

SISTEMI NEURALI EMBEDDED PER IL CONTROLLO DI DISPOSITIVI FOTOVOLTAICI

Antonino Laudani, Gabriele Maria Lozito, Francesco Riganti Fulginei, Alessandro Salvini¹

¹Dipartimento di Ingegneria – Università degli Studi di “Roma Tre” – Via Vito Volterra 62/b

Parole chiave : *Fotovoltaico, Microcontrollori, MPPT, Reti Neurali*

Il presente lavoro propone una sintesi degli studi effettuati al fine di implementare in ambiente embedded degli algoritmi di controllo per l’ottimizzazione dell’efficienza di un sistema fotovoltaico. Lo scopo dell’algoritmo è identificare dinamicamente il punto di lavoro di massima potenza del pannello fotovoltaico per una qualsiasi condizione climatica. La realizzazione di questo algoritmo è stata effettuata tramite una rete neurale, addestrata sfruttando un modello matematico del pannello fotovoltaico: la rete neurale è in grado di prevedere, date il punto di lavoro attuale del dispositivo $\{I, V\}$ e la sua temperatura, il punto di lavoro ottimo $\{V_{MPP}, I_{MPP}\}$. La rete è stata poi implementata in ambiente embedded per valutare le diverse prestazioni ottenute. Un algoritmo di inseguimento del punto di massima potenza basato su questa strategia, rispetto ai classici metodi presenti in letteratura (i.e. il metodo Perturb & Observe) è dotato di convergenza rapida e assenza di oscillazioni intorno al punto di ottimo.

Il modello circuitale del dispositivo fotovoltaico permette di tracciare, per qualsiasi condizione climatica (i.e. irradianza G e temperatura T) la caratteristica I/V del dispositivo, e quindi il suo punto di lavoro ottimo. Il modello circuitale è identificato da cinque parametri costitutivi, di cui tre ricavabili tramite relazioni esplicite dai rimanenti due. L’identificazione dei due parametri indipendenti è un problema inverso risolvibile per via numerica a partire dai parametri di datasheet [1] o dalle curve sperimentali [2]. Una volta definito il modello circuitale è possibile costruire, per diverse condizioni climatiche, numerose curve di funzionamento del dispositivo. Ciascuna curva avrà un punto ottimo $\{V_{MPP}, I_{MPP}\}$.

Il training set della rete neurale è stato costruito a partire dalle curve generate dal modello matematico. Ogni curva è identificata da una coppia di parametri climatici $\{G, T\}$, quindi per ogni coppia di temperatura ed irradianza esiste un punto $\{V_{MPP}, I_{MPP}\}$. Sarebbe quindi possibile addestrare una rete neurale usando come ingressi i valori di irradianza e temperatura, e come uscita la tensione ottima di lavoro del dispositivo. Tuttavia, effettuare una misura di irradianza è un procedimento complesso e costoso, e una rete neurale così addestrata avrebbe poco spazio applicativo. Un metodo alternativo per identificare una curva, già applicato per il calcolo dell’irradianza [3], è usare una variabile ambientale (nel caso, T) e il punto di lavoro attuale $\{I, V\}$. Il training set della rete è quindi stato realizzato nella seguente maniera: come ingressi sono stati presi tutti punti di tutte le curve generate dal modello matematico (nel caso, 100 curve da 40 punti ciascuna) più il valore di temperatura usato. Come uscita, sono stati presi i valori V_{MPP} calcolati per ciascuna curva.

La scelta della rete neurale è ricaduta sul Multilayer Perceptron (MLP) a singolo strato nascosto. Mediante una serie di test statistici è stata determinata la dimensione ottima dello strato nascosto (25 Neuroni) al fine di ottenere un errore di addestramento accettabile. Sono state applicate tecniche di addestramento intelligente al fine di evitare il sovradimensionamento della rete e la perdita di generalizzazione dovuta all’overfitting. Il codice per il calcolo della rete neurale, in linguaggio C, è stato programmato sulla piattaforma a microcontrollore PIC18F6627, che appartiene alla famiglia a basso costo di microcontrollori a 8-bit prodotti da Microchip. Il microcontrollore è montato su una development board SBC65EC dotata di una interfaccia ethernet tramite la quale è possibile comunicare con il microcontrollore tramite interfaccia web server. La lettura di corrente e tensione del dispositivo fotovoltaico viene effettuata tramite gli ADC del microcontrollore, mentre la lettura della temperatura è demandata al sensore di temperatura DS18B20, che comunica con il microcontrollore tramite interfaccia 1-Wire. Il codice implementato sul microcontrollore

implementa varie funzioni di inizializzazione delle periferiche, e la routine di calcolo vero e proprio della rete neurale. Complessivamente il codice occupa meno di 15kB di memoria. In Figura 1 è possibile vedere uno screenshot della interfaccia web server implementata tramite la scheda di sviluppo SBC65EC.

