



**Politecnico
di Torino**



Strategie di inseguimento del punto di massima potenza per sistemi fotovoltaici

Relatore:

Prof. Iustin Radu BOJOI

Prof. Filippo SPERTINO

Dott. Fabio MANDRILE

Dott.ssa Angela AMATO

Candidato:

Vincenzo Cavallo

Dipartimento Energia "Galileo Ferraris"

Politecnico di Torino, Italy

07/12/2021

Obiettivi della Tesi

➤ Utilità delle tecniche di Maximum Power Point Tracking (MPPT)

- L'**efficienza** dei generatori fotovoltaici (PV) allo stato dell'arte è tra **10 e 22%** circa
- Risulta **fondamentale** estrarre la **massima potenza possibile** dai generatori PV, facendoli lavorare sempre nell'intorno del **Maximum Power Point (MPP)**

➤ Studio preliminare tecniche di MPPT

- **Analisi** teorica delle tecniche MPPT e del loro contributo all'efficienza dei generatori fotovoltaici
- **Implementazione** di algoritmi di MPPT su impianto simulato in PLECS

➤ Validazione sperimentale

- **Validazione** tecniche MPPT su impianto reale in laboratorio
- **Confronto** delle tecniche MPPT
- **Misura efficienza statica di MPPT** in diverse condizioni di irradianza (G)

Simulazione PLECS

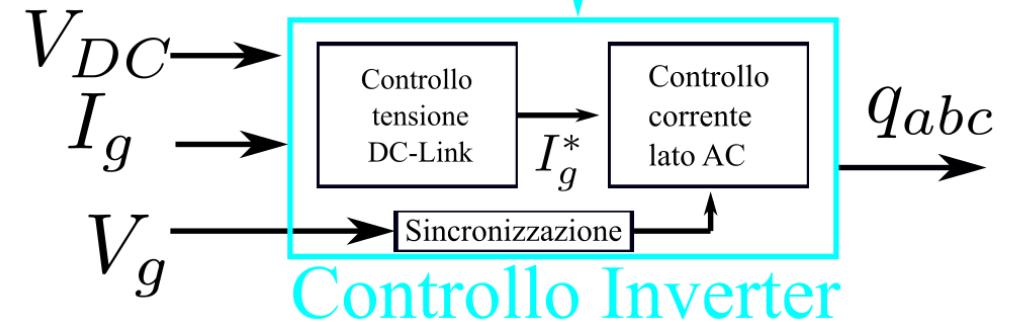
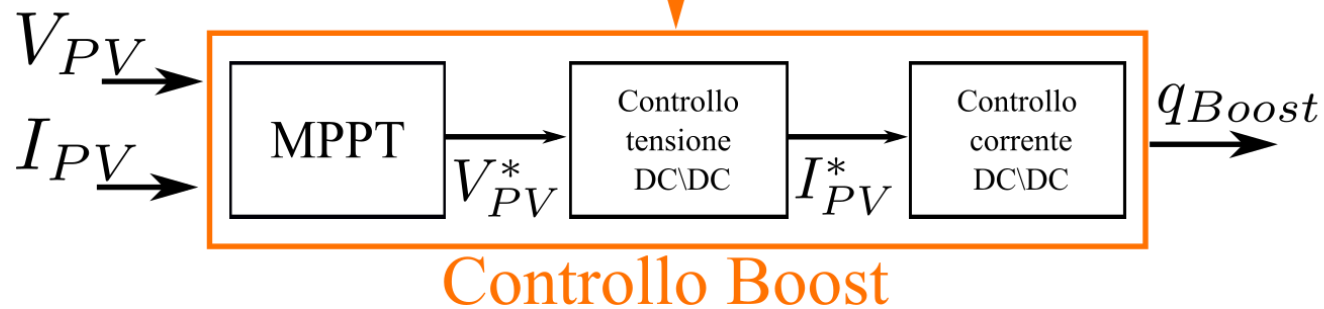
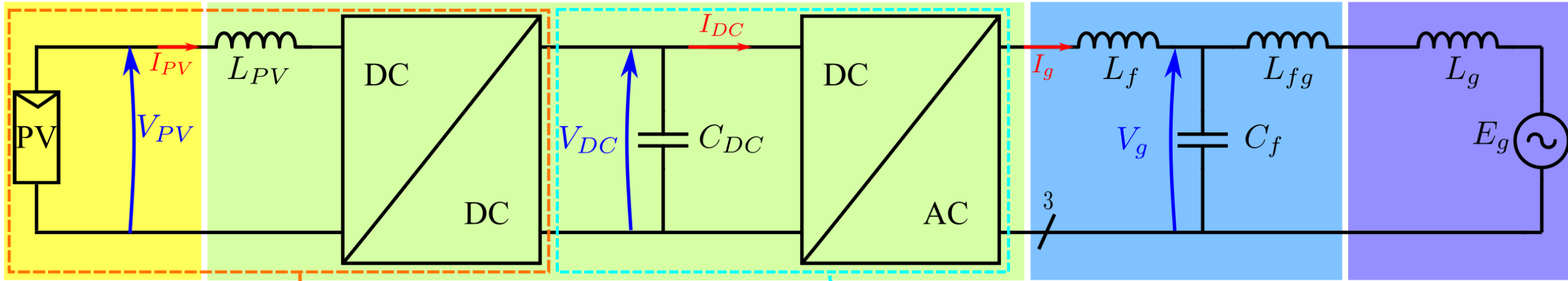
➤ Impianto simulato

