

**SUPSI**

# Gestione degli ombreggiamenti negli impianti FV

Solar Update Svizzera italiana 2022  
Bellinzona, 01.06.2022

Mauro Caccivio, Head of SUPSI PVLab





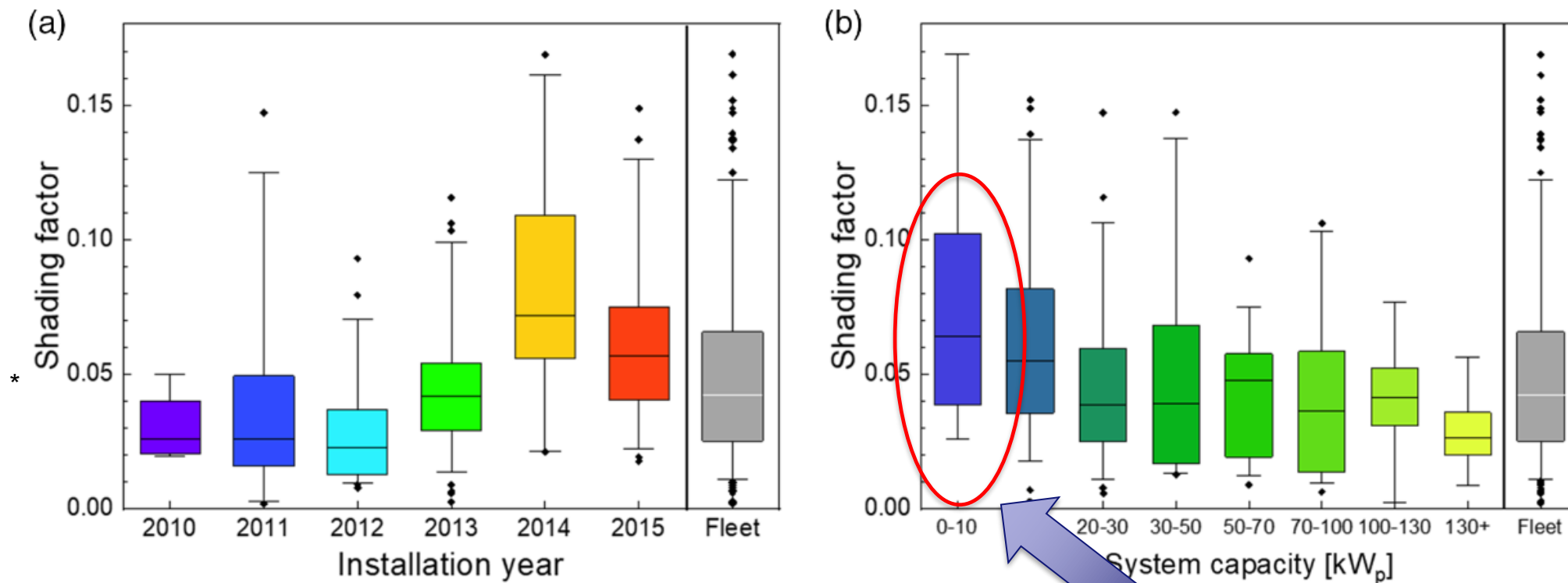
## Gli ombreggiamenti: un problema spesso evitabile



*"Investigations on the Main Causes for Reduced Performances during the Early Stage of Life of Rooftop PV Systems" D.Chianese, M.Caccivio, EUPVSEC 2020*



## Gli ombreggiamenti: un problema spesso evitabile, evoluzione nel tempo per 55 impianti su tetto in Svizzera (2010-2015)

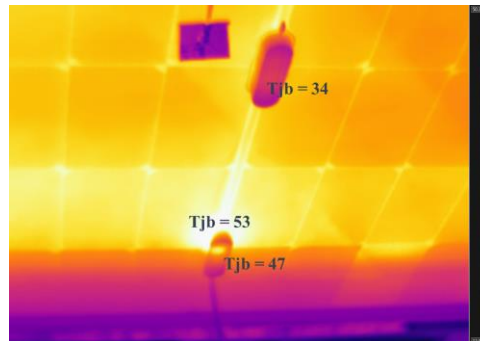
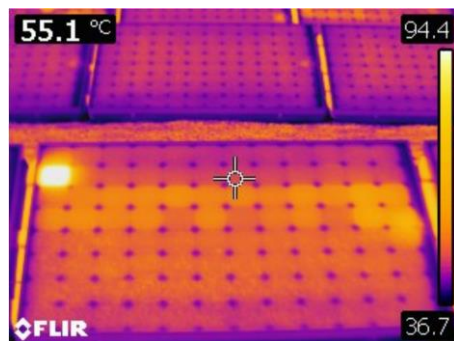
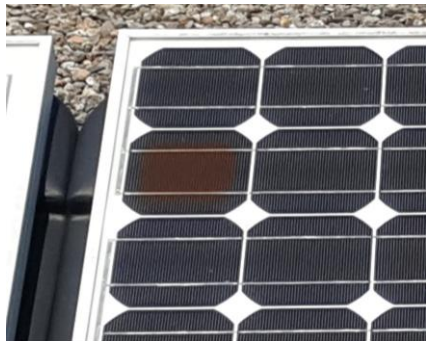
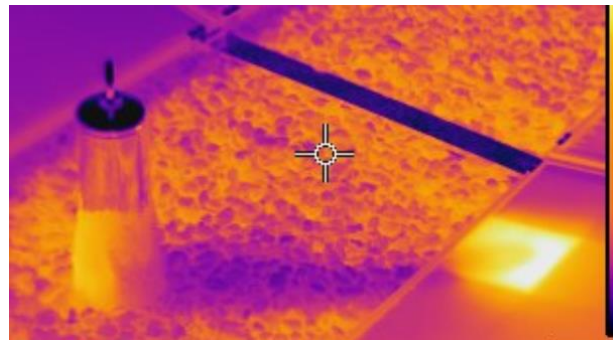
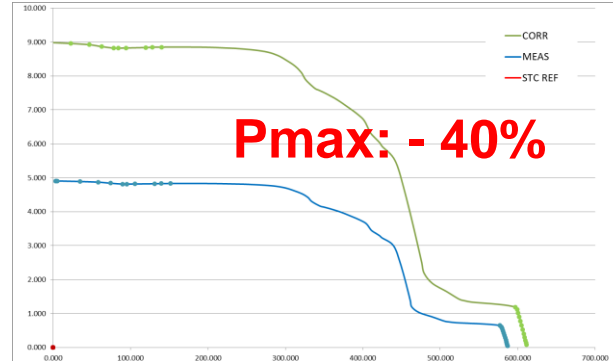


