

Tecniche MPPT

Inseguimento del punto di massima potenza

Maximum Power Point Tracking = MPPT

Definizione CEI 82-25:

3.51

Inseguitore della massima potenza (MPPT)

Dispositivo di comando dell'inverter tale da far operare il generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza. Esso può essere realizzato anche con un gruppo di conversione statico separato dall'inverter, soprattutto negli impianti non collegati ad un sistema in c.a.

Essenzialmente ci sono due modalità:

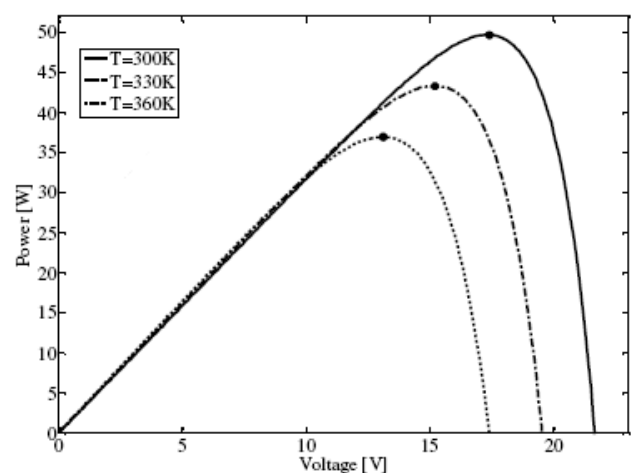
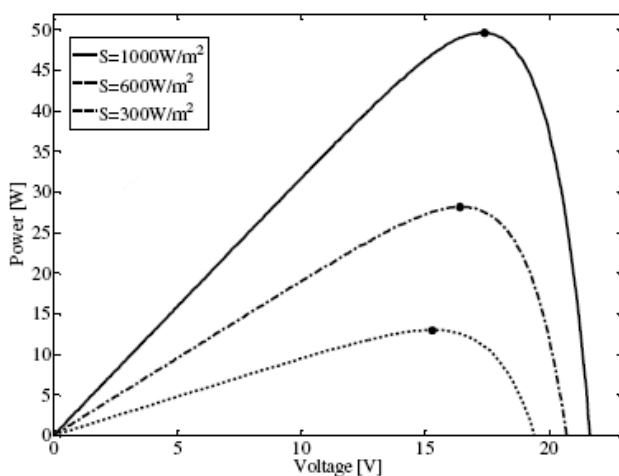
→ Metodi in catena aperta

→ Metodi in catena chiusa (con retroazione)

Tecniche MPPT

Metodi in catena aperta

→ Frazione della tensione a circuito aperto - V_{oc}



$$V_{mpp} = k_V \cdot V_{oc}$$

$$k_V \in [0.75, 0.85]$$

Tecniche MPPT

Metodi in catena aperta

→ Frazione della corrente di corto circuito - I_{sc}

$$I_{mpp} = k_I \cdot I_{sc}$$

$$k_I \in [0.85, 0.95]$$

La determinazione di V_{oc} o I_{sc} con misura su una o più celle (moduli) “pilota”, appositamente ed adeguatamente posizionate nel campo fotovoltaico. Si estrapola il valore di V_{oc} o I_{sc} complessivo sulla base delle connessioni serie/parallelo di moduli e stringhe.

