

# Inverter Fotovoltaici di seconda generazione

**solar**edge

Evento realizzato in collaborazione con



ORDINE  
INGEGNERI  
ASCOLI PICENO



ENERGY  
RINNOVA LA TUA ENERGIA

# Agenda

- Inverter fotovoltaico

- MPPT

- Conversione CC/CA

- Nuove tecnologie

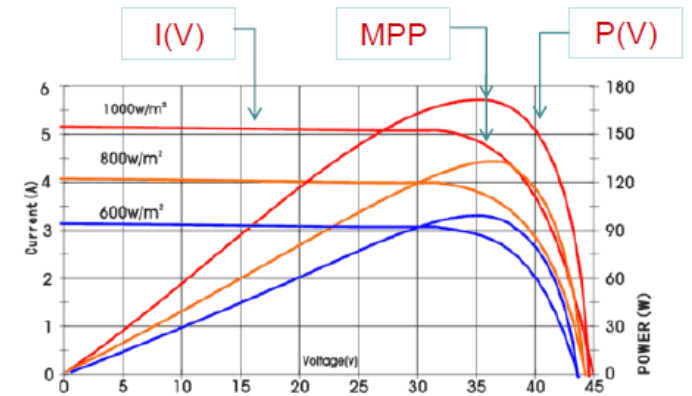
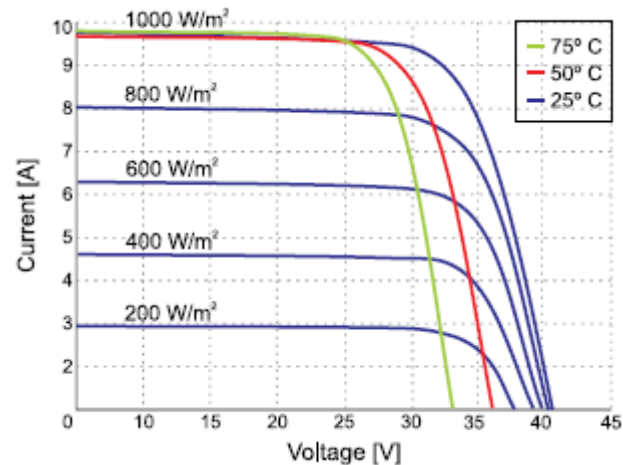
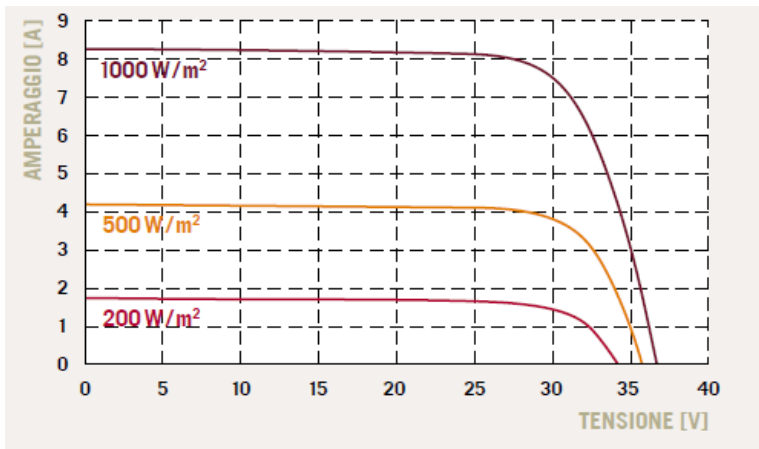
**INVERTER**

# Inverter e impianto FV

- Inverter: è un'apparecchiatura elettronica che converte una corrente continua in ingresso in corrente alternata in uscita
- In un impianto FV la corrente continua è prodotta dai moduli fotovoltaici
- In un impianto fotovoltaico l'inverter è il componente più importante
  - Responsabile conversione CC/CA quindi del 100% del guadagno

# Inverter e impianto FV

- I moduli fotovoltaici hanno una curva caratteristica I-V tale che esiste un punto di lavoro ottimale detto MPP (Maximum Power Point) dove è possibile estrarre la massima potenza disponibile.
- Tale punto varia poi in funzione della temperatura e del livello di irraggiamento del modulo stesso



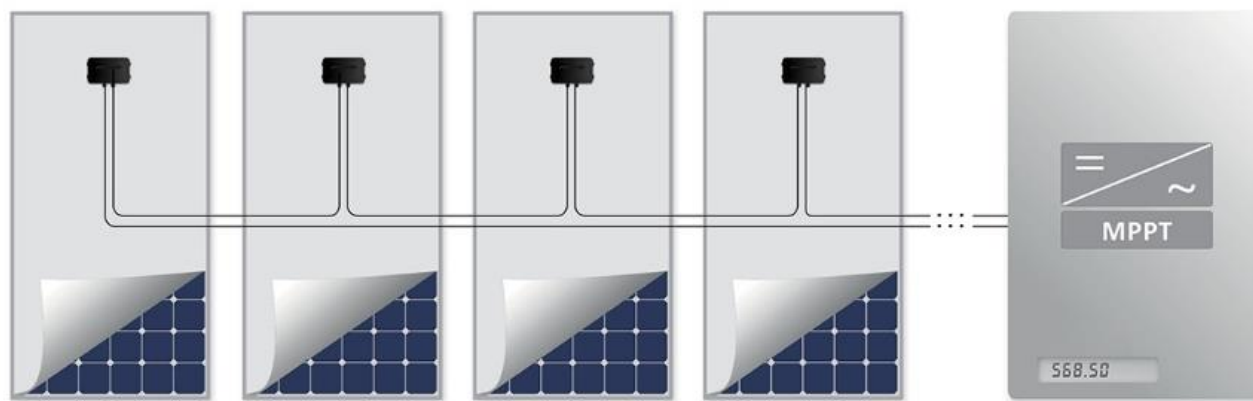
# Inverter e impianto FV

- Quindi oltre alla funzione di conversione l'inverter ha un'altra importante funzione che è quella di inseguimento/aggancio del punto di massima potenza dei moduli fotovoltaici
- Ovvero MPPT: Maximum Power Point Tracking
- Quindi vediamo le 2 funzioni basilari
  - MPPT
  - Conversione CC/CA

**MPPT**

# MPPT

- In condizioni ideali, ovvero assenza di ombreggiamento e con ridotte tolleranze di produzione, ogni modulo avrà la stessa curva I-V e lo stesso MPP