\* Shading factor: percentuali di giorni con ombreggiamento su giorni totali

- Piccoli impianti più soggetti a ombreggiamenti

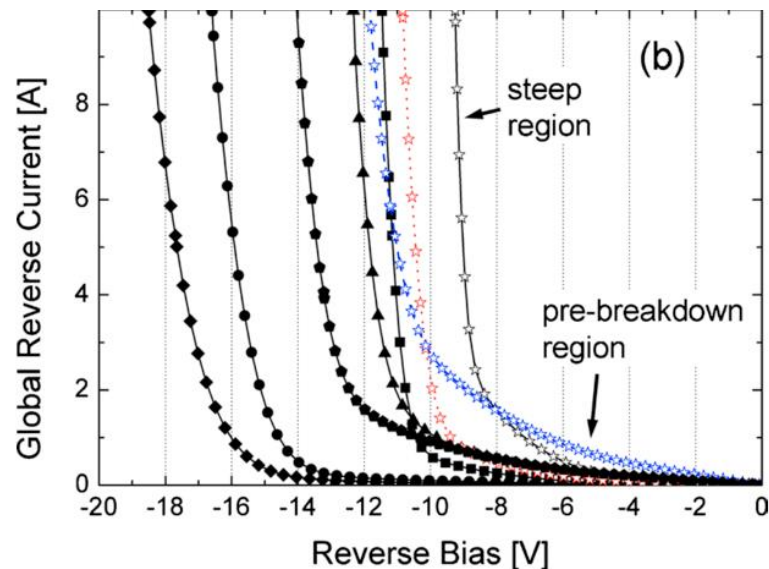
*"Long-Term Performance and Shade Detection in Building Integrated Photovoltaic Systems" Andrew Fairbrother, Hugo Quest, Ebrar Özkalay, Philipp Wälchli, Gabi Friesen, Christophe Ballif, Alessandro Virtuani*

## Gli ombreggiamenti: conseguenze

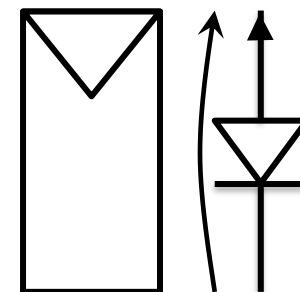
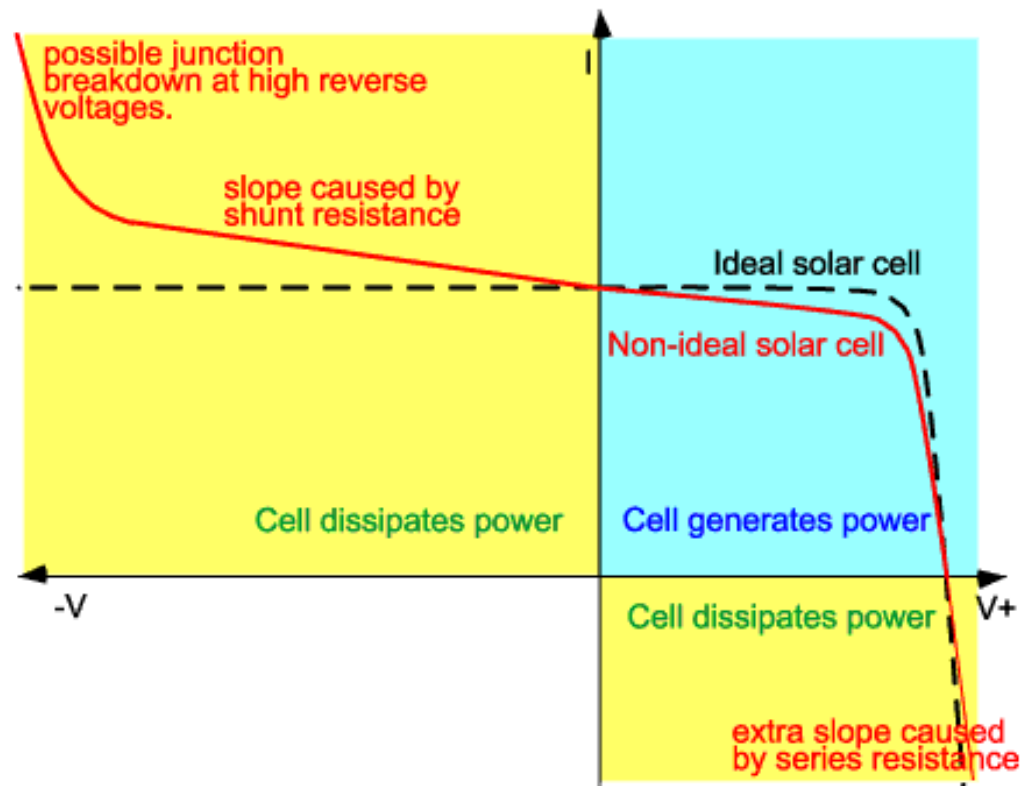


