

Definizione, modellazione teorico – sperimentale ed energy management di sistemi termo – fotovoltaici a concentrazione

Abstract

La continua evoluzione nel settore delle energie rinnovabili ha condotto alla ricerca di soluzioni che permettano l'ottenimento combinato di vettori energetici eterogenei. Tale tematica introduce molteplici piani di analisi, dalla definizione di nuovi sistemi, all'analisi dell'impatto ambientale fino alla resa economica complessiva, nel classico paradigma costi – benefici.

In quest'ottica, le Green Renewable Technologies ridefiniscono il concetto di soluzione innovativa, in quanto rappresentano una scelta basata su principi di eco – sostenibilità. Tale aspetto fornisce una spinta propulsiva, sia alla ricerca di base che a quella industriale. Il punto cardine dell'analisi è sintetizzabile attraverso due concetti basilari: la definizione di nuovi sistemi non ancora standardizzati e la produzione combinata di energia per il soddisfacimento di richieste differenti.

In questo discorso si innestano, trovando ampi margini di studio i sistemi a concentrazione solare. Tali dispositivi, infatti, risultano privi di standard affermati sia dal punto di vista della configurazione specifica di impianto, che per quanto concerne la componentistica di base. Inoltre, seppur studiati principalmente per la produzione di energia elettrica o termica, in maniera separata, essi presentano elevate potenzialità di producibilità combinata.

Nel lavoro presentato viene fornita un'analisi approfondita dei sistemi a concentrazione. Nello specifico, considerando sia la parte elettrica che quella termica e definendo le principali tecnologie a supporto, parliamo di sistemi termo – fotovoltaici a concentrazione. In generale, il principio fondamentale di un sistema termo – fotovoltaico a concentrazione è quello di focalizzare i raggi luminosi, per mezzo di dispositivi ottici di vario genere, su particolari celle solari, di tipo multi – giunzione, al fine di aumentare l'energia ottenuta e ridurre l'area del materiale fotovoltaico attivo. Con la concentrazione della luce solare, la temperatura delle celle aumenta ed è fondamentale un corretto raffreddamento, al fine di non inficiare sul rendimento elettrico. Attraverso uno smaltimento attivo del calore, tramite un fluido termo – vettore, è possibile ottenere contemporaneamente energia termica.

Lo scopo del lavoro è la definizione e modellazione teorico – sperimentale di tali apparati al fine di poterne valutare le prestazioni energetiche ed economiche. In particolar modo, non ci si è riferiti ad uno specifico impianto ma, attraverso le varie simulazioni, si è svolta un'analisi parametrica che permettesse di comprendere l'influenza di ciascuna variabile, interna o esterna, sul sistema. In tal senso, è stato possibile adattare il

funzionamento dell'impianto con varie configurazioni e valutarne le potenzialità elettriche e termiche a seconda dell'applicazione.

Un sistema termico – fotovoltaico a concentrazione è composto da tre parti principali, l'ottica che permette di focalizzare la luce, il ricevitore, dove sono alloggiati le celle multi – giunzione e che include il sistema di recupero del calore e l'inseguimento. Le celle scelte sono a tripla giunzione, in particolare modo sono state analizzate sperimentalmente le caratteristiche di celle di fosforo di Indio – Gallio, arseniuro di Gallio e Germanio (InGaP/GaAs/Ge).

Il lavoro valuta i principali parametri di un impianto a concentrazione, tra cui il fattore di concentrazione che descrive di quanto venga amplificata la radiazione incidente sulla cella, l'angolo di accettazione che incide sull'inseguimento e sulla corretta focalizzazione e la configurazione. Quest'ultima descrive come le celle e le ottiche sono disposte le une rispetto alle altre. I sistemi a concentrazione sono descritti in ogni loro componente, evidenziando i punti di forza ed analizzando quanto presente in letteratura.