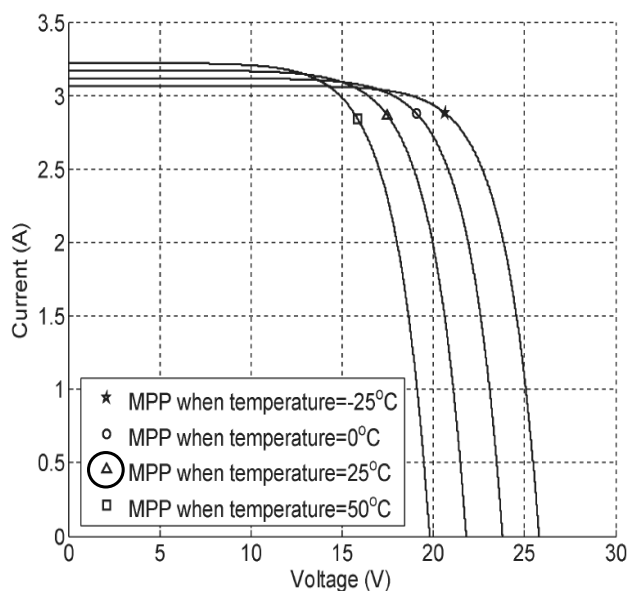
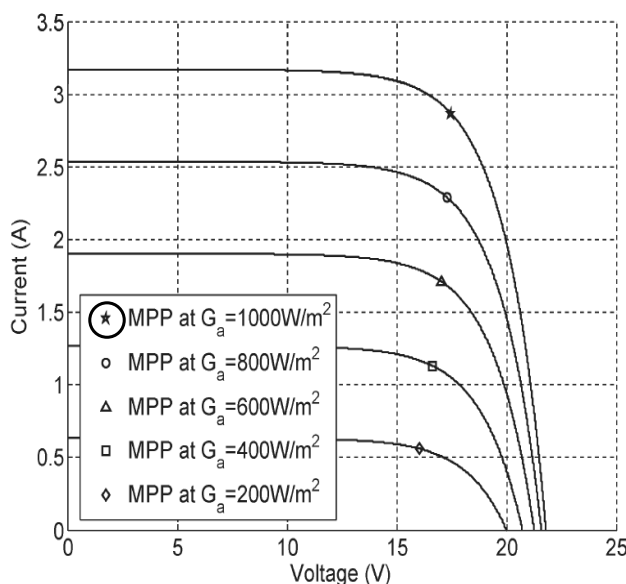
→ Database o rete neurale

Sulla base di misure di irraggiamento I_{rr} e temperatura ϑ , e/o di V_{oc} e I_{sc} , si effettua off-line sperimentalmente una mappatura della V_{mpp} in modo da poter successivamente individuare on-line il valore di V_{mpp} in base ai parametri misurati istante per istante.

Tecniche MPPT

Metodi in catena aperta

Esempio di mappatura. Occorrono però tutte le combinazioni...
I valori intermedi possono essere ottenuti per estrapolazione (lin).



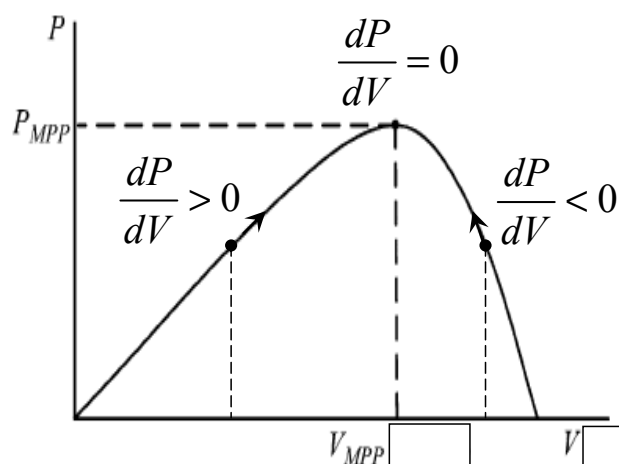
Tecniche MPPT

Metodi in catena chiusa

Si tratta di effettuare misure on-line di tensione e corrente del campo fotovoltaico (o di una sua parte) e sulla base di tali valori apportare opportune variazioni del punto di lavoro, tipicamente con una **regolazione di tensione**.

Tutti i metodi in catena chiusa sono in qualche modo basati sulla determinazione della pendenza della caratteristica $P = P(V)$ nel punto di lavoro:

- $dP/dV > 0 \rightarrow$ sinistra MPP
- $dP/dV = 0 \rightarrow$ MPP
- $dP/dV < 0 \rightarrow$ destra MPP