- Perdita di potenza
- Hot spot
- Stress ripetuto su celle e diodi
- Processi di degrado

## Ombreggiamento e potenza dissipata

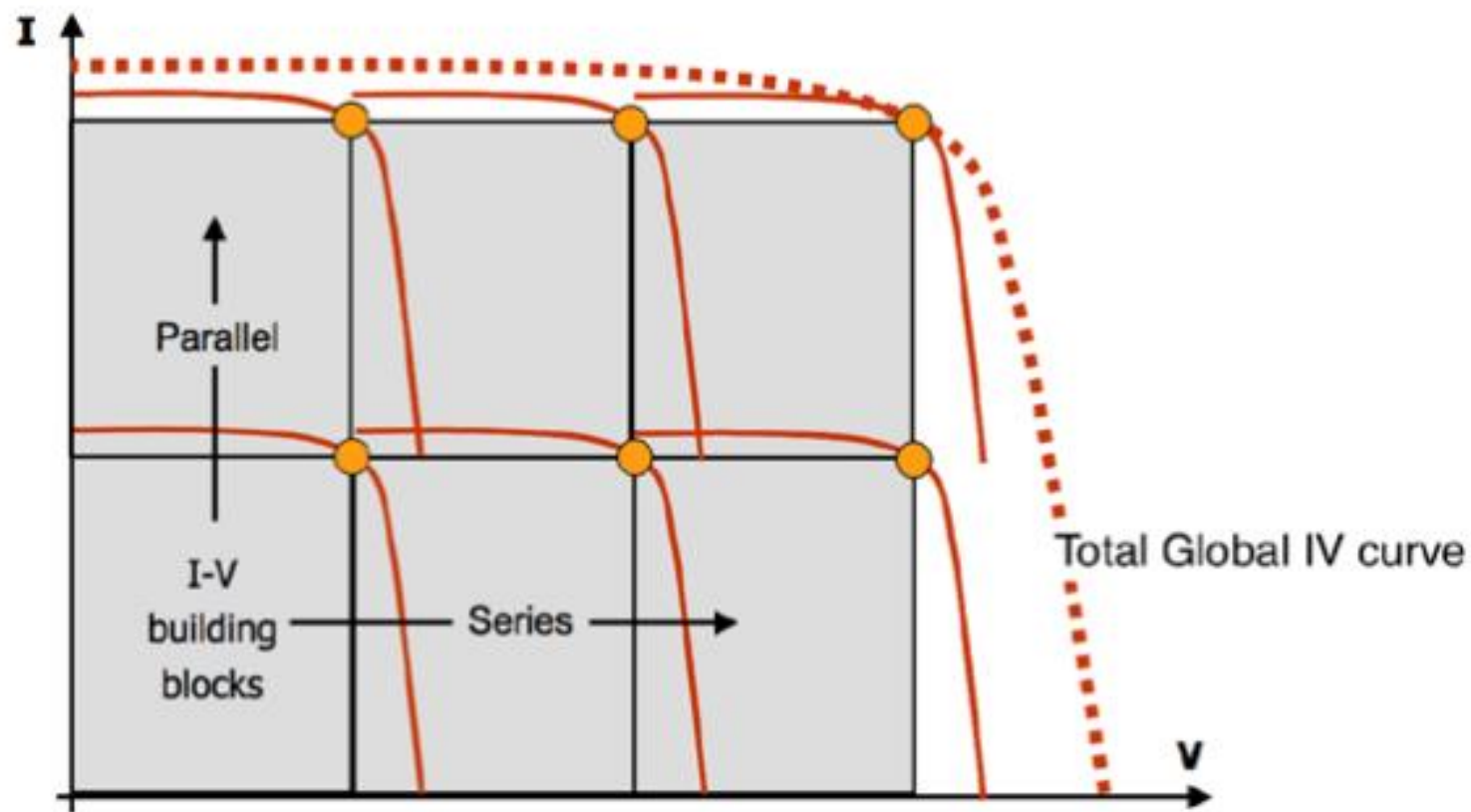
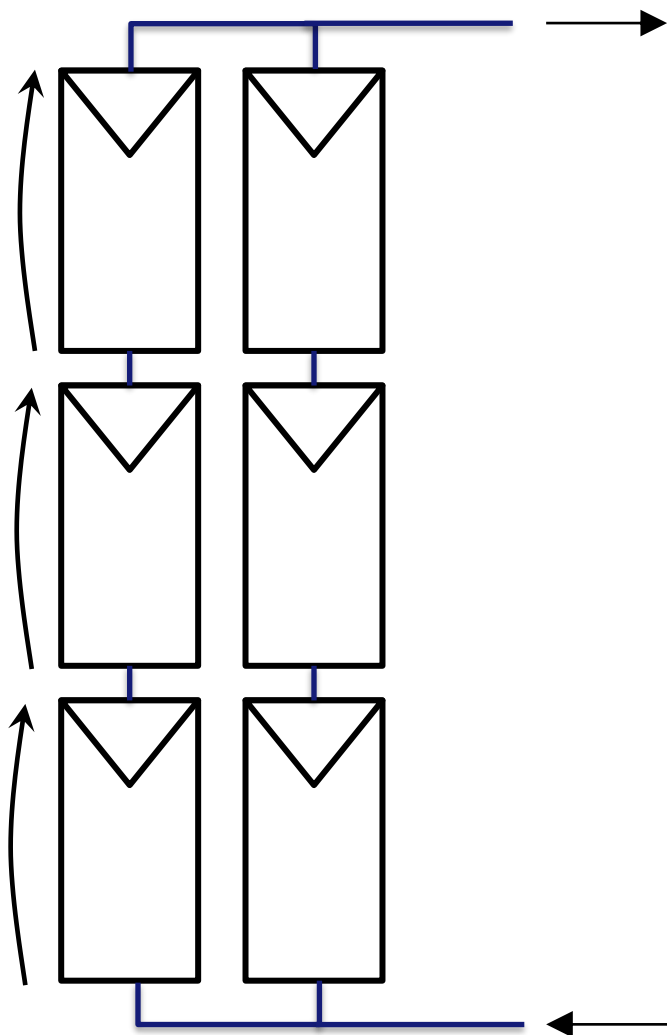