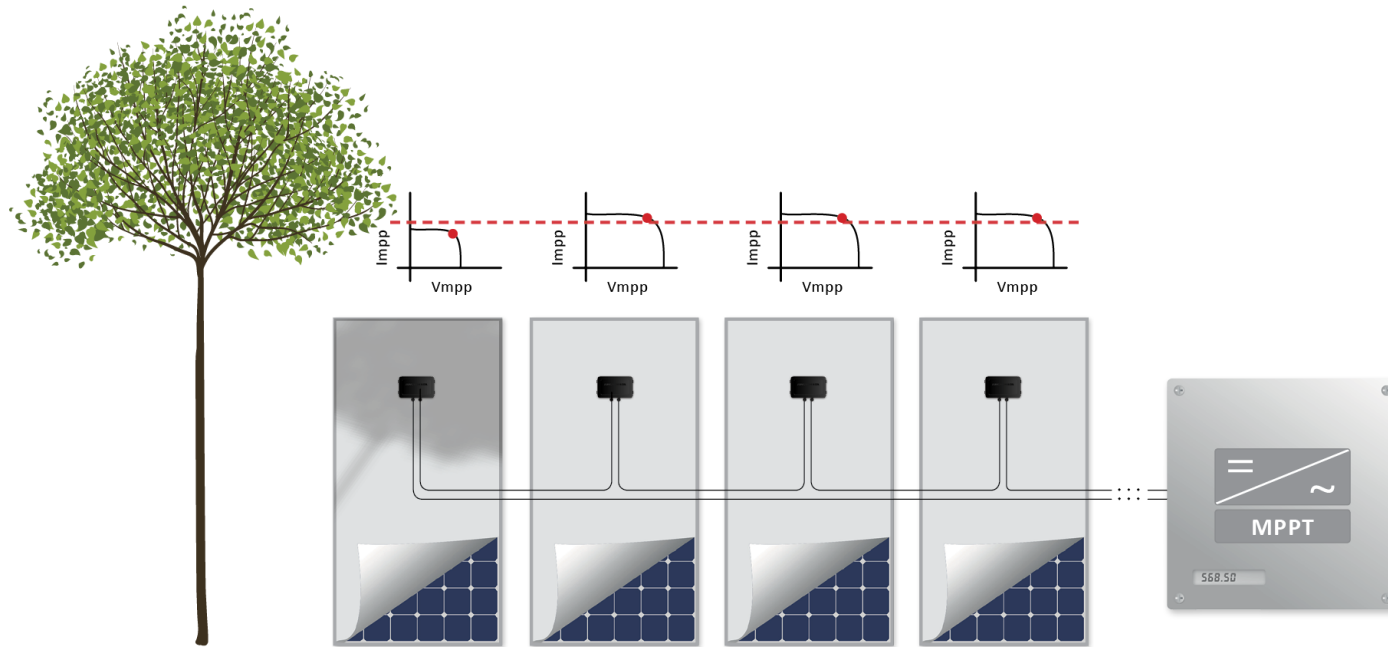


- Viene fatta una stringa di moduli per aumentarne la tensione che altrimenti sarebbe troppo bassa per un inverter centralizzato
- Quindi la curva  $P(V)$  ai capi della stringa sarà data dalla somma delle curve  $P(V)$  dei singoli moduli
- Il MPP sarà quindi unico



# MPPT

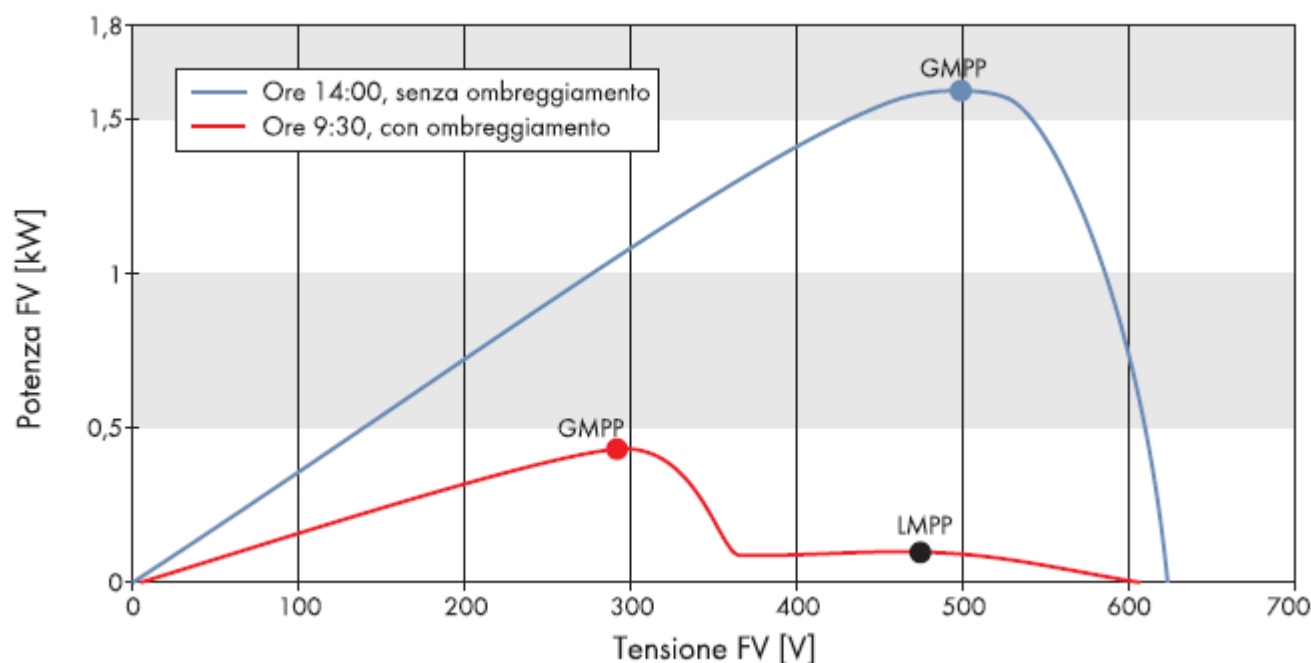
■ Ma cosa accade se uno o più moduli dovessero essere ombreggiati?