Modulo PV

Stadio di conversione elettronica

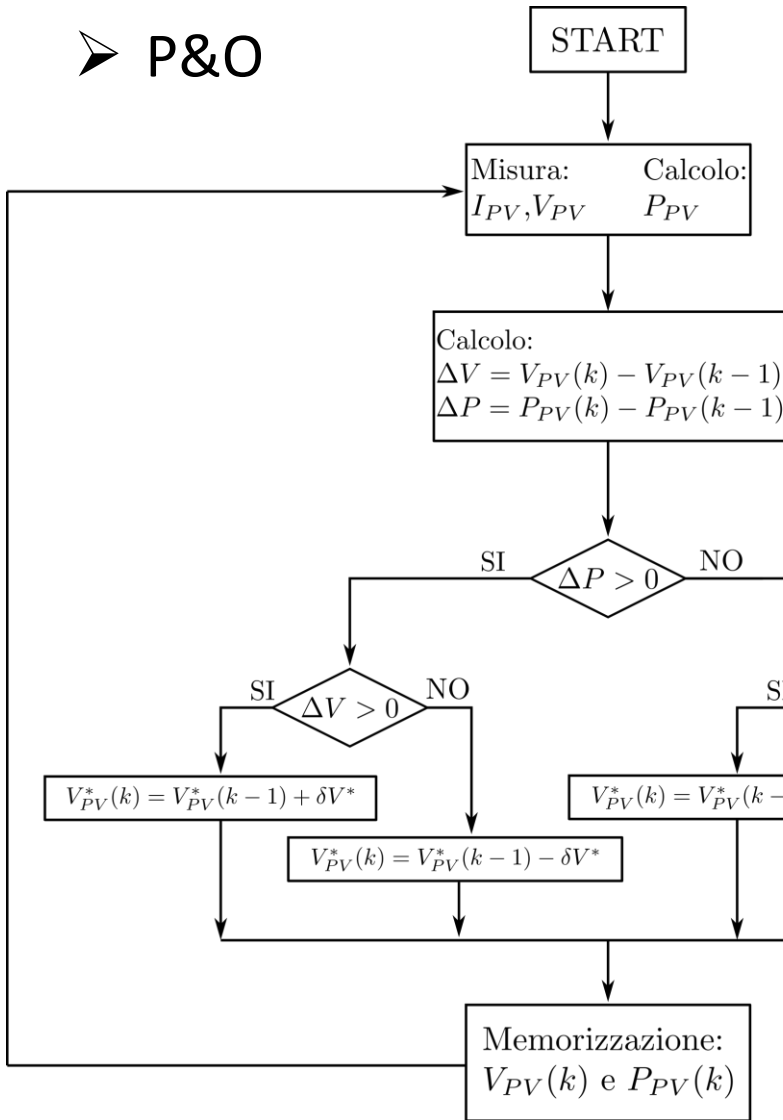
Filtro LCL

Trasformatore



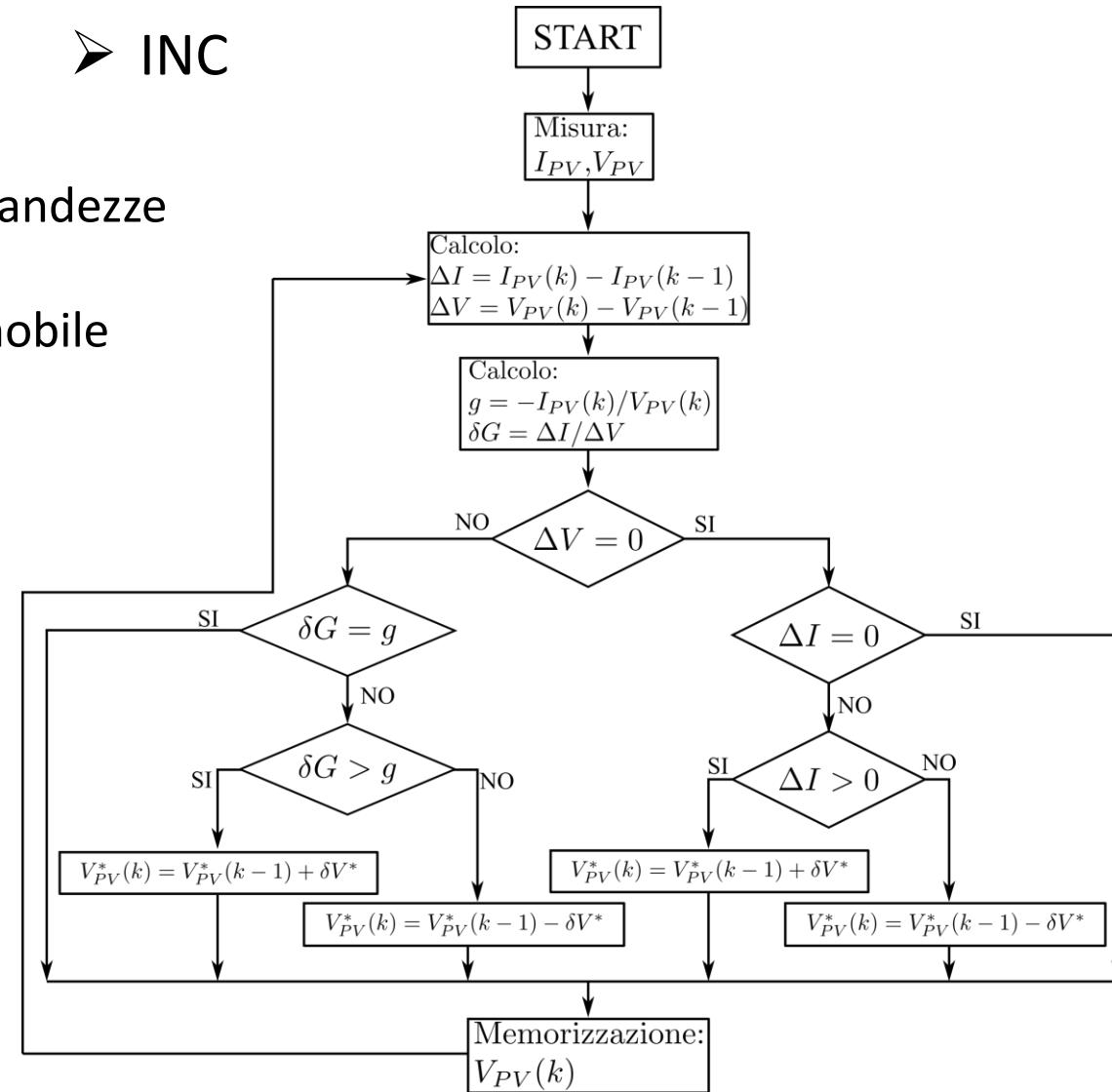
