

# 1 Abstract

I sistemi fotovoltaici sono diventati uno dei più promettenti fonti di energia rinnovabile negli ultimi anni. Inevitabilmente, questi sistemi affrontano differenti effetti di degradazione associati con le condizioni ambientali e le condizioni operative, difetti di fabbricazione, e condizioni di mismatch che accelerano la degradazione. Il diagnostico di processi di degradazione è diventato un'importante argomento per incrementare l'affidabilità e l'efficienza degli dispositivi fotovoltaici. Questo cerca di massimizzare le performance degli dispositivi solari e contribuire per l'individuazione precoce per migliorare le attività di manutenzione ad evitare perdite di energia e soldi.

La contribuzione di questa tesi è rivolta a proporre strumenti metodologici per realizzare individuazione precoce di effetti di degradazione in dispositivi fotovoltaici. Implementazioni online sono nel faretto perché loro portano il beneficio d'evitare modificazioni nella condizione operativa nominale degli dispositivi fotovoltaici. Per raggiungere quest'obiettivo, questa tesi ha affrontato tre proposte principali per realizzare individuazione precoce di processi di degradazione in dispositivi fotovoltaici.

Il primo approccio ha analizzato una selezione di metodologie analitiche oppure esplicite validate in studi precedenti con un buon performance nella modellazione di dispositivi fotovoltaici in buone condizioni. In questa situazione, l'obiettivo era testare la capacità per individuare effetti di degradazione in pannelli fotovoltaici. L'approccio ha concentrato nella stima del resistore in serie dovuto a che molti fenomeni di degradazione che succedono negli pannelli fotovoltaici sono riflessi in variazioni del resistore in serie del modello elettrico di diodo singolo. Una comparazione di diversi metodi espliciti per stimare i parametri del modello usando curve tensione-corrente sperimentali di un pannello fotovoltaico operando in condizione normale e degradato è stata proposta. Questo ha dimostrato che soltanto pochi metodi espongono sufficiente affidabilità per stimare di maniera giusta i parametri del modello in presenza di degradazione e bassa sensibilità agli fattori ambientali di operazione.

Il secondo approccio si ha spostato a metodi di stima di parametri più complessi come le tecniche di ottimizzazione. In questo ambito, le reti neurali (ANNs) sono usate per isolare difetti e fenomeni di degradazione succedendo negli pannelli fotovoltaici. Nella letteratura è conosciuto che i valori degli parametri del diodo singolo (SDM) associati col dispositivo fotovoltaico sono fortemente correlati con effetti di degradazione e le sue variazioni sono indicatori di degradazione nel pannello fotovoltaico. D'altra parte, i valori degli parametri che permettono identificare le condizioni di degradazione sono sconosciuti a priori. Loro sono diversi da pannello a pannello e fortemente dipendenti dalle condizioni ambientali, il tipo di tecnologia fotovoltaica, ed i processi di fabbricazione. Per questi motivi, per individuare di maniera giusta la presenza di degradazione, gli effetti ambientali ed i processi di fabbricazione devono essere correttamente filtrati.

Questo approccio sfrutta la capacità intrinseca delle reti neurali perceptron multilayer per mappare due effetti nella sua architettura: 1) la relazione non-lineare che esiste tra i parametri di diodo singolo e le condizioni ambientali, 2) gli effetti degli fenomeni di degradazione nella curva tensione-corrente (I-V), e pertanto negli parametri di diodo singolo. La variazione di ogni parametro, calcolata come la differenza tra l'uscita delle due fasi somministra una identificazione diretta del tipo di degradazione succedendo nel pannello fotovoltaico. Il metodo è stato inizialmente testato usando le curve sperimentali di tensione-corrente fornite per il database del National Renewable Energy Laboratory (NREL) dove gli effetti di degradazione sono stati introdotti artificialmente e poi testati usando pochi curve sperimentali tensione-corrente con effetti di degradazione.