■ Quel modulo o quei moduli avrebbero delle caratteristiche I-V e quindi P(V) diverse ovvero degli MPP diversi

# MPPT

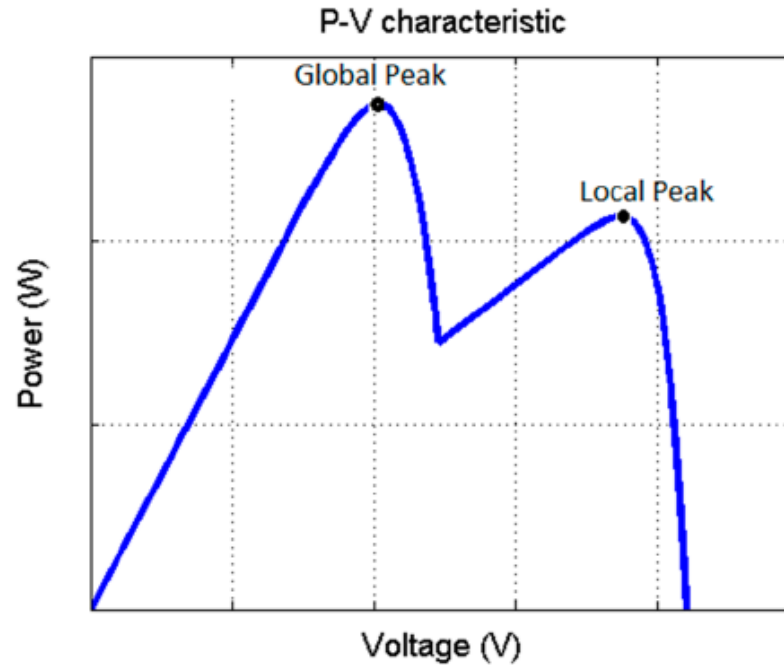
- A livello di stringa un ombreggiamento farà sì che la somma delle curve  $P(V)$  dei singoli moduli avrà un andamento simile alla curva rossa nel grafico qui sotto:



- Quindi in presenza di ombreggiamenti a livello di diagramma  $P(V)$  si evidenziano più punti di massimo rispetto all'unico massimo della curva blu tipico dell'assenza di ombreggiamento.

# MPPT

- La bontà di un inverter risiede quindi nella sua capacità di seguire l'MPP delle stringa e di discriminare i massimi locali o falsi massimi (LMPP)



- Come viene effettuata quindi questa ricerca del massimo?

# MPPT – Perturbe & Observe

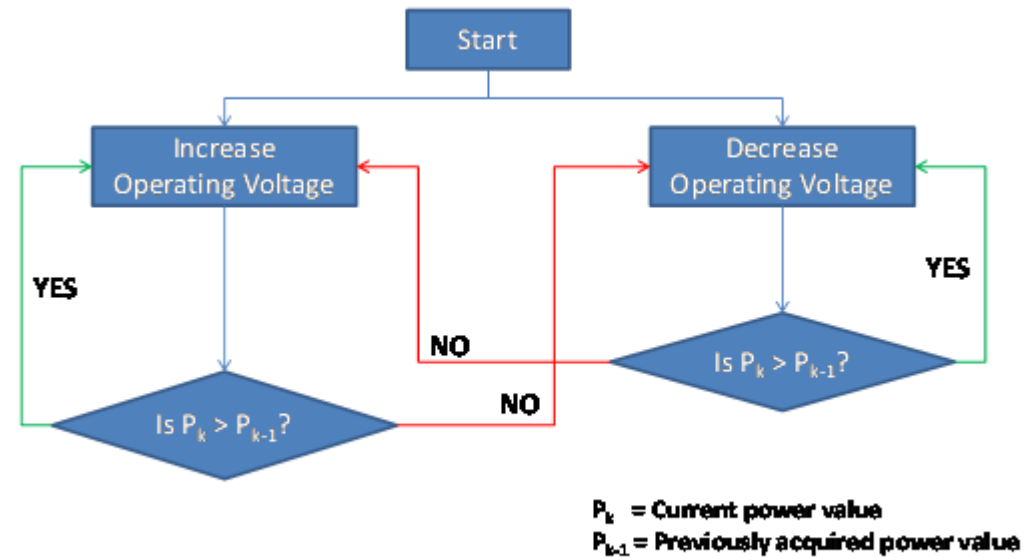
- Una delle metodologie più usate è quella detta perturbe & observe

- **Perturbe and observe**

- A intervalli prestabiliti la tensione dell'inverter viene variata a piccoli passi
- Se la potenza aumenta, la potenza viene variata ulteriormente in quella direzione fino al punto nel quale non aumenterà più: un massimo
- Se invece la potenza diminuisce, l'inverter torna ai valori di funzionamento precedenti
- Quindi una volta trovato il punto di massimo, l'MPPT dell'inverter farà sì che venga scansionata la zona vicina al punto di lavoro attuale per evitare la perdita di energia che si avrebbe nell'aumentare il range di scansionamento.

# MPPT – Perturbe & Observe

## ■ Perturbe and observe



# MPPT – Incremental Conductance

- Una seconda metodologia è quella detta incremental conductance

- **Incremental conductance**

- In questo metodo vengono utilizzati incrementi di tensione e corrente per verificare e predire effetti di variazioni di tensione.
- L'MPP viene calcolato quindi confrontando la conduttanza incrementale  $I_{\Delta}/V_{\Delta}$  con la conduttanza della stringa  $I/V$
- Quando  $I_{\Delta}/V_{\Delta} = I/V$  allora la tensione è quella di MPP.
- Matematicamente:
- Nell'MPP  $dP/dV = 0$ ,  $P = I * V$  quindi

$$\frac{dP}{dV} = V * \frac{dI}{dV} + I * \frac{dV}{dV}$$

- Quindi per  $\frac{dP}{dV} = 0$  si ottiene

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

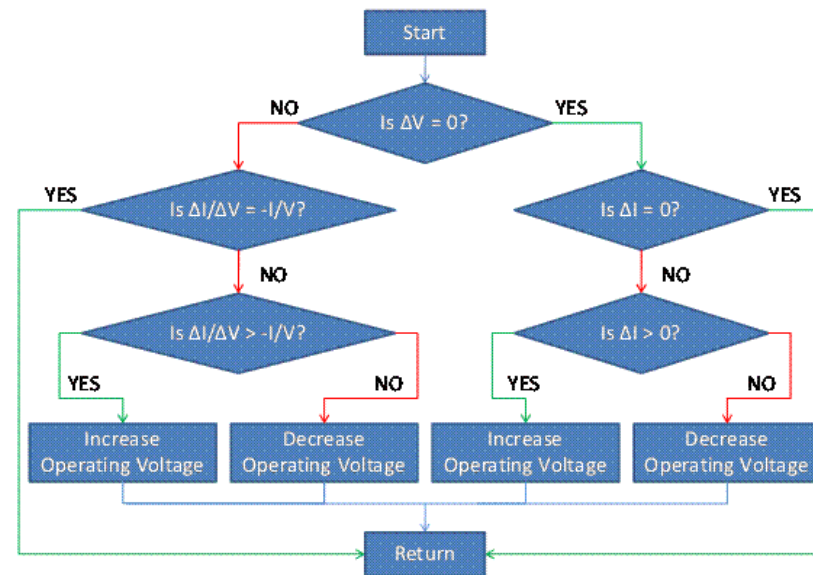
# MPPT – Incremental Conductance

## ■ Incremental conductance

■ Quindi per  $\frac{dP}{dV} = 0$  si ottiene

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V}$$

■ L'MPP viene raggiunto quindi quando la conduttanza incrementale è uguale all'opposto della conduttanza istantanea



