

# STATISTICA INFERENZIALE PER SUPERVISIONE DI IMPIANTI FOTVOLTAICI

*S. Vergura, M. Carpentieri*

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione,  
Politecnico di Bari, Via E. Orabona, 4 - 70125 Bari

La norma CEI 82-25;V1-2011 riprende quattro indici della norma CEI EN 61724 per la supervisione del corretto funzionamento di un impianto FotoVoltaico (FV): Reference Yield  $Y_R$ , Array Yield  $Y_A$ , Final Yield  $Y_F$ , Performance Ratio  $PR$ .  $Y_R$  rappresenta il numero di ore equivalenti all'irraggiamento solare in Standard Test Conditions (STC);  $Y_A$  è il numero di ore equivalenti all'energia prodotta in corrente continua alla potenza nominale;  $Y_F$  è il numero di ore equivalenti all'energia prodotta in corrente alternata alla potenza nominale;  $PR$ , pari al rapporto tra  $Y_F$  e  $Y_R$ , tiene conto delle perdite del sistema.

Tali indici, normalizzati, consentono di valutare il funzionamento di un impianto fotovoltaico sul lungo periodo e di confrontare tra loro impianti aventi differenti potenze nominali. Tuttavia, nessuno di essi è in grado di monitorare il corretto funzionamento nel breve periodo (a meno che non ci sia un guasto di grossa entità), né di evidenziare anomalie di funzionamento prima che le stesse evolvano in guasti. Tali indici si rivelano utili per informazioni sull'efficienza degli impianti su larga scala (ad esempio per i report annuali di GSE, ENEA, ecc.), per studi di pianificazione energetica, ma non per valutare le prestazioni del singolo impianto o di sue parti. L'attività di ricerca dell'Unità di Bari ha consentito di mettere a punto efficaci routine di analisi dei dati energetici acquisiti tramite datalogger installati sugli impianti fotovoltaici, di cui un esempio è riportato in Fig. 1. Queste procedure, che si basano principalmente su metodologie di analisi statistiche inferenziali, sono finalizzate ad un puntuale e rapido monitoraggio della prestazione energetica degli impianti. Le procedure sviluppate sono state applicate a diversi impianti fotovoltaici in esercizio, individuando anche anomalie molto lievi, che non sono rilevabili con gli indici precedentemente definiti.

La metodologia di analisi [1] utilizza il dataset delle energie prodotte da ciascuna stringa dell'impianto ed è basata su un algoritmo, che suggerisce, passo dopo passo, lo strumento statistico più appropriato. Il primo passo prevede l'applicazione di Hartigan's Dip Test (HDT), che consente di discriminare se ciascuna distribuzione del dataset è unimodale o multimodale. La verifica dell'unimodalità può essere fatta anche sul base di una relazione tra i valori di asimmetria e curtosi [2-3], ma HDT è ritenuto è più sensibile rispetto ad altri metodi. Il controllo sull'unimodalità è molto importante per decidere se un test parametrico può essere usato o meno per confrontare l'un l'altra le distribuzioni di energia delle stringhe. Infatti, i test parametrici (basati su distribuzioni note) sono più performanti di quelli non parametrici, ma possono essere applicate soltanto quando sono verificate specifiche condizioni, tra cui l'unimodalità. Tra gli strumenti parametrici, uno dei più performanti è ANalysis Of VAriance (ANOVA) [4], che si basa su tre condizioni, di cui una è automaticamente soddisfatta se i dati di energia di ciascuna stringa sono acquisiti in maniera indipendente. Le altre due condizioni sono verificate tramite i test d'ipotesi di Jarque-Bera e di Bartlett. In caso positivo, ANOVA potrà essere applicata all'intero dataset, altrimenti si utilizza un test non parametrico: test di Kruskal-Wallis in assenza dei cosiddetti "outliers", altrimenti il test di Mood. Infine, il test di Tukey eseguire un confronto incrociato tra le distribuzioni di tutte le stringhe, al fine di determinare se e quali stime sono significativamente diverse.

Le procedure proposte non utilizzano i dati ambientali, quindi sono particolarmente utili per il monitoraggio di impianti fotovoltaici installati in contesti urbani, per i quali è frequente l'assenza di centralina di rilevamento dei parametri ambientali, a causa del costo che incide maggiormente per impianti medio-piccoli.

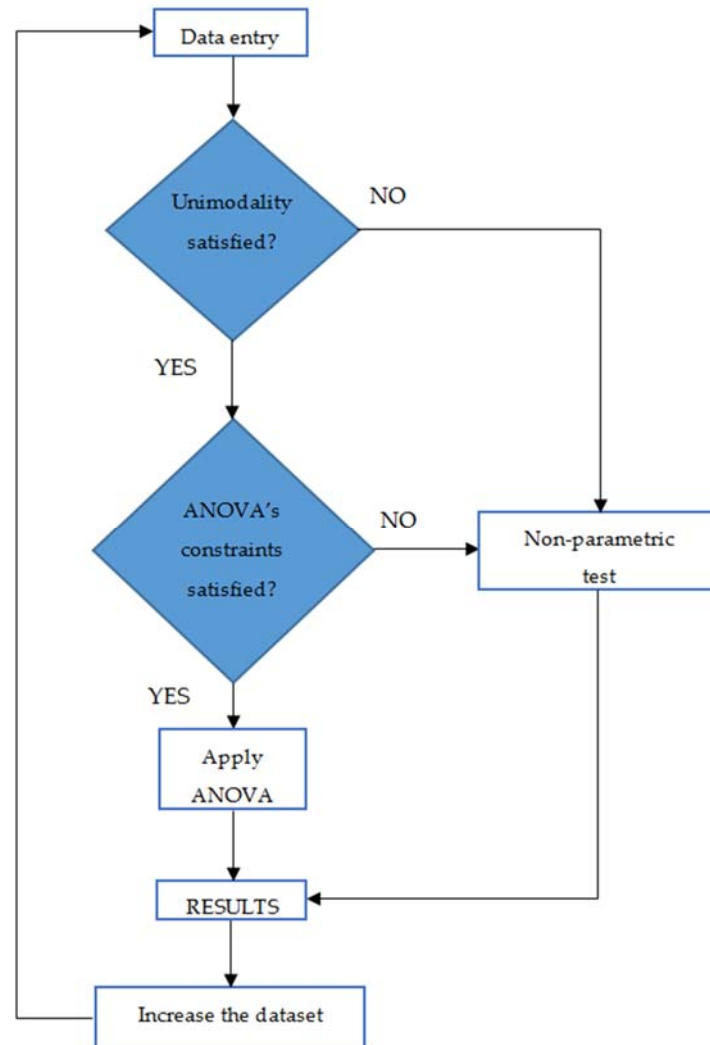


Figura 1. Algoritmo di analisi delle prestazioni energetiche di impianto fotovoltaico.

1. S. Vergura, M. Carpentieri, "Statistics to detect low-intensity anomalies in PV systems", *Energies*, 2018, 11, 30, pp. 1-12, doi:10.3390/en11010030.
2. Rohatgi, V.K.; Szekely, G.J. Sharp inequalities between skewness and kurtosis. *Stat. Probab. Lett.* **1989**, 8, 297–299.
3. Klaassen, C.A.J.; Mokveld, P.J.; van Es, B. Squared skewness minus kurtosis bounded by 186/125 for unimodal distributions. *Stat. Probab. Lett.* **2000**, 50, 131–135.
4. Hogg, R.V.; Ledolter, J. *Engineering Statistics*; MacMillan: Basingstoke, UK, 1987.