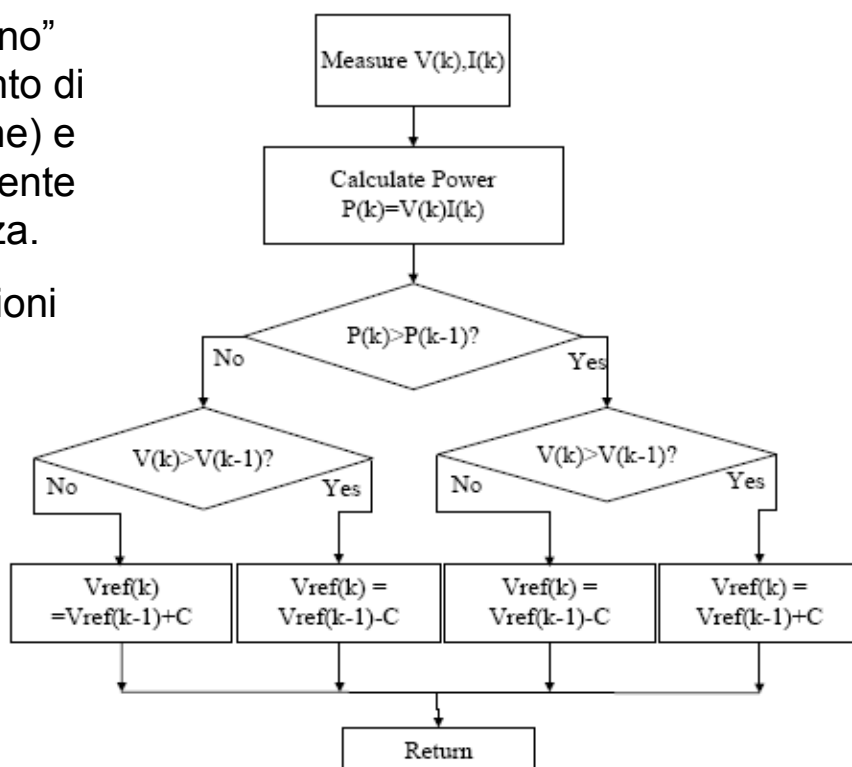
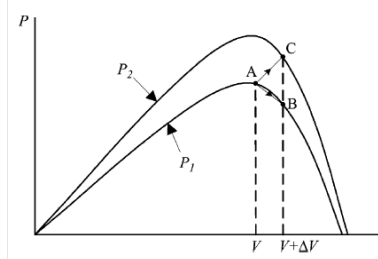
Tecniche MPPT

Perturb & observe (hill climbing)

Per capire “dove sono” devo spostare il punto di lavoro (perturbazione) e valutare la conseguente variazione di potenza.

→ continue oscillazioni

→ transitori con I_{rr}



Tecniche MPPT

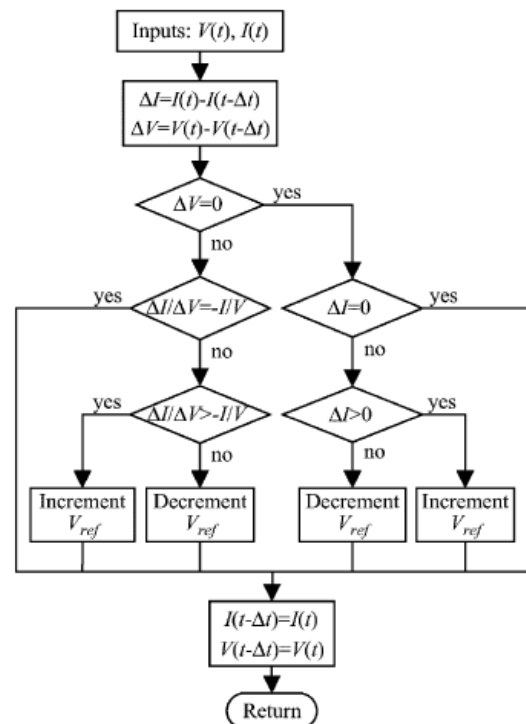
Conduttanza incrementale

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV}$$

$$\frac{dP}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta I / \Delta V > -I/V \rightarrow \text{sinistra MPP} \\ \Delta I / \Delta V = -I/V \rightarrow \text{MPP} \\ \Delta I / \Delta V < -I/V \rightarrow \text{destra MPP} \end{array} \right.$$