- Comportamento delle celle in tensione inversa molto variabile

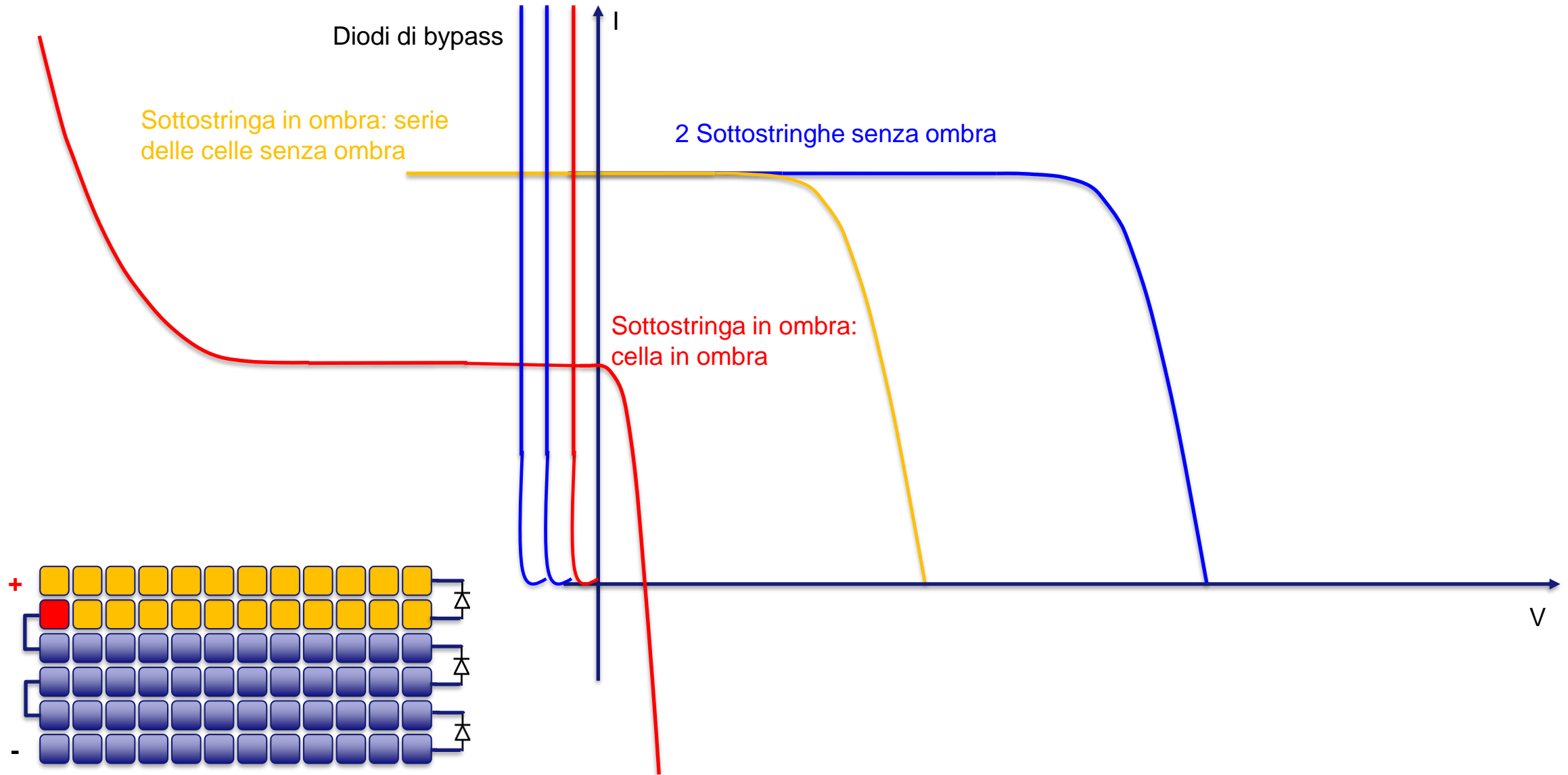


*"High net doping concentration responsible for critical diode breakdown behavior of upgraded