# MPPT

- Sia il modo Perturbe & Observe (P&O) che quello Incremental Conductance (IC) sono detti metodi di 'hill climbing' proprio per come funzionano
- L'algoritmo di P&O richiede e provoca oscillazioni nella potenza attorno all'MPP
- IC trova l'MPP senza oscillare attorno ad esso
  - Funziona bene anche in condizioni di rapida variazione dell'MPP
  - Quando le variazioni sono però molto rapide può produrre oscillazioni



# MPPT – Nuove metodologie

- Abbiamo parlato fino ad ora di MPPT a livello di stringa
- Il suo maggior difetto come abbiamo visto è quello di poter essere ingannato dai falsi massimi o massimi locali
- I falsi massimi sono dovuti alle diversità tra i moduli.
- Nell'esempio visto si parlava di ombreggiamenti ma in definitiva le diversità sono dovute a:
  - Ombreggiamenti
  - Sporczia
  - Tolleranze di produzione
  - Invecchiamento

# MPPT – Nuove metodologie

- Per ovviare a questo si sta affermando una nuova tecnologia che prende il nome di MLPE ovvero

**Module Level Power Electronics**

che vedremo più avanti

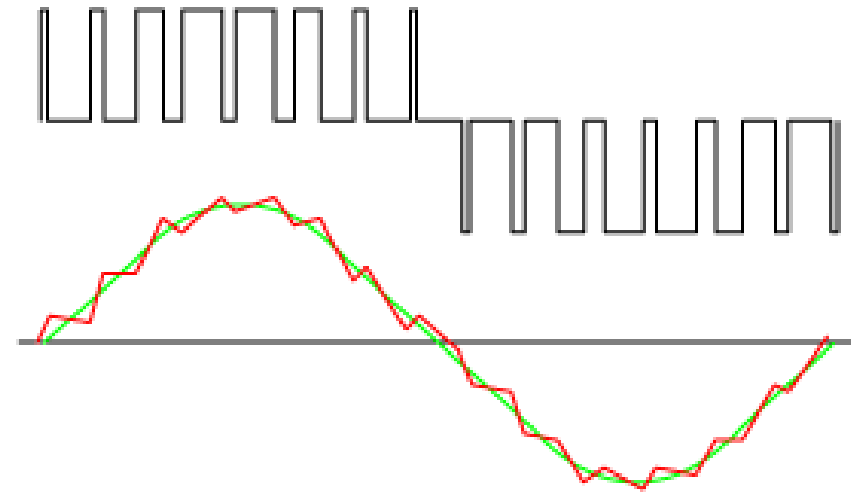
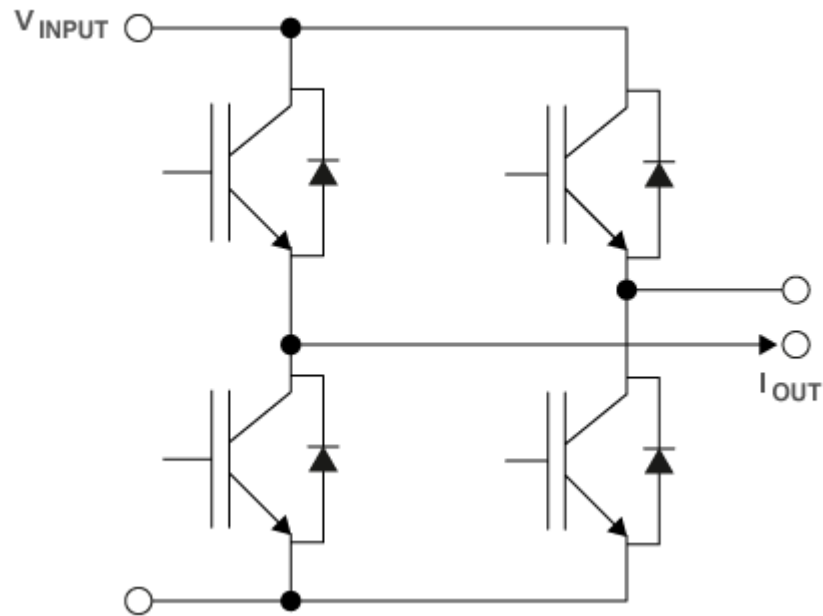
**CONVERSIONE CC/CA**

# Conversione CC/CA

- Come avviene quindi la conversione CC/CA?
- La conversione CC/CA è ottenuta con dispositivi switching di potenza (IGBT, MOSFET, ...).
- Con commutazioni a bassa frequenza la forma d'onda di uscita risultante è molto discretizzata con rapide variazioni.
- Nel caso in cui dovesse essere necessaria un'onda sinusoidale in uscita si utilizzano delle tecniche di commutazione/switching ad alta frequenza. Quella più usata è la PWM, Pulse Width Modulation.

# Conversione CC/CA

- Il sistema più usato è lo stadio full-bridge con 4 transistor



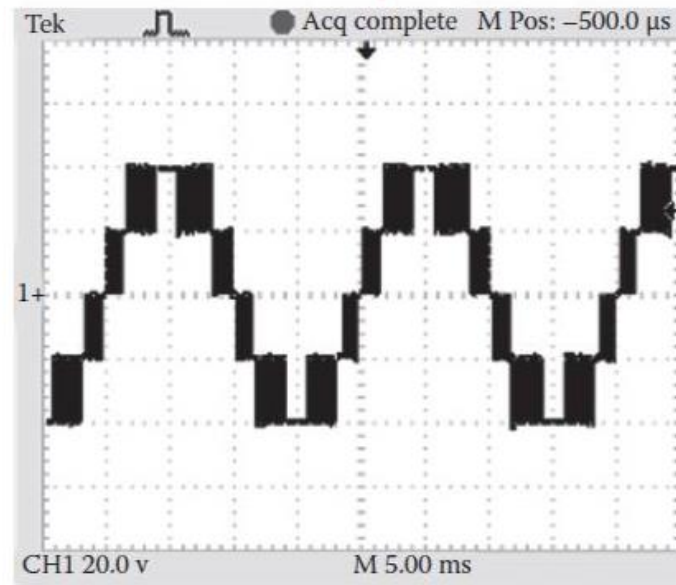
- Se gli IGBT del ramo superiore vengono commutati ad alta frequenza (20 kHz) mentre quelli inferiori vengono commutati a frequenza di rete si avrà una forma d'onda in uscita come quella a lato