Tecniche a passo fisso

➤ P&O



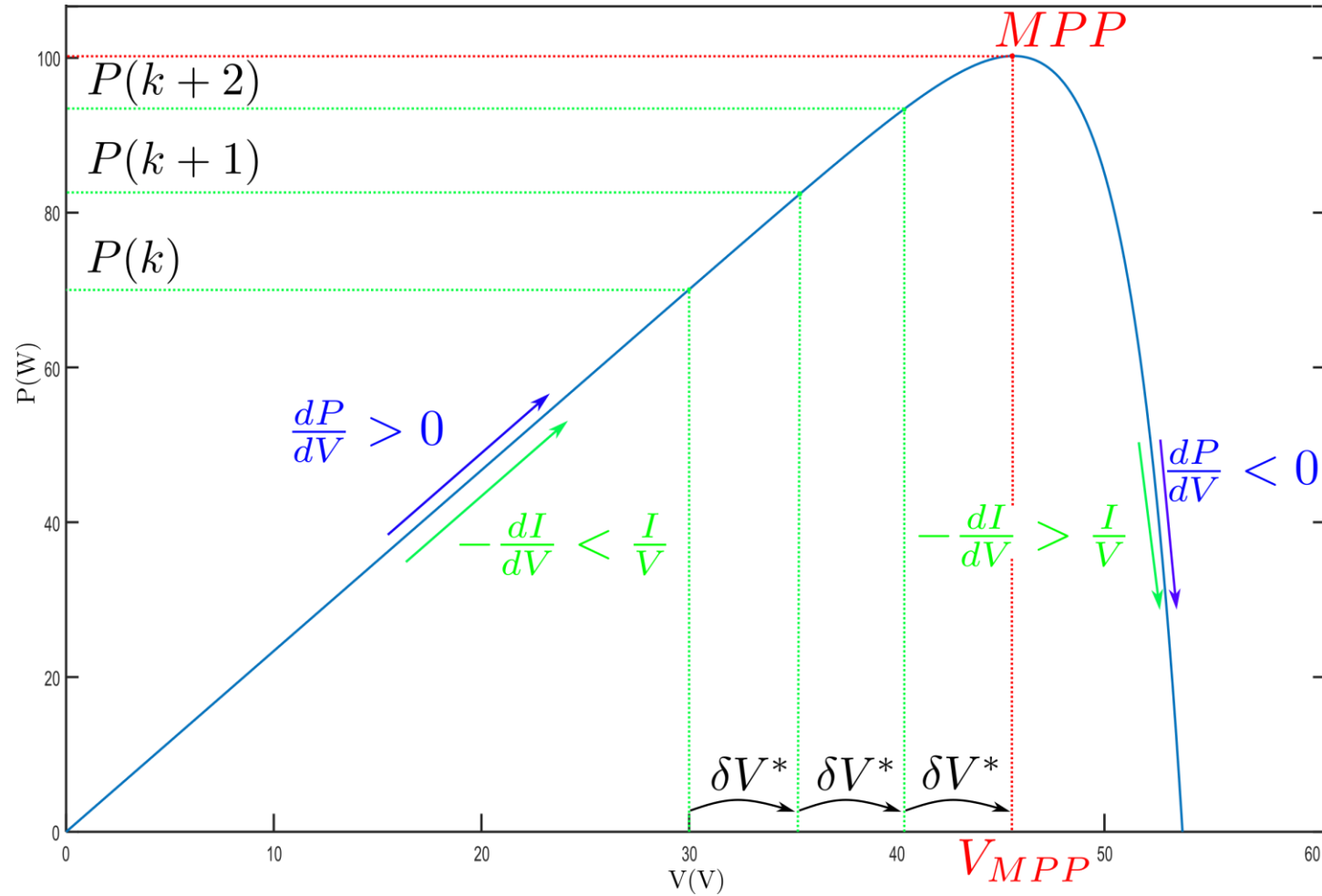
- $\delta V^* = 1$ V costante
- Valori medi delle grandezze misurate
- Finestra di media mobile fissa