Analogo al P&O



Tecniche MPPT

Ripple correlation control

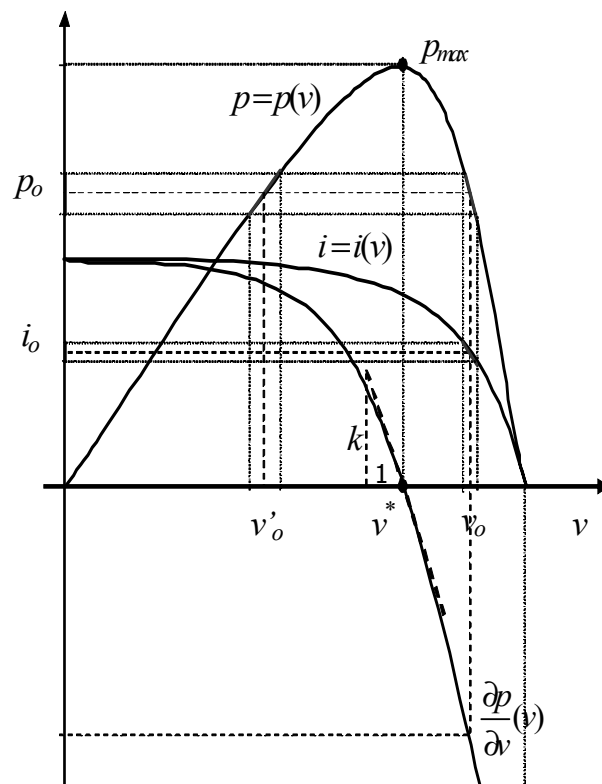
Si considera un'oscillazione (*ripple*) nell'intorno del punto di lavoro (può essere impressa o dovuta al convertitore switching collegato).

$$v(t) = \bar{v}(t) + \tilde{v}(t)$$

$$p(t) = \bar{p}(t) + \tilde{p}(t)$$

$$\bar{p}(t) = p(\bar{v}(t)) = p(v_o) \quad v_o = \bar{v}(t)$$

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t x(\tau) d\tau \quad \text{media mobile}$$



Tecniche MPPT

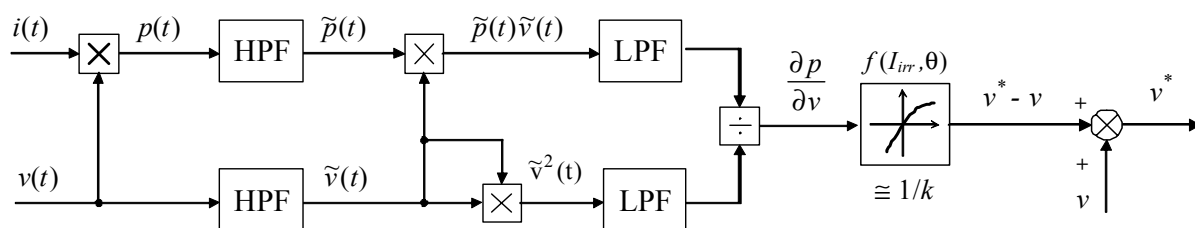
Ripple correlation control

$$\tilde{p}(t) \cong \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{v_o} \tilde{v}(t)$$

Si tratta di valutare se le oscillazioni di $v(t)$ e di $p(t)$ sono in fase o in opposizione di fase.

Ad esempio:

$$\int_{t-T}^t \tilde{p}(\tau) \tilde{v}(\tau) d\tau \cong \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{v_o} \cdot \int_{t-T}^t \tilde{v}^2(\tau) d\tau \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{v_o} \cong \frac{\int_{t-T}^t \tilde{p}(\tau) \tilde{v}(\tau) d\tau}{\int_{t-T}^t \tilde{v}^2(\tau) d\tau}$$