Il terzo approccio è rivolto come complemento delle metodologie discusse prima prolungando l'analisi con tecniche nel dominio della frequenza. Questo mostra un approccio innovatore e sfidante per individuare effetti di degradazione in pannelli fotovoltaici usando la tecnica Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Questa tecnica è stata usata nel settore chimico da tanto tempo fa, però, ha una corta storia con dispositivi fotovoltaici. Ricerche precedenti hanno mostrato promettenti risultati con EIS come strumento

per diagnosi di dispositivi fotovoltaici, ma, molti di loro sono stati limitati al livello di celle con condizione controllate di laboratorio.

L'innovazione di questo approccio è sostenuto per due aspetti che differenziano questo lavoro di quelli precedenti: il punto di operazione e le condizioni di operazione ambientali. Prima, questa ricerca è puntata per individuare fenomeni di degradazione in dispositivi fotovoltaici a livello di pannello lavorando in condizione all'esterno usando la tecnica di EIS. Secondo, l'impedenza è misurata lasciando il pannello fotovoltaico in condizione vere di operazione corrispondente a il punto massimo di produzione di energia (MPP) senza alterare la sua produzione energetica. L'implementazione del analisi in questi condizioni sono innovatori, ma, anche sfidanti perché ha bisogno di una implementazione dettagliata e accurata degli metodi nel modo giusto per caratterizzare il processo.

Come fase preliminare la tecnica EIS è applicata in simulazione per analizzare la risposta dinamica attraverso un modello LTSpice dettagliato che include i diodi di by-pass. In questa fase gli effetti di degradazione per analizzare erano condizione parziale di ombreggiamento. I risultati delle simulazioni hanno mostrato particolari cambiamenti nella forma della impedenza in condizioni di ombreggiamento parziale soltanto effettuando l'analisi di EIS col pannello operando nel punto di massima potenza senza misurare tutti i punti della curva tensione-corrente. Questo conferma l'utilità della metodologia EIS anche la necessità di andare più in profondità coi dati sperimentali per ottenere una rappresentazione più affidabile del dispositivo coi suoi propri valori degli elementi rappresentativi.

Come la campagna sperimentale ha avuto diversi sfide e esige passi più complessi, la prima implementazione sperimentale ha usato un singolo pannello. Variazioni dei valori del resistore in serie sono associati con diversi fenomeni di degradazione, dunque, la prima campagna sperimentale ha cercato stimare i cambi in questo parametro usando il modello dinamico adattato alle misure sperimentali di impedenze. Dunque, le misure di impedenze del pannello fotovoltaico sono confrontate in condizioni nominali e degradati. Il risultato mostra che il modello dinamico fornisce un'accuratezza più alta confrontata con la variazione del resistore in serie identificata col modello di diodo singolo, che è il approccio più solito. Così, questo dimostra la fattibilità d'individuare effetti di degradazioni usando il modello dinamico degli pannelli fotovoltaici lavorando in condizioni all'esterno.

Il prossimo passo è consistito in estendere l'analisi ad altri effetti come condizioni parziale di ombreggiamento con due pannelli fotovoltaici collegati in serie. Qui, il numero di pannelli fotovoltaici per analizzare è limitato per limitazioni nel hardware.

L'obiettivo di questa fase era confrontare le misure sperimentali della impedenza in due condizione, condizioni di operazione uniforme e condizioni parziali di ombreggiamento. I risultati preliminari mostrano che le condizioni parziale di ombreggiamento sono rilevabili e separabili usando la tecnica di EIS. Però, la completa caratterizzazione di tutto l'effetto ha bisogno di estendere il modello dinamico a un modello più complesso capace di rappresentare entrambi modelli dinamici in un modello rappresentativo. A causa del ridotto database con condizioni di ombreggiamento parziali disponibili in questo momento, una valutazione finale non può essere discussa. Tuttavia, i risultati ottenuti sono molto incoraggianti con interessanti prospettive per futuri studi.