➤ INC



Tecniche MPPT

- Generazione della tensione di riferimento tramite tecniche MPPT



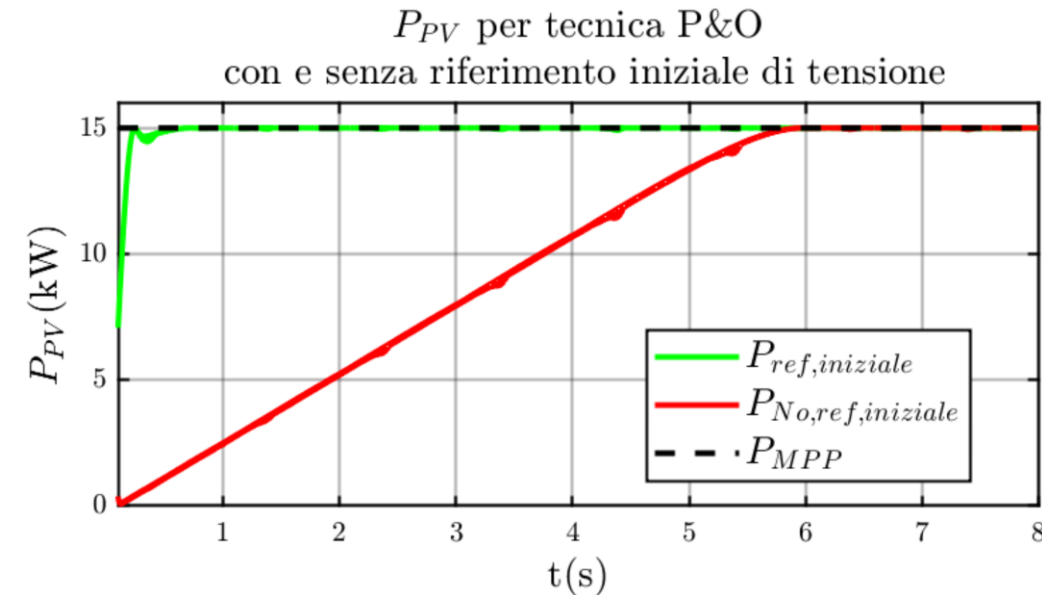
Riferimento di tensione costante

➤ Riferimento fisso

- Tensione di **riferimento** V_{PV}^* **costante** imposta dal controllo
- Si impone $V_{PV}^* = 0,8 * V_{OC}$, poiché la tensione del Maximum Power Point (MPP) è sempre circa 80% della tensione di circuito aperto V_{OC}
- Tecnica più **semplice**, però molto **meno precisa**, si otterranno **efficienze basse**
- L'idea alla base della tecnica può essere usata come **integrazione ad altre tecniche** per ottenere un **tracciamento più veloce** del MPP

