h_{mod} = 12\%$, quella del sistema è $h_{sist} = 78\%$ (che tiene conto della resa di conversione dell'inverter, dello sporco, degli effetti termici, etc.), e il coefficiente di perdita dovuta agli ombreggiamenti è $K=0.84$.

Dal 7 gennaio 2004 l'impianto è stato raddoppiato con una seconda schiera di moduli dello stesso tipo. Il monitoraggio è proseguito e non sono state rilevate differenze di rendimento tra la stringa più vecchia e la nuova. I moduli fotovoltaici sono infatti forniti con una garanzia che copre il degrado delle caratteristiche nominali del 20% in 20 anni, questo perché è possibile che si verifichi un leggero decremento del rendimento dei moduli apprezzabile però solo in tempi dell'ordine del decennio. In generale la potenza di picco del modulo è definita a meno di una tolleranza, e la garanzia viene riferita alla Potenza minima; questo significa che se un modulo ha una tolleranza di ± 10 W la potenza garantita sarà:

$$P_w = (P_n - 10\%) - 20\% - m$$

dove $\pm m$ è la tolleranza di misurazione (tipicamente il 3%). Dunque la garanzia afferma che dopo 20 anni il rendimento nominale di un modulo da 100 W sarà al di sopra di 69,84 Wp.



Scheda 1 - Casa Lai, Capoterra (CA)

Caratteristiche moduli

tipo: monocristallino
 numero: 7
 dimensioni campo: 1600x5600
 marca: BP Solar
 potenza impianto: 1050 Wp
 inclinazione ed orientamento: 10° sud

Caratteristiche inverter

tipo: monofase CEI 11/20
 numero: 1
 potenza: 850 W

Il 31 gennaio 2003 è stato allacciato alla rete il primo impianto fotovoltaico dedicato ad una utenza artigiana in Sardegna (vedi scheda 2). L'impianto si trova a Sinnai (CA) e ha una potenza di 3 kWp con cessione alla rete trifase. Questo impianto non è dotato di data logger. È stata pertanto misurata la sola produzione complessiva annuale, pari a 3.804 kWh contro i 4.250 kWh previsti⁽³⁾, con uno scarto ancora compreso nell'errore ($\pm 10\%$). Si conferma quindi l'affidabilità del calcolo previsionale adottato.

È appena il caso di osservare che, ove sia necessario produrre acqua calda a bassa temperatura, è opportuno affiancare all'impianto fotovoltaico un sistema solare termico di taglia opportuna. Infatti mentre un modulo fotovoltaico riesce a convertire circa il 13% dell'energia solare in energia elettrica, un collettore solare termico, a costi di gran lunga più bassi, converte il 60% della radiazione solare direttamente in acqua calda a bassa temperatura ($\sim 60^\circ\text{C}$). In entrambi i casi esaminati è stata adottata questa soluzione.

Convenienza dell'investimento e prospettive future

Il costo di un piccolo impianto fotovoltaico connesso alla rete è di circa 8000 €/kWp (valutazione riportata dal decreto del ministero per l'ambiente del 16 marzo 2001). La produzione può attualmente essere valutata 0,23 €/kWh, ovvero 310 €/anno per kWp installato. È chiaro che, con questi costi dell'energia elettrica e in mancanza di una incentivazione in conto capitale, avremo tempi di ammortamento per l'investimento molto lunghi (circa 30 anni, comunque entro la vita attesa dell'impianto), che, se possono risultare accettabili per un ente pubblico, difficilmente lo sono per un privato.

Negli ultimi anni vi sono state svariate opportunità per ottenere incentivi alla realizzazione di impianti fotovoltaici, quali, ad esempio, le leggi regionali 28 e 51 e legge nazionale 488. Dal 2001 è stato avviato il programma nazionale *Tetti Fotovoltaici*, specifico per gli impianti connessi in rete. In Sardegna è stato attuato nel 2001: i primi impianti realizzati sono stati collegati alla rete nell'autunno 2003 e sono attualmente oggetto di un monitoraggio i cui risultati saranno prossimamente pubblicati.