# Conversione CC/CA

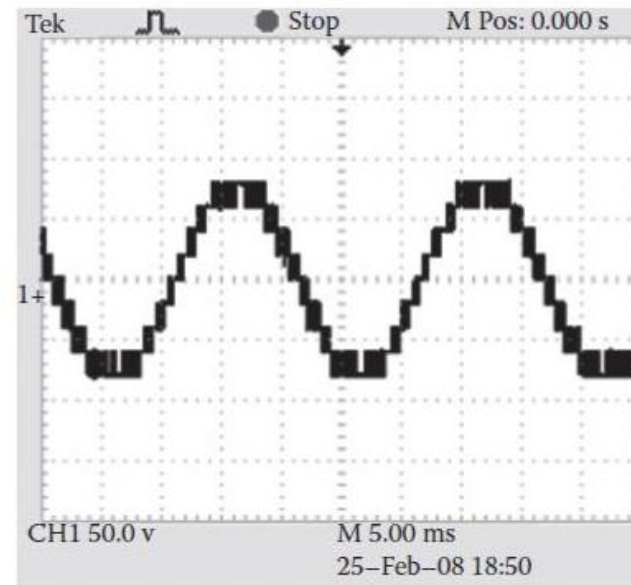
- Un sistema come il precedente è detto a 2 livelli perché in uscita si ha una tensione a 2 livelli
- Una nuova tecnica di conversione si sta affermando ed è quella degli inverter multilivello, ovvero con una tensione in uscita che presenta più di 2 livelli
- In questo caso il ramo che nel caso precedente è formato da un IGBT nel caso multilivello è formato da più dispositivi di commutazione (MOSFET, ...)

# Conversione CC/CA

## ■ Inverter Multilivello:



(a)



(b)

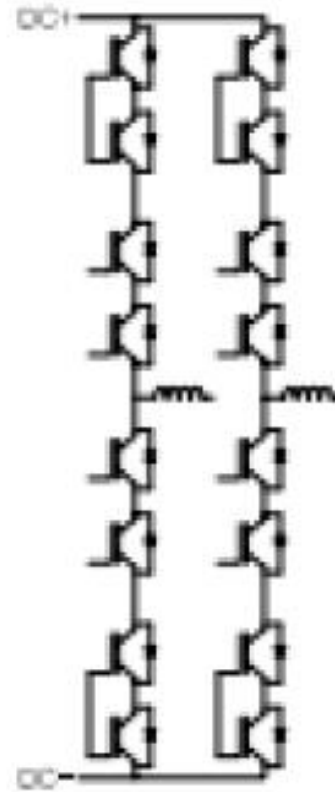
Multilevel inverter output voltage: (a) two-level and (b) nine-level.

## ■ I vantaggi del multilivello sono:

- Migliore forma d'onda in uscita e quindi THD minore
- La frequenza di commutazione del comando PWM può essere ridotta rispetto al caso a 2 livelli

# Conversione CC/CA

■ Inverter Multilivello:





# Conversione CC/CA

## ■ Inverter Multilivello:

- Con una forma d'onda d'uscita migliore e minor THD, gli inverter multilivello hanno un'efficienza di conversione maggiore
- Necessitano di una componente magnetica (filtro passa-basso) più piccola
- I MOSFET lavorano a tensioni inferiori rispetto agli IGBT per cui si hanno perdite inferiori nei transistori e in conduzione
- E lavorando a tensioni inferiori si ha un ripple inferiore

**NUOVE TECNOLOGIE**

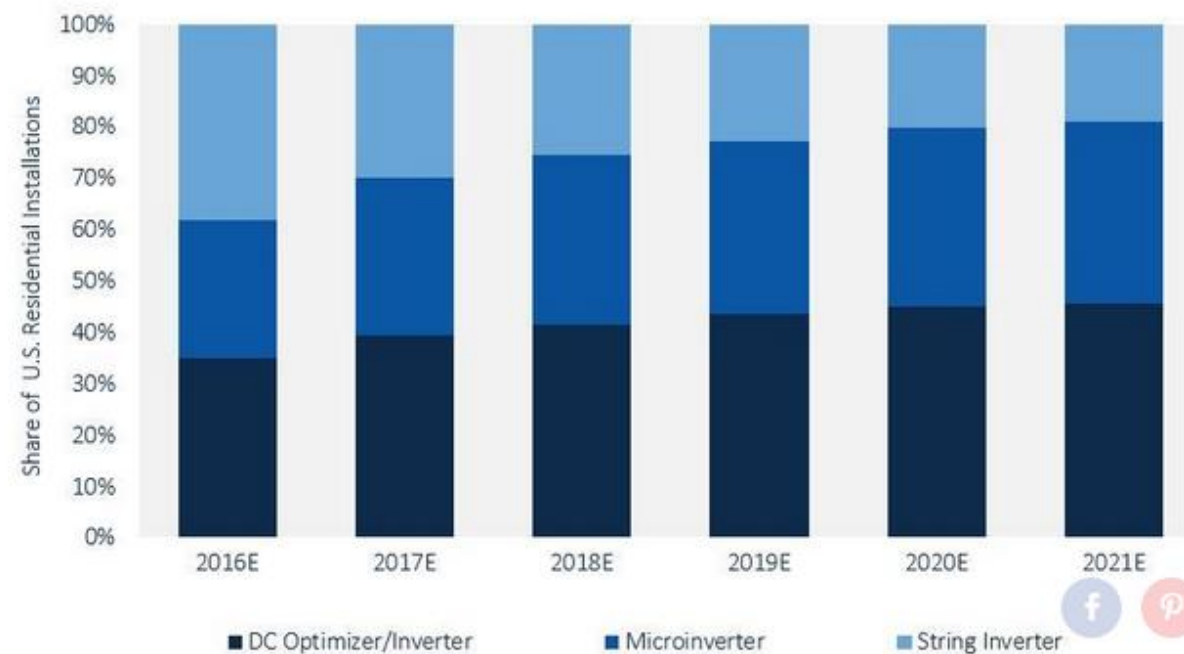
# Nuove Tecnologie

- Abbiamo visto l'MPPT e le tecniche di conversione CC/CA
- MPPT e conversione CC/CA che in molti inverter sono a carico dell'inverter stanno subendo un cambiamento grazie alla **MLPE**, ovvero **Elettronica di Potenza a Livello di Modulo** ovvero ottimizzatori in CC e microinverter
- Si tratta di 2 approcci che eseguono una redistribuzione delle funzionalità dell'inverter. L'inverter opera MPPT e conversione CC/CA:
  - Con gli ottimizzatori in CC porto a livello di modulo la funzione di MPPT – all'inverter rimane la conversione CC/CA
  - Con i microinverter spostato le funzionalità dell'inverter a livello di modulo per cui già a livello di modulo avrò un'uscita in CA

# Nuove Tecnologie

## ■ Un po' di numeri del mercato dell'MLPE

- Negli USA nel 2017 più del 70% delle installazioni residenziali usa soluzioni MLPE
- Con le richieste derivanti dal codice di Rete USA (Rapid shutdown e Arc Fault Detection) le percentuali di utilizzo salgono al 90% negli Stati che l'hanno adottato