➤ Integrazione riferimento fisso con altre tecniche di MPPT

- Si misura la tensione di circuito aperto V_{OC}
- Si impone tensione iniziale di riferimento $V_{PV}^* = 0,8 * V_{OC}$ e poi si fa sì che il controllo cominci ad utilizzare una tecnica più complessa per il tracciamento del MPP
- Necessarie meno iterazioni per il tracciamento del MPP, per cui transitorio iniziale più veloce



Validazione sperimentale

Impianto usato per validazione

- Simulatore di rete
- Filtro LCL
- Stadio di conversione (singola gamba per Boost)
- Emulatore di Generatore PV

	Valore	Unità di misura
$V_{OC,STC}^*$	335,2	V
$I_{SC,STC}$	34,74	A
$V_{MPP,STC}$	279,2	V
$I_{MPP,STC}$	33,12	A
V_g	$120\sqrt{2}$	V
f_{SW}	10	kHz
V_{DC}	400	V

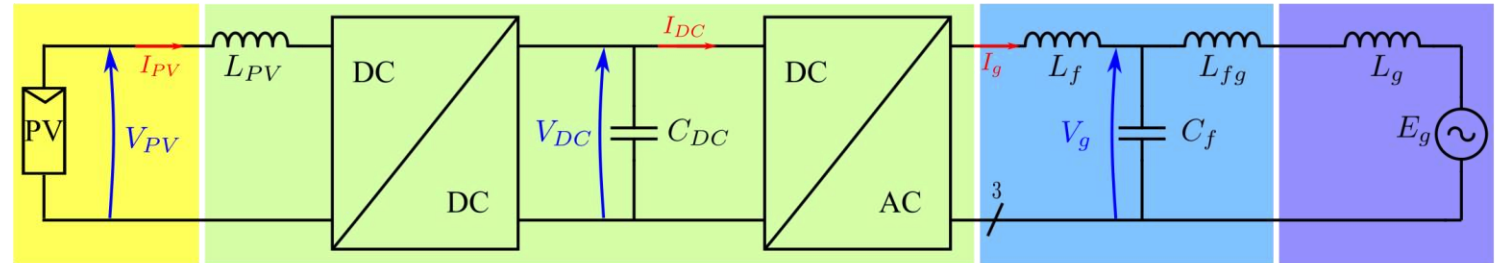
* Standard Test Conditions (STC): $G = 1000 \text{ W/m}^2$ e $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$



Emulatore modulo fotovoltaico



Emulatore di rete
REGATRON



Stadio di
conversione
elettronica



Filtro LCL

Validazione sperimentale

➤ Interfaccia web simulatore PV

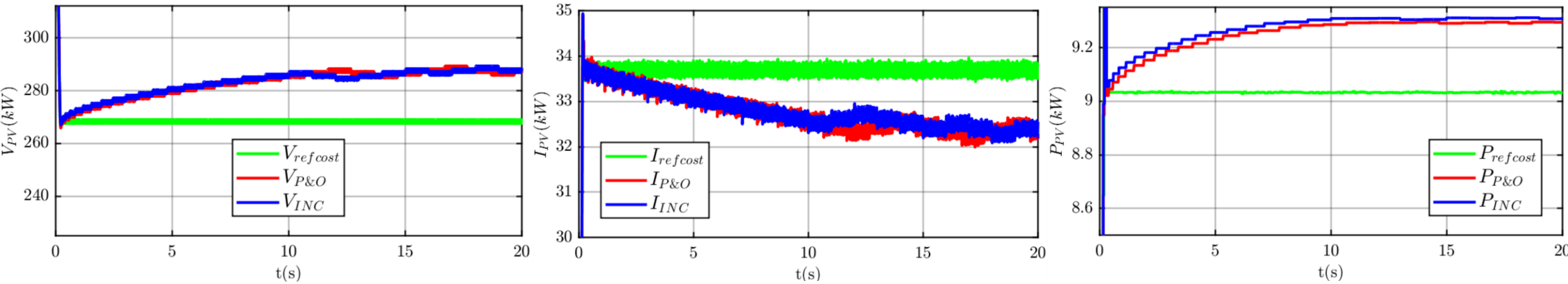
- Limiti di corrente e potenza
- Caratteristiche elettriche del pannello PV simulato
- Irradianza sul piano dei pannelli
- Temperatura dei pannelli
- Coefficienti termici
- Fattori correttivi dipendenti dalla tecnologia del pannello PV definiti da normativa

