

SVILUPPO E GESTIONE IN QUALITÀ DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO

A. Carullo, F. Ferraris, A. Neri, M. Parvis, A. Vallan

Dip. di Elettronica, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino

alessio.carullo@polito.it

1. INTRODUZIONE

Nell'ultimo decennio si è assistito ad un enorme incremento della produzione di moduli FotoVoltaici (FV), che ha reso disponibile sul mercato differenti tecnologie con diversi costi e prestazioni. Tuttavia, permangono dubbi sull'effettivo comportamento di questi moduli, in quanto i dati forniti dai costruttori solitamente si riferiscono a condizioni ambientali e di irraggiamento che non coincidono con quelle di installazione. Inoltre, al momento sono molto scarse le informazioni relative alla deriva a lungo termine delle caratteristiche dei moduli FV. Da questo punto di vista, uno dei parametri più interessanti è il rendimento, sul cui valore nominale sono basate le stime della producibilità di un impianto FV e del tempo di ammortamento. Una deriva significativa di questo parametro nel corso degli anni andrebbe presa in considerazione al fine di ottenere stime più realistiche. Con l'obiettivo di colmare parzialmente questa assenza di informazione, gli autori hanno sviluppato un sistema di acquisizione dati dedicato al monitoraggio di un impianto FV, prestando particolare attenzione alle problematiche legate alla corretta gestione metrologica del sistema stesso.

2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema realizzato esegue il monitoraggio di dieci impianti di potenza pari a circa 2 kW_p basati su tecnologie differenti: silicio (Si) monocristallino, Si policristallino, *string ribbon* (p-Si), film sottile CIGS (moduli piani e cilindrici), film sottile CdTe, moduli a concentrazione (HCPV). Tre di queste tecnologie (Si-mono, CIGS e CdTe) sono installate sia su supporti fissi sia su inseguitori, mentre i moduli HCPV sono installati su inseguitore. Le tensioni e le correnti attese all'uscita dei moduli FV sono comprese rispettivamente nei campi (100 ÷ 450) V e (0.5 ÷ 6) A. L'uscita di ciascuna stringa di moduli FV è collegata ad un convertitore statico di potenza, con tensione di uscita alternata a 50 Hz e valore efficace nominale di 230 V. Le uscite dei convertitori sono collegate alla rete trifase di distribuzione e l'energia elettrica prodotta è immessa in rete secondo il regime del conto energia.

I parametri stimati per descrivere le prestazioni dei dieci impianti sono di tipo istantaneo e integrale. Alla prima categoria appartengono, ad esempio, la potenza in corrente continua disponibile all'uscita dei moduli FV ed il loro rendimento, mentre esempi di parametri integrali sono l'energia prodotta in un determinato intervallo di tempo e le ore equivalenti [1]. La stima di questi parametri richiede la misurazione di grandezze elettriche, quali tensioni e correnti in continua ed in alternata, e di grandezze ambientali, quali irradianza solare, temperatura, umidità e velocità del vento.

Inizialmente sono state definite le specifiche del sistema di monitoraggio, che sono riassunte nella Tabella 1. Sono state quindi sviluppate le catene di misura delle varie grandezze. Le tensioni continue ed alternate sono condizionate mediante circuiti appositamente realizzati, che includono un

attenuatore resistivo, un amplificatore differenziale ed un amplificatore di isolamento, per garantire l'isolamento galvanico tra impianto e sistema di acquisizione. Per le correnti continue ed alternate è stato sviluppato un circuito di condizionamento basato su di un sensore a effetto Hall, che fornisce intrinsecamente l'isolamento galvanico. Questi circuiti sono realizzati in modo da garantire un'incertezza relativa dello 0.5% dopo un'opportuna

Tabella 1: *I requisiti di misura.*

Grandezza	Campo di misura	Numero di segnali	frequenza di campionamento [kSa/s]	Incertezza di misura
DC	V (100 ÷ 450) V	10	1	1%
	I (0.5 ÷ 6) A	10	1	1%
AC	V 230 V _{rms}	3	25	1%
	I (0.5 ÷ 8) A _{rms}	10	25	1%
Temperatura	aria (-20 ÷ 40) °C	2	1	1 °C
	moduli (-10 ÷ 80) °C	10	1	1 °C
Irradianza solare	(0 ÷ 1500) W/m ²	1	1	5%
Umidità relativa	(10 ÷ 90) %UR	2	1	5 %UR
Velocità/direzione del vento	(0.5 ÷ 50) m/s	2	1	5%

