

Strategie di inseguimento del punto di massima potenza per sistemi fotovoltaici

Candidato: Vincenzo CAVALLO Relatore: Prof. BOJOI Correlatore: Prof. SPERTINO
Correlatore: Dott. MANDRILE Correlatore: Dott.ssa AMATO

Abstract—Questa tesi tratta dello studio di metodi di Maximum Power Point Tracking (MPPT) applicati a sistemi fotovoltaici (PV). Dopo aver studiato i metodi di Perturb and Observe (P&O) e Incremental Conductance (INC), questi sono stati implementati su un modello PLECS di generatore PV connesso alla rete. I risultati ottenuti su PLECS sono poi stati validati sperimentalmente, mediante l'utilizzo di un convertitore e un simulatore PV. I metodi sono stati testati e confrontati eseguendo delle prove di transitorio di avviamento, di risposta al gradino di irradianza (G) e di temperatura (T) e prove a regime, per valutare l'efficienza degli algoritmi implementati nell'inseguire il punto di massima potenza.

I. INTRODUZIONE

Al giorno d'oggi la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili è molto diffusa, ed è un settore in continua crescita. Tra le fonti rinnovabili esistenti, il fotovoltaico (PV) è tra le più diffuse. Solo nel 2020, infatti, la potenza totale installata a livello mondiale è cresciuta del 18%. Allo stato dell'arte i generatori PV sono soggetti a perdite importanti che ne riducono l'efficienza. Con le tecnologie attuali, le celle PV possono raggiungere un'efficienza compresa tra il 10% e il 22% circa. Questo chiarisce perché risulta essenziale usare delle tecniche di Maximum Power Point Tracking (MPPT) per estrarre la massima potenza possibile dai generatori PV, facendoli lavorare sempre nell'intorno del Maximum Power Point (MPP).

II. OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo di questa tesi è lo studio e l'implementazione di questi metodi. Essi sono inizialmente stati studiati a livello teorico, successivamente sono stati implementati su simulazioni PLECS ed, infine, sono stati validati sperimentalmente in laboratorio. L'impianto che è stato simulato in PLECS rappresenta lo schema d'impianto che è stato successivamente usato nella fase di validazione sperimentale ed è rappresentato in Fig.1.

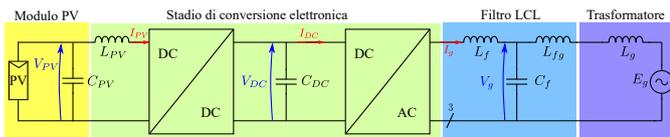


Figura 1: Impianto di generazione PV considerato.

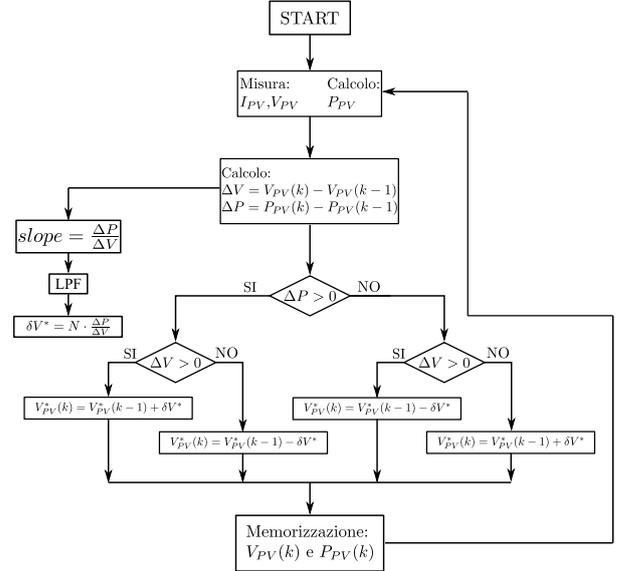


Figura 2: Flow-chart Perturb and Observe con passo variabile.

III. ALGORITMI ANALIZZATI

Gli algoritmi approfonditi sono stati 2: Perturb and Observe (P&O) e Incremental Conductance (INC). Essi sono stati implementati in 2 varianti: a passo fisso ed a passo variabile.

A. Perturb and Observe

Il P&O impone, ad ogni iterazione, una variazione di tensione, che può essere sempre la stessa (passo fisso) o calcolata in funzione del punto di lavoro (passo variabile). A questa perturbazione corrisponde un nuovo valore della potenza erogata dal generatore PV, ed in funzione della variazione di potenza ottenuta l'algoritmo sceglie il segno della successiva perturbazione di tensione. Il flow-chart di Fig.2 mostra il metodo P&O a passo variabile, l'unica differenza con il caso a passo fisso è la presenza del calcolo del nuovo passo (δV^*).

B. Incremental Conductance

INC basa il suo funzionamento sul calcolo, ad ogni iterazione, dei valori di conduttanza istantanea ed incrementale. Il convertitore adatta quindi la sua impedenza in base a quella del pannello, in modo da massimizzare l'estrazione di potenza elettrica. Questo procedimento è schematizzato in Fig.3.

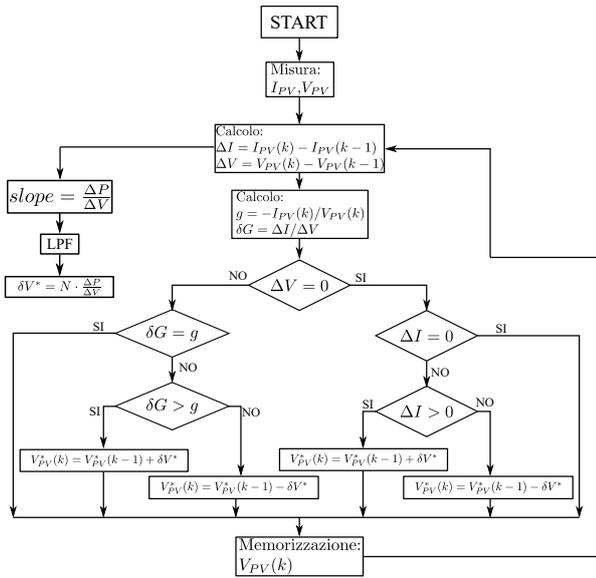


Figura 3: Flow-chart Incremental Conductance con passo variabile.