The screenshot displays a web interface for a PV simulator. At the top, it shows real-time measurements: 0.0 V (function 1: 334.9 V), 0.0 A (function 1: 34.7 A, 0.0 A), and 0 W (front: 15284 W, -15284 W). The device is identified as SM500-CP-90. Below the measurements, there are control buttons for Voltage, Current+, Current-, Power+, and Power-. A red box highlights the Current+ and Power+ controls. The main configuration area is titled 'Function1' and 'Function type: PhotoVoltaic Simulation'. It contains several parameter groups, each highlighted with a colored box: a green box for Vmpp_stc (279.20 V), Impp_stc (33.12 A), Voc_stc (335.20 V), and Isc_stc (34.74 A); a blue box for Gref_stc (1000.0 W/m²) and Gpv (1000.0 W/m²); a black box for Tref_stc (25.0 °C) and Tpv (25.0 °C); a yellow box for Alpha (0.040 %/°C) and Beta (-0.250 %/°C); and a green box for Cg (0.0025140), Cv (0.0859300), and Cr (0.0001088). On the right side, there are labels for various parameters: Voltage maximum power point, Current maximum power point, Voltage open circuit, Current short circuit, Irradiance, Temperature, Temperature coefficient current, Temperature coefficient voltage, and three Panel constant values (e.g. for cSi: 0.0025140, 0.0859300, 0.0001088).

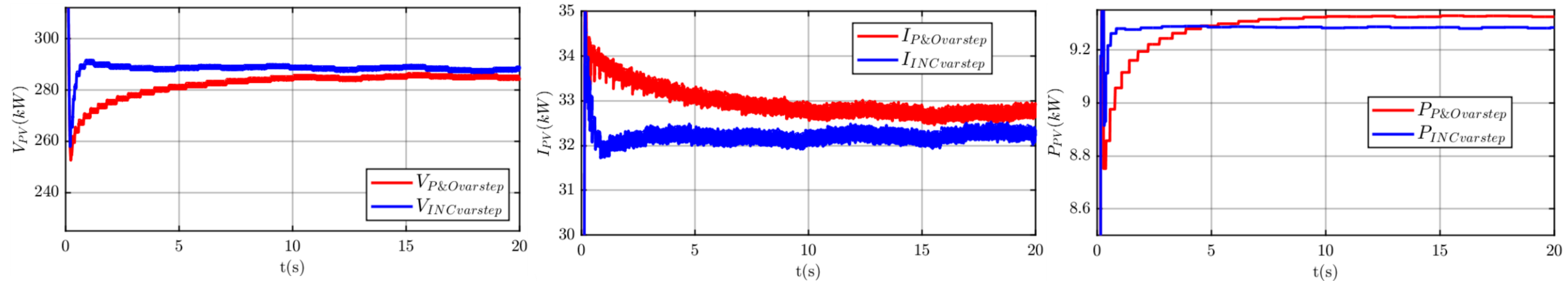
Validazione sperimentale

➤ Transitorio iniziale

- Tensioni, correnti e potenze con algoritmi a passo fisso e con riferimento di tensione costante



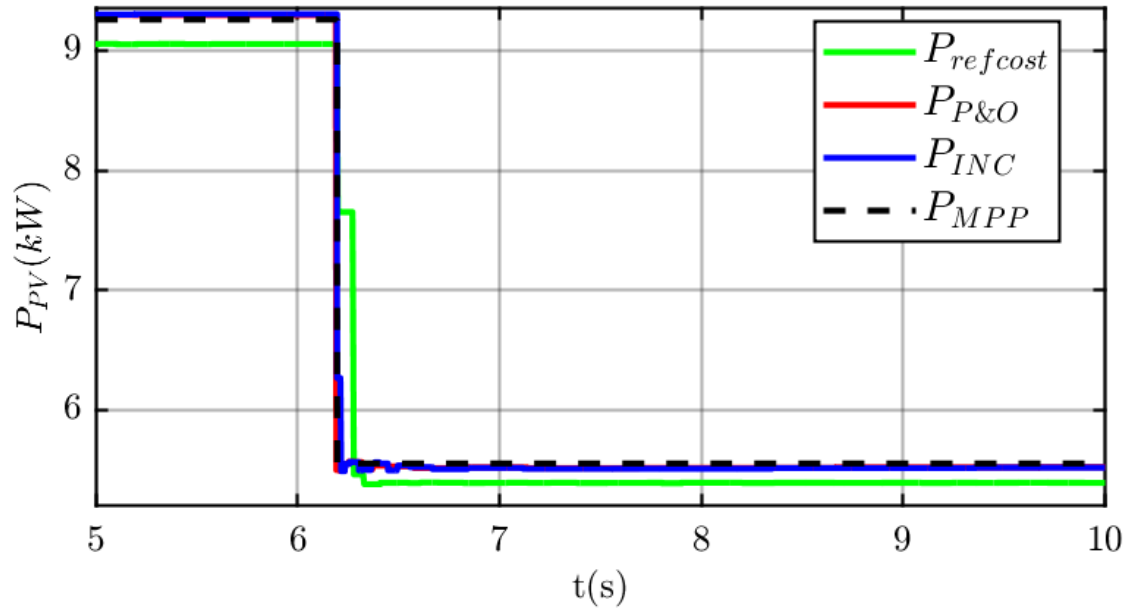
- Tensioni, correnti e potenze con algoritmi a passo variabile