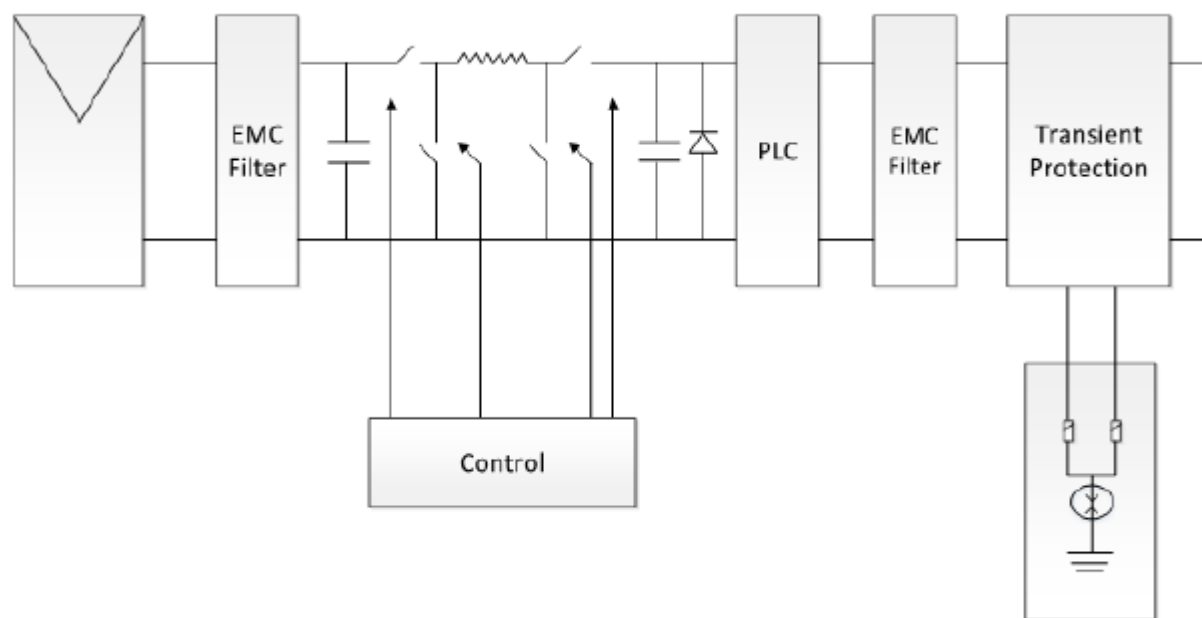
Source: The Global PV Inverter and MLPE Landscape: H2 2016

# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC

- Per quanto riguarda il mercato Italiano, non potendo utilizzare i microinverter per problematiche legate alla gestione delle interazioni con la rete, il concetto di MLPE si declina quindi con i soli ottimizzatori in CC
- L'ottimizzatore in CC non è nient'altro che un convertitore CC/CC che converte la potenza in CC dal modulo (alla tensione e corrente nell'MPP, ovvero  $V_{mpp}$  e  $I_{mpp}$ ) ad una diversa tensione e corrente
- In questo modo risolvo ogni problematica nella ricerca dell'MPP perché spostandomi a livello del singolo modulo non avrò mai la problematica dei falsi massimi

# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC

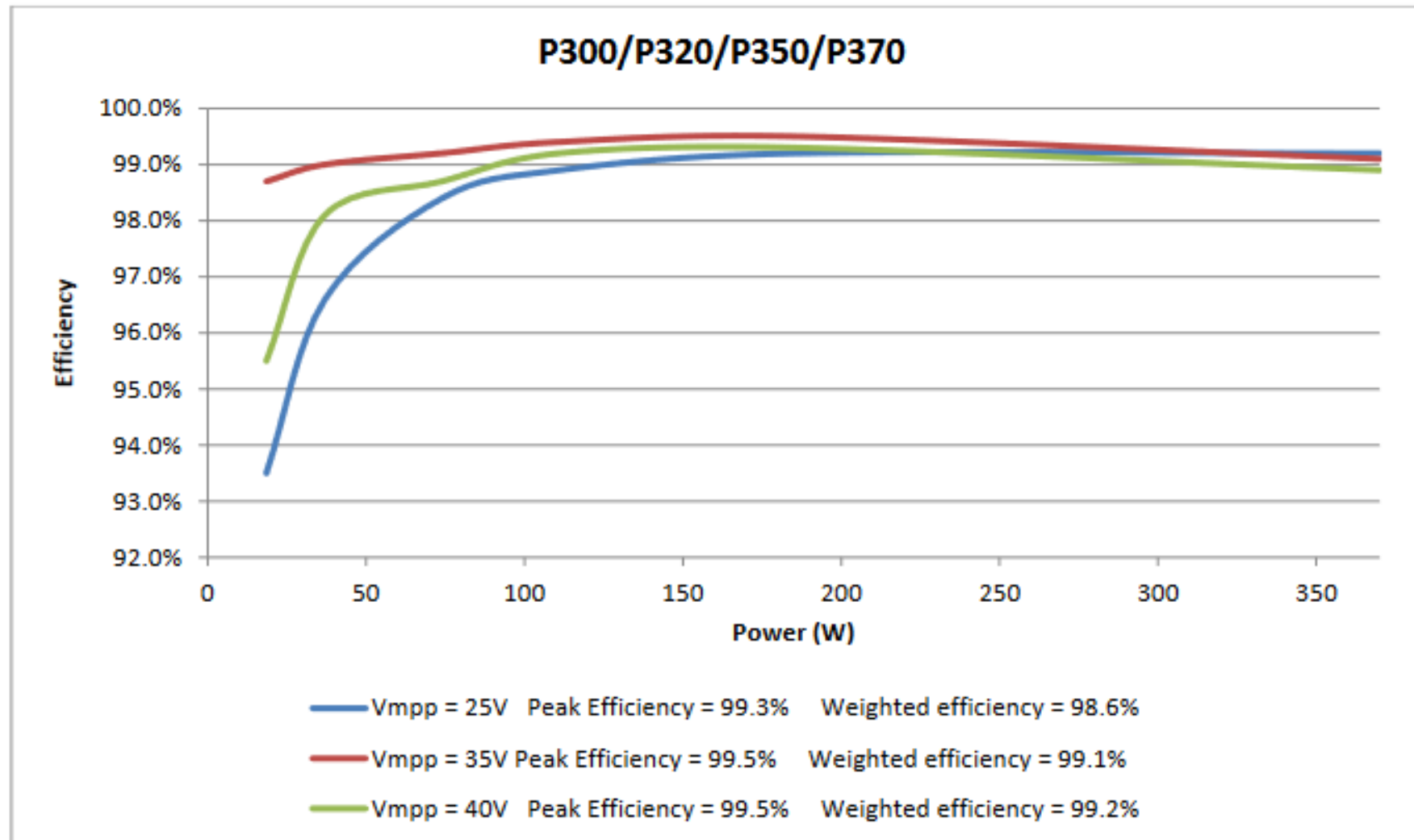
- Una tipologia di conversione CC/CC è quella buck-boost nella quale la tensione di uscita del convertitore può essere inferiore o superiore a quella di ingresso