operazione di taratura. La temperatura dei moduli FV è misurata mediante termoresistori Pt1000 in classe A fissati alla superficie posteriore dei moduli stessi. Un circuito di condizionamento a ponte di Wheatstone converte le variazioni di resistenza dei sensori in variazione di segnale elettrico di tensione, garantendo un'incertezza inferiore ad 1 °C nell'intero campo di misura. L'irradianza globale disponibile sul piano orizzontale è misurata tramite un piranometro, con segnale di uscita in tensione e sensibilità nominale pari a 10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$, che è amplificato mediante un circuito a compensazione automatica dell'*offset*. L'irradianza disponibile sul piano dei moduli FV montati su supporti fissi (*tilt angle* di 35°) e su inseguitori è ottenuta attraverso un opportuno algoritmo, che permette di stimare i contributi legati alle componenti diretta e diffusa della luce solare ed alla componente riflessa (albedo). Per le altre grandezze ambientali sono stati impiegati sensori commerciali, che soddisfano i requisiti di incertezza indicati nella Tabella 1. I segnali provenienti dalle varie catene di misura sono inviati ad un cestello PXI (figura 1), nel quale sono installate tre schede di acquisizione dati a 16 bit: una scheda acquisisce i 13 segnali in alternata con frequenza di campionamento pari a 25 kSa/s; i 20 segnali in continua ed i 17 segnali provenienti dai sensori di grandezze ambientali sono acquisiti da altre due schede, con frequenza di campionamento pari a 1 kSa/s, e filtrati digitalmente. Il contributo di incertezza delle schede è tale da non eccedere i limiti indicati nella Tabella 1.

3. GESTIONE IN QUALITÀ DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Il sistema realizzato permette di confrontare le prestazioni delle varie tecnologie e stimarne la deriva a lungo termine. Con questi obiettivi, è indispensabile garantire la riferibilità delle misure ottenute, per cui il sistema di monitoraggio deve essere sottoposto ad un programma di conferma metrologica. A tale scopo, per ogni catena di misura delle grandezze elettriche è stato previsto un ingresso ausiliario (figura 1), da utilizzare in occasione della taratura iniziale e delle verifiche di taratura periodiche [2].

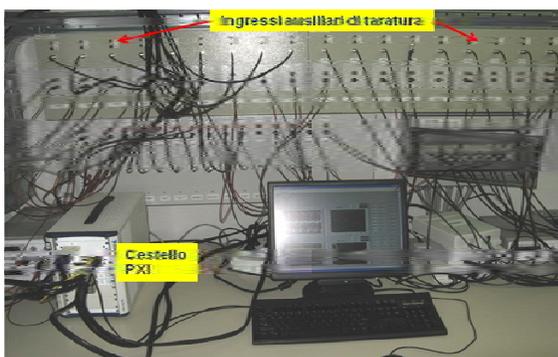


Figura 1: Il sistema di acquisizione.

La taratura iniziale, eseguita a fronte di una sorgente campione di grandezze elettriche, ha permesso di stimare le costanti di taratura delle catene che comprendono i circuiti sviluppati dagli autori. Per i componenti commerciali, sono state utilizzate le costanti di taratura nominali. È stata quindi eseguita la verifica di taratura, mirata a valutare lo scarto tra una serie di valori noti applicati ai vari ingressi e le corrispondenti misure fornite dal sistema. In questa fase, gli scarti ottenuti sono risultati inferiori ai massimi errori

ammessi espressi nella Tabella 1. Per semplificare la conferma metrologica, il sistema è stato predisposto per l'esecuzione di una procedura di verifica di taratura *in-situ*, che permette di minimizzare costi e tempi di fuori servizio. Questa procedura prevede l'impiego di un dispositivo appositamente realizzato munito di interfaccia di rete, quindi programmabile a distanza, che funge da campione di riferimento sia per le grandezze elettriche sia per quelle ambientali [3]. Il sistema di monitoraggio è attivo da aprile 2010 e alimenta una *database*, dal quale sono generati i grafici con gli indici di prestazione dei dieci impianti. A breve, questi grafici saranno pubblicati su di un sito *web*.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] A. Carullo, U. Grimaldi, A. Luoni, A. Neri – *Development and metrological management of a photovoltaic-plant monitoring system - CIPM MRA and other international arrangement*, Torino, November 6-7, 2008.
- [2] A. Carullo, S. Corbellini, A. Luoni, A. Neri - *A Calibrator for Heterogeneous Acquisition Systems: Application to a Photovoltaic-Plant* – I²MTC 2009, 5-7 May, 2009, Singapore, pp. 406-410.
- [3] A. Carullo, S. Corbellini, A. Luoni, A. Neri – *In-Situ Calibration of Heterogeneous Acquisition Systems: The Monitoring System of a Photovoltaic-Plant* – IEEE Tr. On IM, 59(5), May 2010.