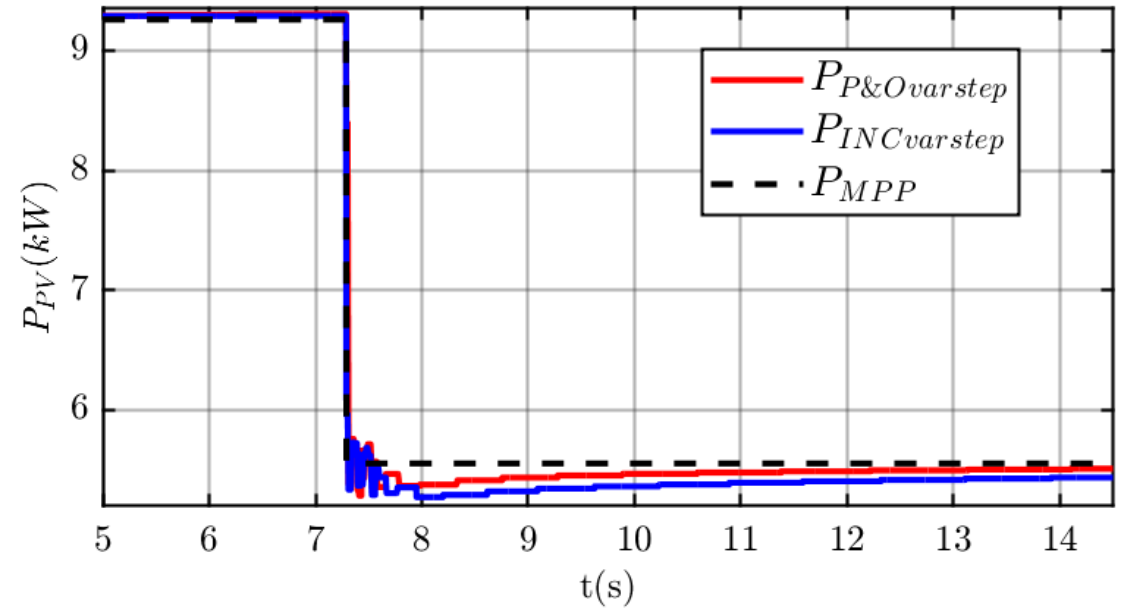
Validazione sperimentale

➤ Gradino Irradianza (-400 W/m^2)

- Potenza con rif. costante e con algoritmi a passo fisso per gradino di irradianza



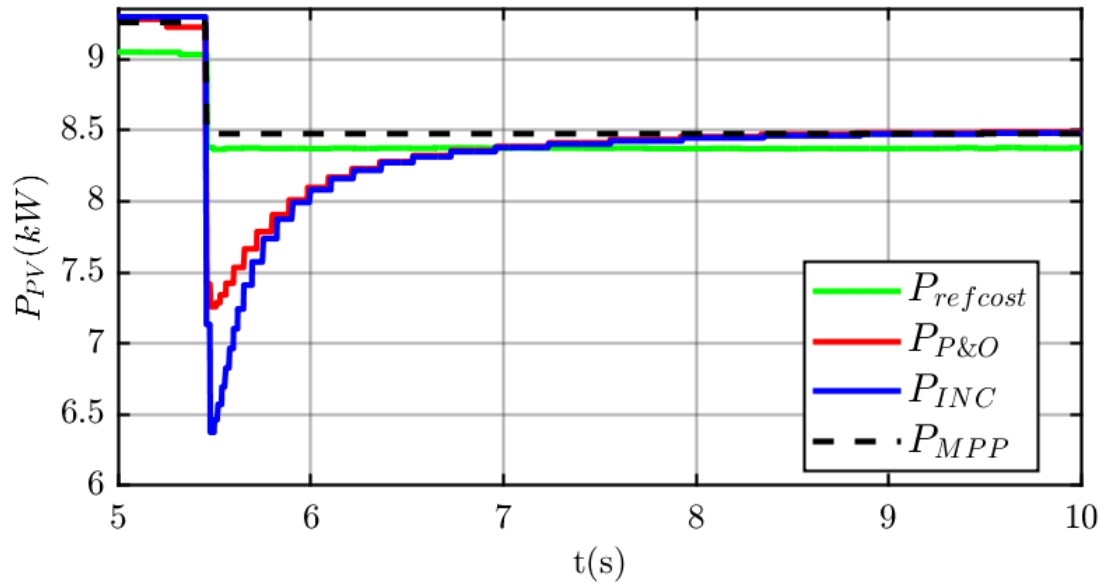
- Potenza con algoritmi a passo variabile per gradino di irradianza