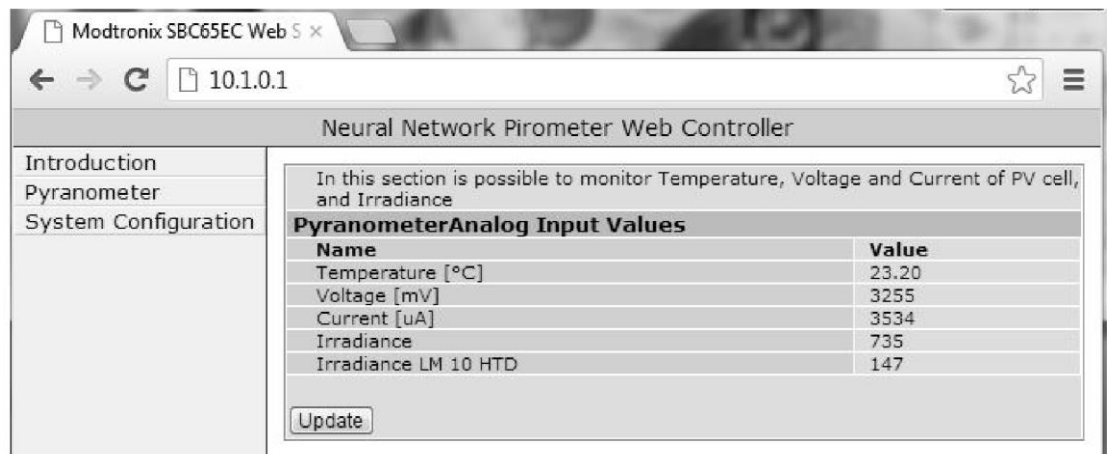


Fig. 1: Implementazione del sistema di controllo MPPT.

I risultati prodotti dall'algoritmo su microcontrollore si sono rivelati coincidenti con quelli generati in ambiente Matlab, da cui si può concludere che il passaggio ad ambiente embedded non abbia introdotto perdite di precisione. La validazione dell'approccio neurale, invece, è stata ottenuta confrontando i risultati ottenuti con il valore, analitico, del punto di massima potenza al variare delle condizioni di irradianza e temperatura. A questo scopo la rete neurale è stata addestrata usando come riferimento un array PV da 425kW composto da pannelli Civic Solar ET-P660230. I valori di irradianza sono stati estratti dal database meteorologico del *U.S. Department of Energy's National Renewable Energy Laboratory at the Hawaii's Honolulu International Airport in the island of Oahu* e mostrano una sovrapposizione completa tra la massima potenza teorica e quella generata dalla predizione dell'algoritmo montato su microcontrollore.

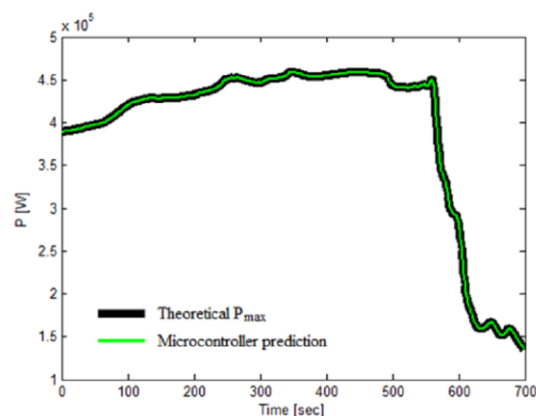


Fig. 1: Implementazione del sistema di controllo MPPT.

BIBLIOGRAFIA

- [1] LAUDANI, Antonino, et al. Very Fast and Accurate Procedure for the Characterization of Photovoltaic Panels from Datasheet Information. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 2014.
- [2] LAUDANI, Antonino; RIGANTI FULGINEI, Francesco; SALVINI, Alessandro. High performing extraction procedure for the one-diode model of a photovoltaic panel from experimental I-V curves by using reduced forms. *Solar Energy*, 2014, 103: 316-326.
- [3] MANCILLA-DAVID, Fernando, et al. A Neural Network-Based Low-Cost Solar Irradiance Sensor.