IV. RISULTATI SPERIMENTALI

Una volta studiate ed implementate le tecniche su PLECS, queste sono state validate sperimentalmente in laboratorio. Il primo test riguardava la risposta transitoria di queste tecniche all'avviamento, gli andamenti di potenza (in kW) ottenuti sono mostrati in Fig.4a e 4b. Le tecniche a passo variabile si sono dimostrate migliori, raggiungendo il MPP in tempo più breve. Dopodiché sono state eseguite le prove per la risposta ai gradini di G e T , con gli andamenti di potenza (in kW) ottenuti mostrati nelle Fig.4c, 4d, 4e, 4f. Infine, sono state fatte delle prove di lunga durata (necessaria per la stabilizzazione della potenza) per ricavare i valori di efficienza statica dei metodi, cioè con condizioni di irradianza costante. Ogni tecnica è stata testata per due valori di G , un valore alto ed uno basso (1000 W/m^2 e 250 W/m^2). I risultati ottenuti sono riassunti nella Tab.I.

V. CONCLUSIONI

Questa tesi ha analizzato due diffuse tecniche MPPT: P&O e INC. Queste sono state analizzate, implementate e validate sperimentalmente. Il mio personale contributo a questo elaborato è stato:

- **ricerca bibliografica e analisi teorica delle tecniche MPPT**, inizialmente è stato necessario studiare le tecniche che si volevano implementare, per conoscerne i principali aspetti teorici;
- **simulazioni PLECS**, per testare in modo preliminare le tecniche è stato necessario costruire il modello PLECS dell'impianto (Fig.1);
- **implementazione dei codici di controllo**, studiate le tecniche bisognava scrivere gli algoritmi che le implementavano nella simulazione;
- **validazione sperimentale**, finita la fase di simulazione delle tecniche, l'ultima parte del lavoro ha riguardato la validazione degli algoritmi scritti. Perciò

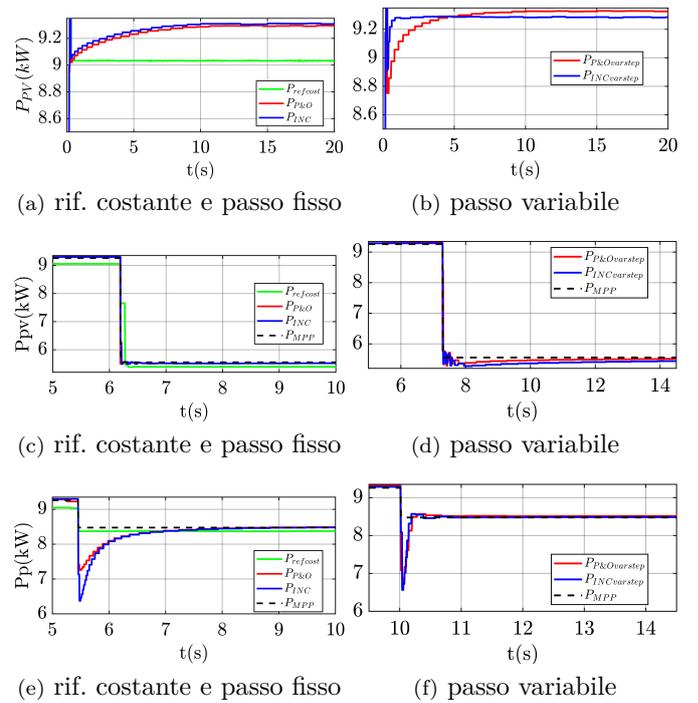


Figura 4: Potenza per: avviamento(a,b), gradino di G (c,d) e gradino di T (e,f).

Metodo	η_{MPPT} a 1000 W/m^2 (%)	η_{MPPT} a 250 W/m^2 (%)
Rif. costante	92.640	97.547
P&O	99.946	97.246
INC	98.399	99.241
P&O var. step	99.977	99.996
INC var. step	99.972	99.944

Tabella I: Efficienza Statica MPPT per alta e bassa G .

ho eseguito delle prove in laboratorio per verificare il funzionamento degli algoritmi su un impianto reale. Dai risultati di Tab.I è chiara l'efficacia di queste tecniche nel massimizzare lo sfruttamento della sorgente solare. Le tecniche più efficienti sono quelle adattive, cioè che variano il passo di tensione in funzione della posizione del punto di lavoro. Il che vuol dire transitori più brevi e oscillazioni attorno a MPP più piccole, perciò, minori perdite di potenza. A questo punto risulterebbe interessante testare e comparare le efficienze degli algoritmi di MPPT in condizioni di G variabile, per questo bisognerebbe fare delle prove di misura dell'efficienza dinamica (come prescritto dalla normativa IEC EN 50530). Inoltre, sarebbe utile fare delle prove con ombreggiatura parziale del generatore PV. Questo tipo di test non è stato possibile con il simulatore PV a disposizione durante la fase di laboratorio svolta per questa tesi. Avendo, però, a disposizione un emulatore con più funzioni sarebbe stato molto interessante vedere come gli algoritmi si adattano ad una condizione di irradianza non uniforme sul generatore.