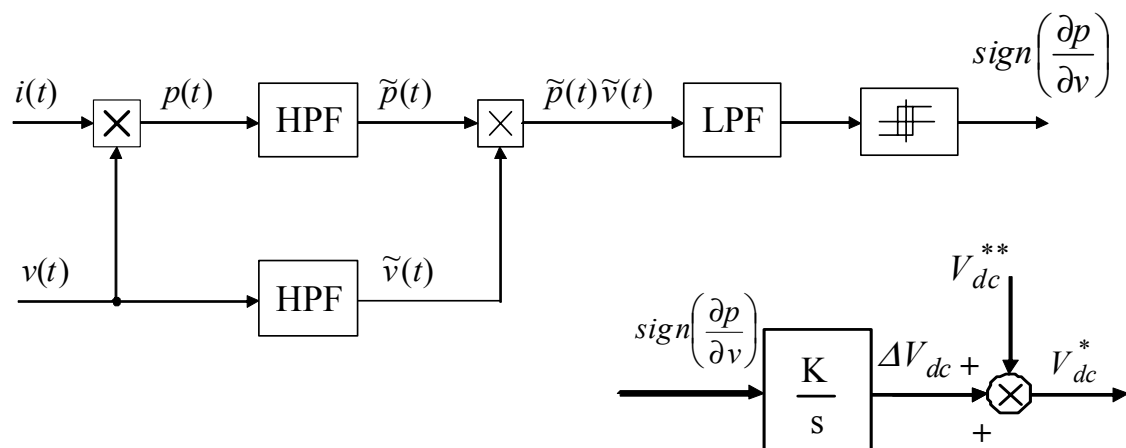


Tecniche MPPT

Ripple correlation control

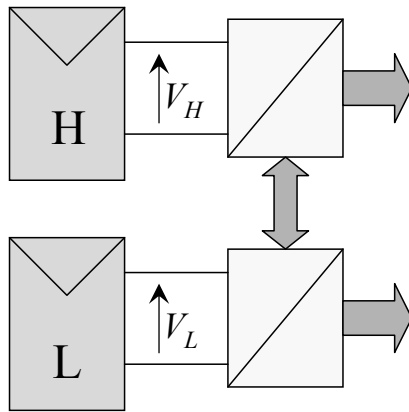
Più semplicemente:

$$\text{sign} \left(\int_{t-T}^t \tilde{p}(t) \tilde{v}(t) dt \right) = \text{sign} \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)$$



Tecniche MPPT

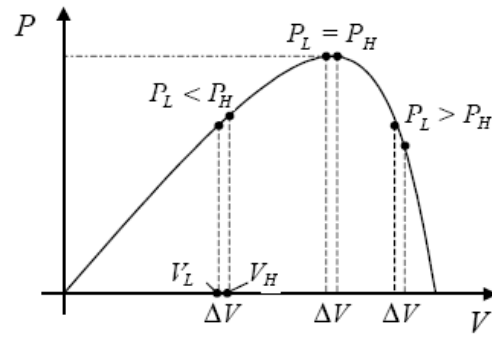
Metodo comparativo (tandem)



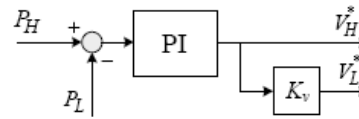
$$V_L = K_v V_H$$

$$\Delta V = (V_H - V_L) = (1 - K_v) V_H$$

$$\frac{dP}{dV} \cong \frac{P_H - P_L}{(1 - K_v) V_H} \cong K_P (P_H - P_L)$$



(a) P-V diagram



(b) Control scheme

Tecniche MPPT

MPPT Technique	PV Array Dependent?	True MPPT?	Analog or Digital?	Periodic Tuning?	Convergence Speed	Implementation Complexity	Sensed Parameters
Hill-climbing/P&O	● No	Yes	Both	No	Varies	Low	Voltage, Current
IncCond	● No	Yes	Digital	No	Varies	Medium	Voltage, Current
Fractional V_{OC}	● Yes	No	Both	Yes	Medium	Low	Voltage
Fractional I_{SC}	● Yes	No	Both	Yes	Medium	Medium	Current
Fuzzy Logic Control	Yes	Yes	Digital	Yes	Fast	High	Varies
Neural Network	● Yes	Yes	Digital	Yes	Fast	High	Varies
RCC	● No	Yes	Analog	No	Fast	Low	Voltage, Current
Current Sweep	Yes	Yes	Digital	Yes	Slow	High	Voltage, Current
DC Link Capacitor Droop Control	No	No	Both	No	Medium	Low	Voltage
Load I or V Maximization	No	No	Analog	No	Fast	Low	Voltage, Current
dP/dV or dP/dI Feedback Control	● No	Yes	Digital	No	Fast	Medium	Voltage, Current
Array Reconfiguration	Yes	No	Digital	Yes	Slow	High	Voltage, Current
Linear Current Control	Yes	No	Digital	Yes	Fast	Medium	Irradiance
I_{MPP} & V_{MPP} Computation	● Yes	Yes	Digital	Yes	N/A	Medium	Irradiance, Temperature
State-based MPPT	Yes	Yes	Both	Yes	Fast	High	Voltage, Current
OCC MPPT	Yes	No	Both	Yes	Fast	Medium	Current
BFV	Yes	No	Both	Yes	N/A	Low	None
LRCM	Yes	No	Digital	No	N/A	High	Voltage, Current
Slide Control	No	Yes	Digital	No	Fast	Medium	Voltage, Current