L'analisi definisce tutte le parti da modellare e gli strumenti da impiegare per raggiungere l'obiettivo di valutazione complessiva di tali impianti.

In questo senso, partendo dall'input, al fine di valutare le prestazioni dell'impianto in ogni condizione, è stata definita una procedura per la stima del potenziale solare attraverso le reti neurali. In particolare, dato che i sistemi a concentrazione operano solo con la componente diretta della radiazione, si è fatta particolare attenzione al modello di tale frazione della radiazione globale. Sono state definite due reti, una per la radiazione globale ed una per la diretta. Dopo un'attenta analisi delle variabili input ed un processo di ricombinazione, la prima rete è stata costruita considerando sette parametri di input tra cui: latitudine e longitudine ore di luce, declinazione solare. La rete per la radiazione diretta, invece, presenta quattro input principali tra cui la stessa radiazione globale e l'indice di chiarezza, che descrive le condizioni di nuvolosità. Tali modelli sono stati addestrati, validati e testati con dati per vari anni, impiegando misure di database nazionali e prove sperimentali. Le reti valutate statisticamente e confrontate con la letteratura hanno offerto ottimi risultati in termini di errore medio sulla predizione. Le reti neurali, così definite, hanno permesso, poi, di implementare un'app mobile per la valutazione del potenziale solare a Salerno.

Al fine di valutare le prestazioni energetiche di un impianto a concentrazione, si sono definiti differenti modelli. In particolare modo, si è descritto come valutare la producibilità elettrica, a partire dalle prestazioni delle celle e dalle configurazioni scelte. Grande attenzione, inoltre, è stata posta sui modelli per la valutazione della temperatura della cella, variabile che influenza sia la parte elettrica che quella termica. Il culmine dell'analisi è stata la costruzione di un modello tipo Random Forest che ha permesso di prevedere la temperatura al variare della concentrazione, della temperatura ambiente e della radiazione incidente. Come per i modelli alle reti neurali,

anche in questo caso è stato fondamentale l'impiego di dati sperimentali raccolti sul campo. Infine, la valutazione delle prestazioni termiche dell'impianto ha avuto come principale elemento di analisi la temperatura del fluido termo – vettore. A seconda di concentrazione e numero di celle sono stati definiti due circuiti di raffreddamento, uno basato su uno schema point – focus, l'altro su una configurazione line – focus. Sfruttando software grafici come Catia e SolidWorks e implementando l'analisi numerica in Ansys è stato possibile osservare i tempi di risposta di ciascun impianto e le temperature raggiunte dal fluido. In particolare si è impiegata una soluzione di acqua e glicole in un circuito con un diametro interno di 4.2 cm e celle a tripla giunzione da 1 cm. I modelli, principalmente in regime transitorio, hanno permesso di valutare la configurazione line – focus come più efficiente sia per i tempi di risposta che per le temperature raggiunte. Anche in questo caso, parte delle simulazioni hanno considerato come input ai modelli termici, temperature della cella valutate sperimentalmente. L'ultima fase modellistica, infine, ha analizzato la connessione del sistema a concentrazione ad un'utenza domestica, definendo il funzionamento di un possibile serbatoio che fungesse da accumulo per l'energia termica. Si sono, inoltre, svolte analisi di inefficienza a partire da una prestabilita configurazione e sono state analizzate le potenzialità energetico – economiche degli impianti a concentrazione, in varie condizioni.

L'analisi sperimentale, come detto, rappresenta un aspetto basilare del lavoro, essa infatti ha avuto un duplice ruolo, da un lato ha permesso di analizzare l'incidenza di alcuni fattori, non direttamente rilevabile teoricamente. Dall'altro lato, invece, ha consentito, tramite il sistema di misura allestito, di costruire un database di rilevazioni, fondamentali per differenti modelli come quello di Random Forest per la valutazione della temperatura della cella, oppure quelli alle reti neurali.