Sotto il profilo legislativo vi sono tuttavia importanti novità: il 29 gennaio 2004 è stato approvato il Dlg 387 che accoglie la Direttiva 2001/77/CE sull'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili (prevedendo la possibilità di connettere a rete anche dell'eolico su piccola scala, cosa prima impossibile) e che introduce un nuovo sistema di incentivazione, il cosiddetto "conto energia". Questo sistema, applicabile ad impianti con potenza fino ai 20 kWp, riconosce un valore aggiunto di tutela dell'ambiente, definendo pertanto una tariffa maggiorata per il kWh che consentirà un'equa remunerazione della produzione.

3) Per la procedura di calcolo e i dati meteorologici i riferimenti sono i medesimi del caso precedente. Qui viene utilizzata una efficienza media complessiva dei moduli $\eta_{\text{mod}} = 13\%$, di sistema $\eta_{\text{sist}} = 79\%$ e un coefficiente di perdita dovuta agli ombreggiamenti di $K=0.9$.

Scheda 2 - Coltelleria Usai, Sinnai (CA)**Caratteristiche moduli**

tipo: monocristallino
 numero: 30
 dimensioni campo: 7500x2850
 marca: Helios
 potenza impianto: 3000 Wp
 inclinazione ed orientamento: 15° sud

Caratteristiche inverter

tipo: monofase CEI 11/20
 numero: 3 (connessione trifase)
 potenza: 850 W



Tale regime avrebbe dovuto essere definito nel dettaglio entro 6 mesi dall'entrata in vigore del decreto legislativo 387/03 mediante un decreto attuativo del Ministero per le attività produttive e del Ministero dell'Ambiente. In effetti però l'Autorità per l'Energia ed il Gas, ente preposto a definire gli aspetti quantitativi del valore dell'energia, non si è ancora pronunciato. Tra le proposte per il conto energia al vaglio dei legislatori, almeno due sono molto interessanti:

- valore di 0,90 ¢ del kWh per 10 anni: permetterebbe un rapido rientro dell'investimento dando la possibilità di ricorrere al sistema creditizio per il finanziamento dell'opera;
- valore di 0,60 ¢ del kWh per 20 anni: diminuirebbe i tempi di rientro dell'investimento ma permetterebbe al sistema di produrre a tariffa agevolata per un periodo di tempo più lungo, facendo sì che il valore complessivo della produzione risulti superiore al caso precedente.

In attesa dell'attivazione del *conto energia*, il fotovoltaico in Italia dovrà contare su alcuni nuovi bandi regionali e soprattutto su una specifica incentivazione in conto capitale per l'installazione di impianti presso piccole e medie imprese. In Sardegna, per quanto riguarda il programma Tetti Fotovoltaici, il nuovo bando è stato pubblicato il 27 luglio 2004, con validità tre mesi. Il finanziamento, rivolto a tutta la piccola e media impresa (con esclusione del

settore agroalimentare) copre il 50% a fondo perduto della spesa complessiva per la realizzazione di un impianto connesso a rete e realizzato sopra una struttura edilizia.

La legge nazionale 598 Ambiente, finanziata con 25 milioni di euro, prevede (articolo 5 del decreto ministeriale 337/2000), il finanziamento di interventi di produzione di energia di processo, oltre che con impianti fotovoltaici, anche con impianti eolici, solari termici e da biomassa per la produzione di energia termica.

Per il fotovoltaico la legge consente un finanziamento del 50-60% a fondo perduto sul valore degli investimenti per la realizzazione da parte delle PMI di impianti connessi in rete. Il costo massimo del kWp installato viene fissato a

7.000 euro. Il meccanismo di finanziamento e l'istruttoria delle domande saranno gestiti da MCC spa (ex Mediocredito Centrale) nell'ambito di una convenzione con il Ministero dell'ambiente.

Anche per gli interventi di efficienza energetica stabiliti dai decreti del 24 aprile 2001 potranno essere previsti impianti fotovoltaici. Esistono infatti delle opportunità, soprattutto in riferimento a quelle disposizioni che prevedono la promozione di interventi sull'involucro edilizio, come ad esempio il frangisole fotovoltaico, che è in grado di ridurre in modo considerevole la radiazione solare incidente sulla facciata, abbassando i consumi per il raffrescamento estivo e al tempo stesso produrre energia. Tale applicazione potrà avere un trattamento tariffario agevolato della durata di 8 anni, la cui entità sarà a breve fissata dall'Autorità per l'Energia ed il Gas. I decreti devono ancora entrare in vigore e sono attualmente al vaglio della Conferenza Stato-Regioni.

GUIDO CORADDU
MASSIMO CORADDU