- Come si può vedere dai grafici per questi convertitori CC/CC si ha:
  - Efficienza di picco: 99.5%
  - Efficienza pesata: 98.6%

# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC

■ Efficienza degli ottimizzatori:

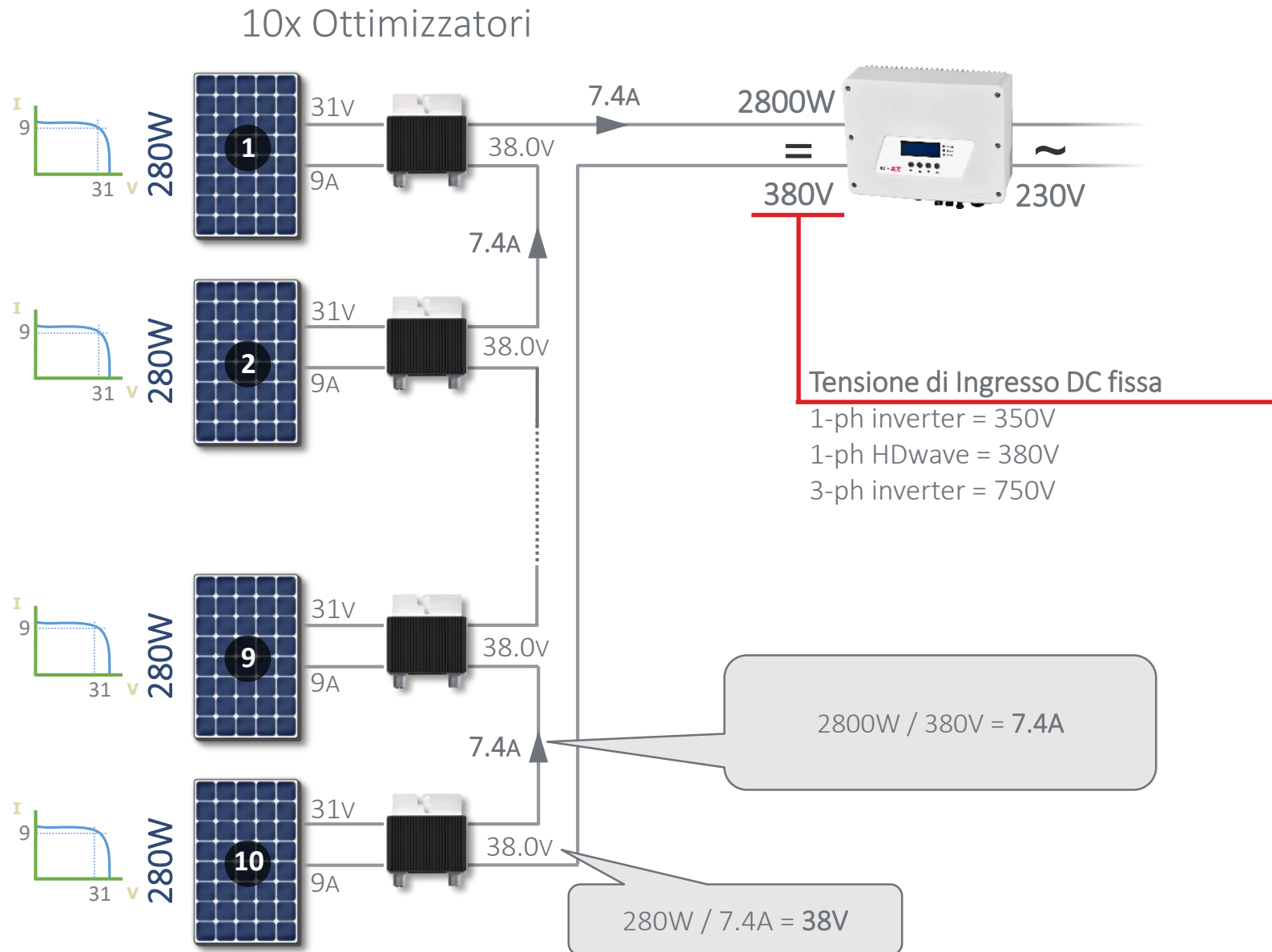


# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC

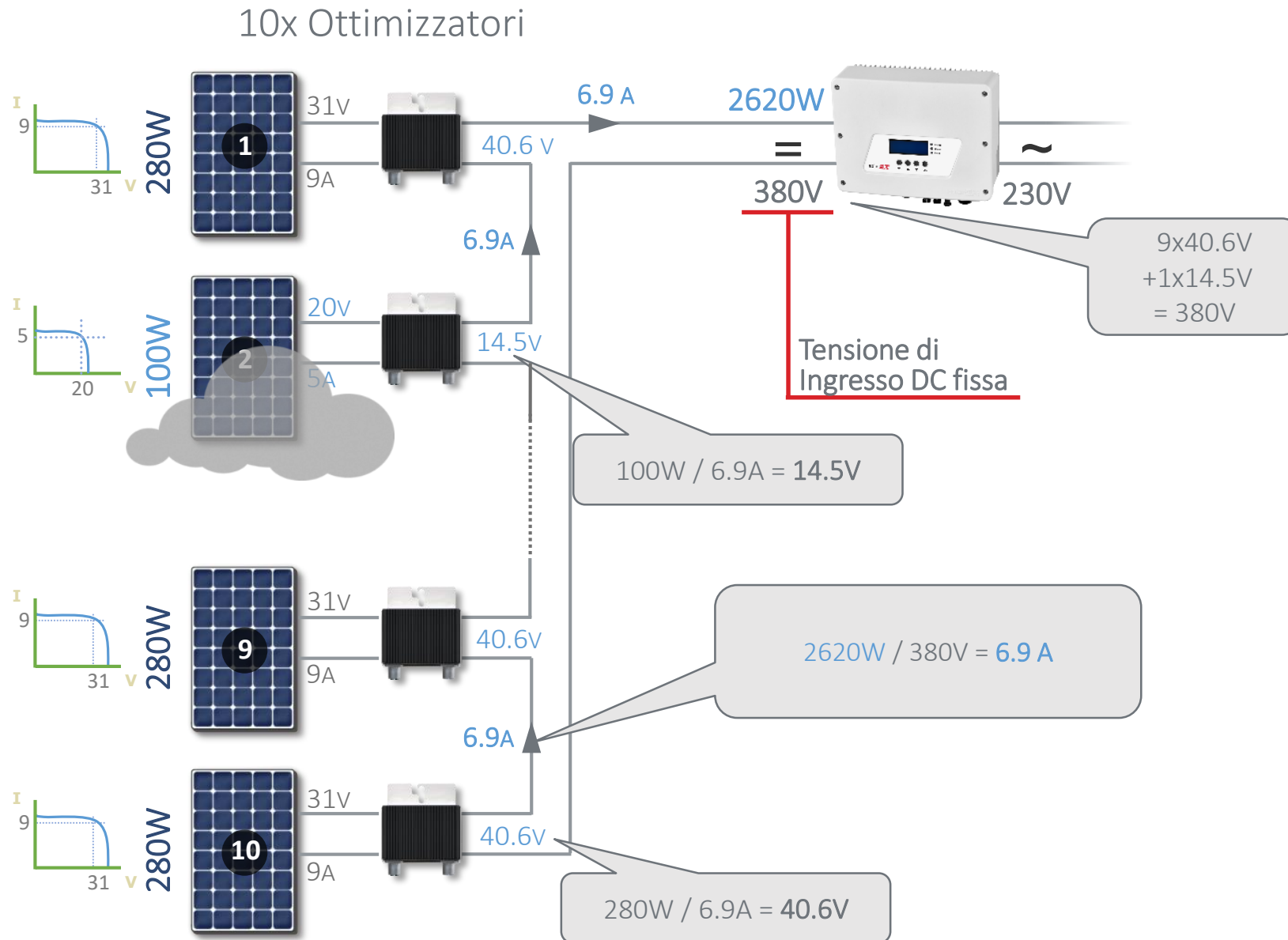
- Come funzionano dal punti di vista elettrotecnico gli ottimizzatori in CC con buck-boost di tensione?
- Lo vediamo nelle slide successive facendo un'ipotesi iniziale per semplicità matematica
  - Ipotizziamo che gli ottimizzatori siano dei convertitori CC/CC ideali ovvero con efficienza del 100% per cui se all'ingresso avrò una potenza  $P_{mpp}$ , in uscita avrò la stessa potenza  $P_{mpp}$