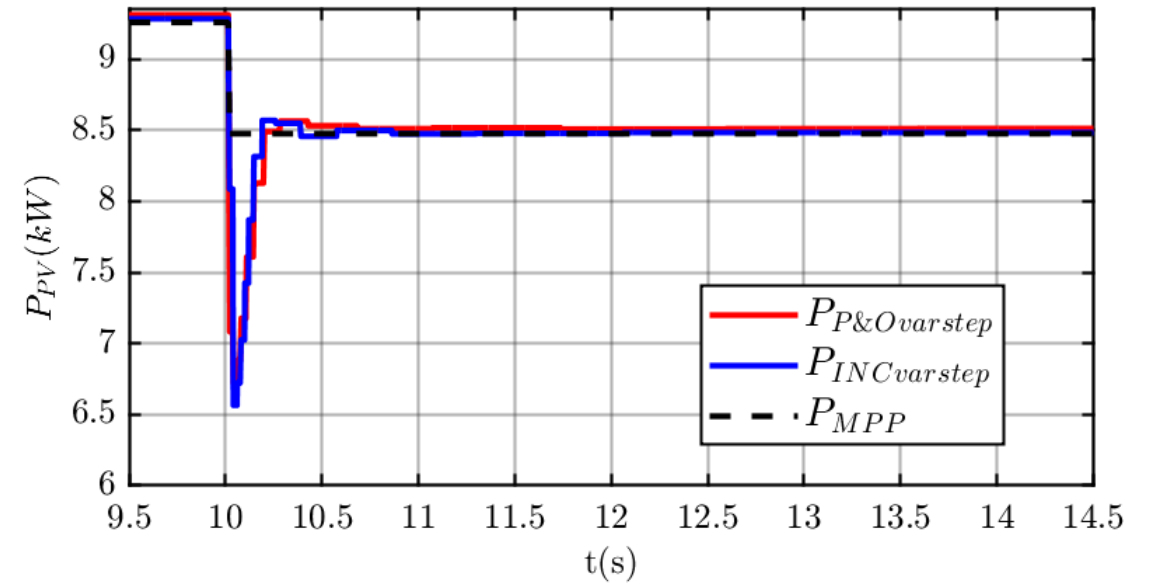
Validazione sperimentale

➤ Gradino Temperatura (+40°C)

- Potenza con rif. costante e algoritmi a passo fisso per gradino di temperatura



- Potenza con algoritmi a passo variabile per gradino di temperatura



Validazione sperimentale

- Misure efficienza di MPPT (efficienza di inseguimento)
 - Normativa IEC EN 50530 per la misura di efficienza statica e dinamica di algoritmi di MPPT
 - Efficienza **statica**: valori di irradianza mantenuti costanti per tutta la misura (T_M)
 - Efficienza **dinamica**: andamenti di irradianza prescritti dalla normativa
 - Il simulatore PV a disposizione non permetteva di imporre gli andamenti di irradianza prescritti dalla norma
 - Le **misure** eseguite in laboratorio hanno riguardato l'**efficienza statica** di inseguimento
- Prove efficienza statica di inseguimento:
 - La normativa prescrive una durata di $T_M = 10$ minuti, per le misure di efficienza statica, necessari alla stabilizzazione efficienza
 - Presi in considerazione due valori di irradianza diversi per eseguire le misure (1000 e 250 W/m^2)

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^{T_M} p_{DC}(t) dt}{\int_0^{T_M} p_{MPP}(t) dt}$$

Validazione sperimentale

➤ Risultati efficienza statica

- Test per tecniche a passo variabile effettuati con valori diversi di N e di frequenza del filtro su variabile *slope*
- Tecniche a passo fisso hanno efficienze più basse rispetto al passo variabile
- Tecnica a riferimento costante è la peggiore

Tecnica MPPT	η_{MPPT} con $1000 W/m^2$ (%)	η_{MPPT} con $250 W/m^2$ (%)	N (V^2/W)	f_{LPF} (Hz)
Riferimento costante	92,640	97,547	\	\
P&O passo fisso	99,946	97,246	\	\
INC passo fisso	98,399	99,241	\	\
P&O passo variabile	99,977	99,996	0,1	500
INC passo variabile	99,972	99,944	0,1	500

➤ Conclusioni

- Tecniche **fondamentali** per **ottimizzare** l'estrazione di potenza da un **generatore PV**
- Tecniche molto **sensibili** alla **taratura** dei parametri utilizzati (N, f_{LPF})
- Ulteriori prove necessarie per misura di efficienza dinamica delle tecniche
- Ulteriori prove necessarie per verifica delle performance delle tecniche in condizioni di irradianza non uniforme sul generatore PV (ombreggiatura)

➤ Contributi personali

- Ricerca bibliografica e analisi teorica delle tecniche MPPT
- Simulazioni PLECS e implementazione preliminare delle tecniche di MPPT
- Validazione sperimentale in laboratorio

Grazie per l'attenzione!