Lo studio sperimentale parte dalla sviluppo di un sistema a concentrazione realizzato all'Università degli Studi di Salerno. Tale sistema sfrutta una configurazione point – focus con una lente di Fresnel dal diametro di 30 cm, un caleidoscopio come ottica secondaria, ed una cella a tripla giunzione. Attraverso tale apparato sono state valutate differenti configurazioni al fine di definire una procedura sperimentale per la valutazione del fattore di concentrazione. In modo particolare, variando l'altezza della lente e valutando le tensioni di corto circuito della cella, è stato, di volta in volta, calcolato un fattore di concentrazione. Ciò ha permesso di caratterizzare sperimentalmente la cella al variare di C, osservando i principali parametri quali: tensione di circuito aperto, Fill Factor, rendimento, resistenza serie e resistenza di shunt. Si è ottenuta una concentrazione massima di 310x con un'altezza della lente di circa 24 cm.

La fase sperimentale ha, in parallelo, previsto la definizione di una strumentazione di misura che permettesse da un lato di monitorare le prestazioni dell'impianto e dall'altro di raccogliere misure utili ai modelli

teorici. In modo particolare, sono state impiegate diverse termo – resistenze, un piranometro, un sistema di acquisizione per la raccolta dei dati dai sensori ed il monitoraggio dei segnali elettrici ed una Source Meter Unit per imporre una tensione variabile in sede di caratterizzazione della cella. L'ultima fase di studio sperimentale ha permesso di progettare un nuovo impianto di tipo line – focus, con un fattore di concentrazione intorno ai 100x, lanciato in produzione a Novembre 2016.

I principali risultati della modellazione teorico – sperimentale, consequenziali allo studio dell'input e delle variabili del sistema, mostrano le analisi elettriche e termiche svolte, evidenziando le ottime potenzialità dei sistemi a concentrazione. In modo particolare, considerando un'applicazione domestica, tramite un modello di scelta si è giunti alla definizione di un sistema point – focus con 180 celle disposte in tre moduli ed un fattore di concentrazione elevato. In questa configurazione, il sistema risponde ai carichi dell'utenza, sfruttando sia la rete elettrica che il serbatoio di accumulo. Altri esempi di applicazioni, hanno mostrato l'analisi di un sistema line – focus, con circa 500 celle.

I risultati dell'analisi sperimentale, oltre ad un fattore C stimato in 310x, evidenziano una temperatura massima della cella che supera i 70°C. Ciò quindi ha reso possibile l'analisi parametrica della temperatura, tramite il modello di Random Forest, che evidenzia come, all'aumentare della concentrazione, il sistema possa essere impiegato sia per il riscaldamento invernale che per la refrigerazione estiva.

In generale, per un'utenza domestica situata al Sud Italia, il sistema a concentrazione permette una produzione di circa 3000 kWh elettrici annui e di 10000 – 13000 kWh termici. Considerando richieste medie, la possibilità di scambiare energia elettrica con la rete e l'impiego di un serbatoio con integrazione si può affermare che tali sistemi presentano ottime potenzialità per un'utenza domestica. Inoltre, è potuto osservare come le differenti configurazioni possano sopperire alle richieste, con un tempo medio di ritorno dell'investimento tra gli 8 e gli 11 anni, nel caso di inefficienze irrisolte.

Il lavoro presentato, quindi mostra le grandi potenzialità dei sistemi a concentrazione nell'ambito della produzione combinata di energia. L'analisi teorica e sperimentale si è incentrata sullo studio dell'influenza di ciascun parametro, caratteristico di tali tipi di impianti. I principali risultati sono connessi alla previsione dell'input, alla valutazione del funzionamento in termini sia elettrici che termici, ed allo studio sperimentale dei sistemi al fine di progettare e realizzare diversi prototipi.

In generale, quindi i sistemi a concentrazione rappresentano una soluzione alternativa interessante, che mostra elevata flessibilità nella configurazione e nella possibilità di continui sviluppi volti a definire uno standard.