  - In realtà l'errore che facciamo è molto piccolo viste le curve della slide precedente
- Con MPPT spostato a livello di modulo, l'inverter può lavorare ad una tensione di stringa fissa, quella ottimale per la conversione CC/CA
- Vediamo il tutto dal punto di vista elettrotecnico



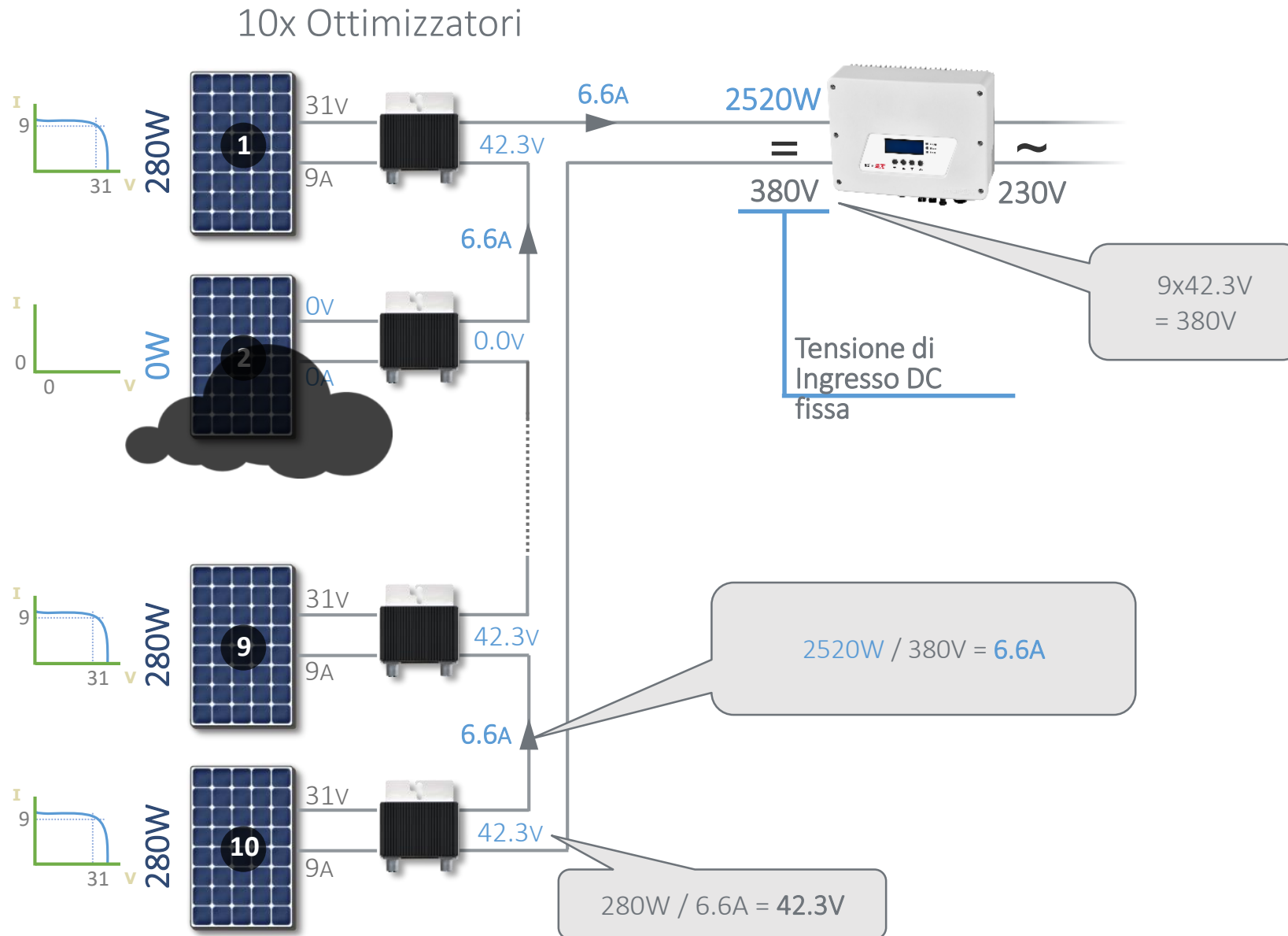
# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC – Sistema Ideale



# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC – Modulo in Ombra



# Nuove Tecnologie – Ottimizzatori in CC – Modulo KO



**RICONOSCERE INVERTER DI  
BUONA MANIFATTURA**

**solar**edge

# Grazie



Evento realizzato in collaborazione con



ORDINE  
INGEGNERI  
ASCOLI PICENO



ENERGY  
RINNOVA LA TUA ENERGIA