metallurgical grade multicrystalline silicon" Wolfram Kwapił et al.*

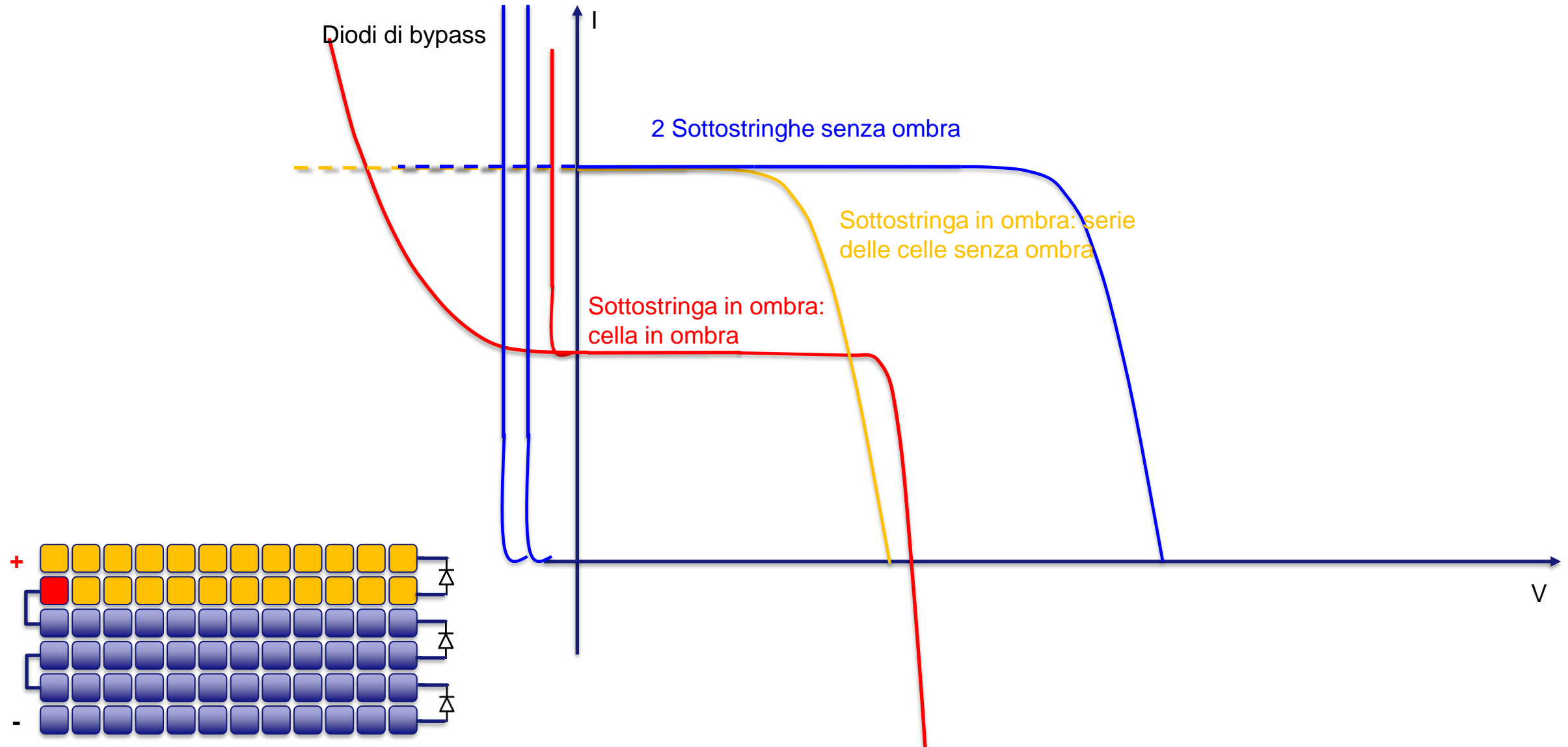
## Ombreggiamento e potenza dissipata: somma delle caratteristiche per celle in serie e in parallel



## Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle

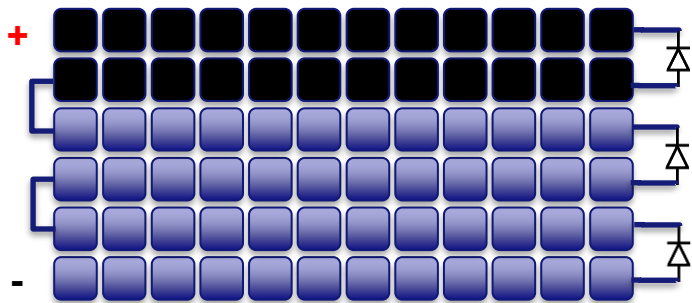
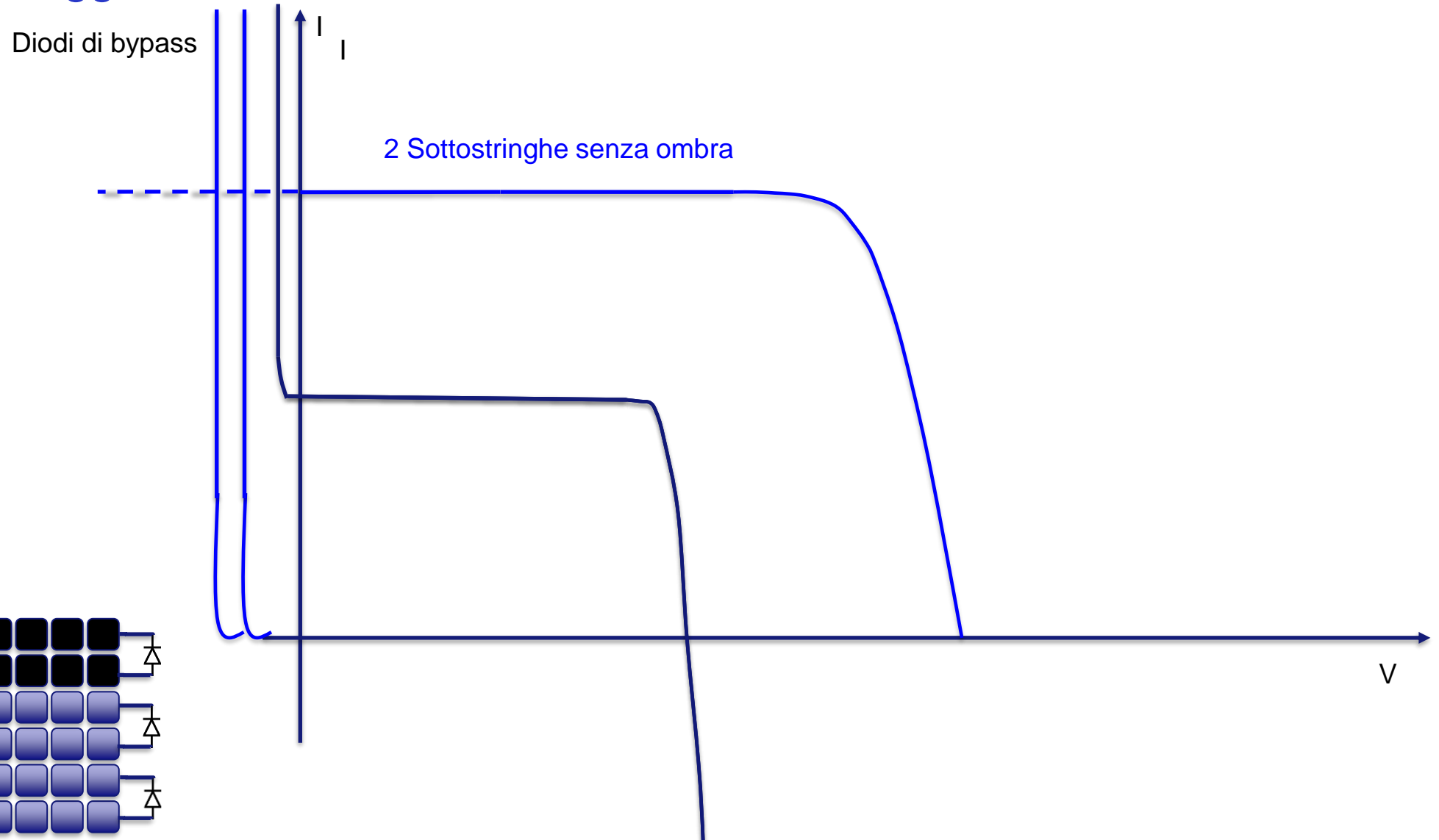


## Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle

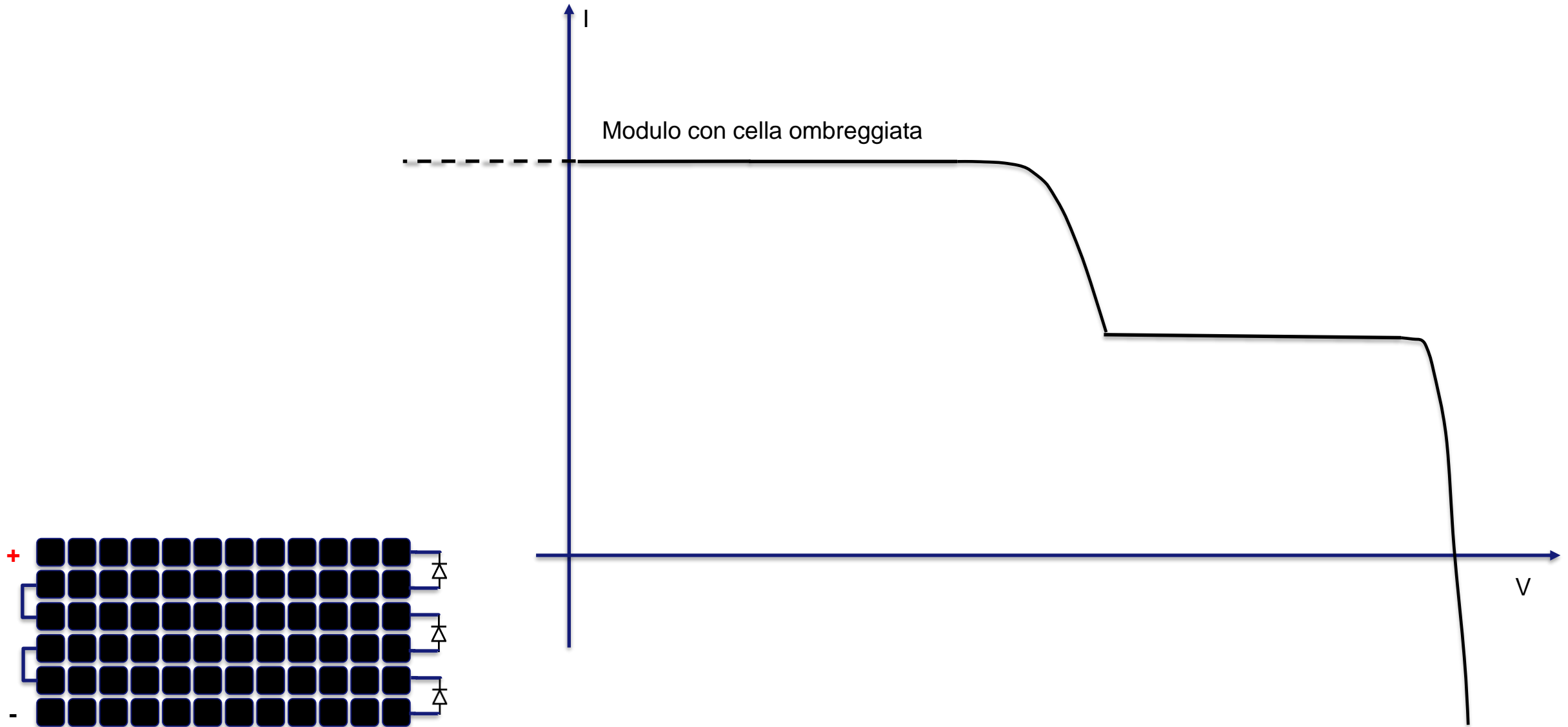




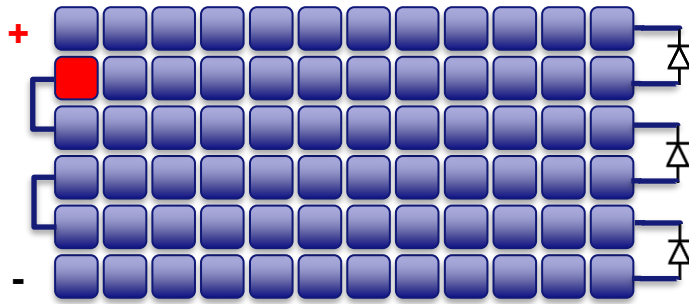
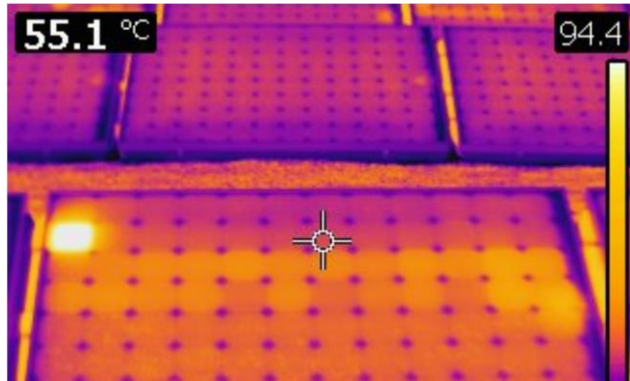
## Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle



## Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle

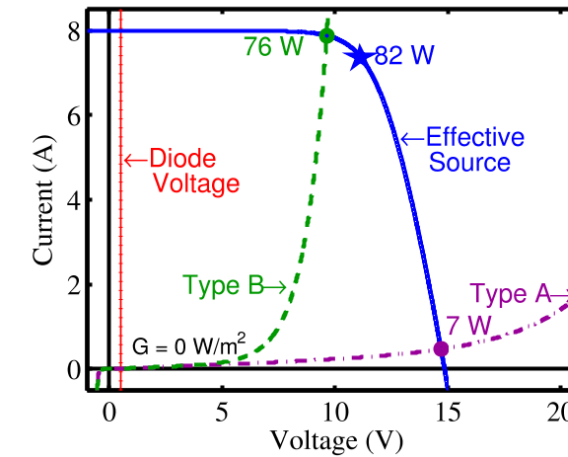
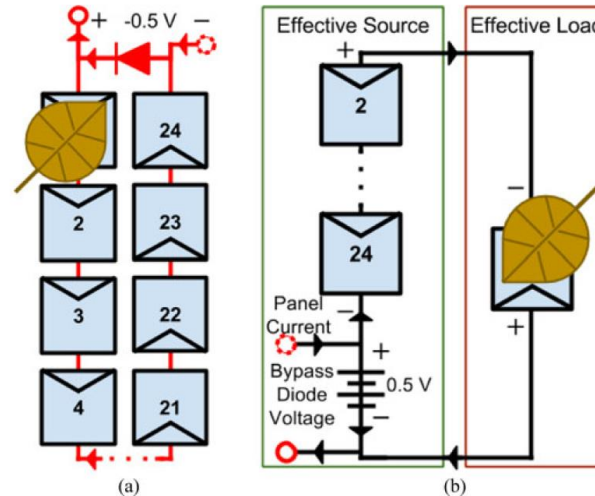


## Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle: 24 celle in serie per sottostringa, il diodo di bypass **interviene**



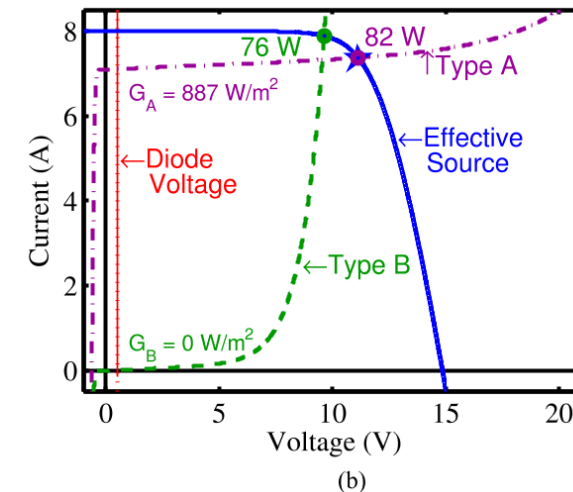
Pcella: 3.4W

Dissipare durante l'hot spot una potenza inferiore a 2 volte la Pcella è considerato il limite per evitare episodi distruttivi



Ombra: 100%

Dissipazione fino a **20 volte** la potenza nominale



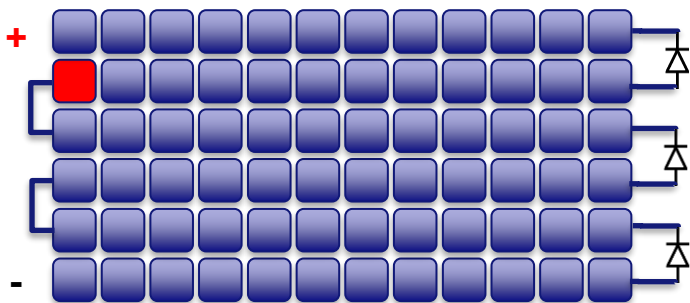
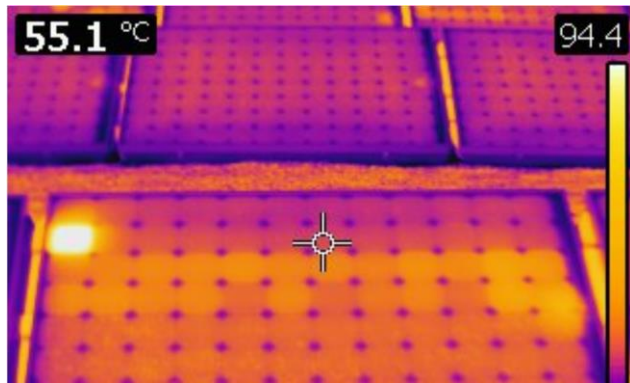
Ombra: 11.3%

Dissipazione fino a **20 volte** la potenza nominale

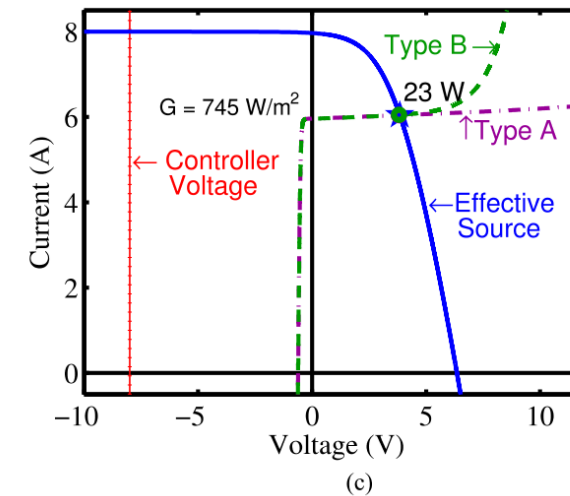
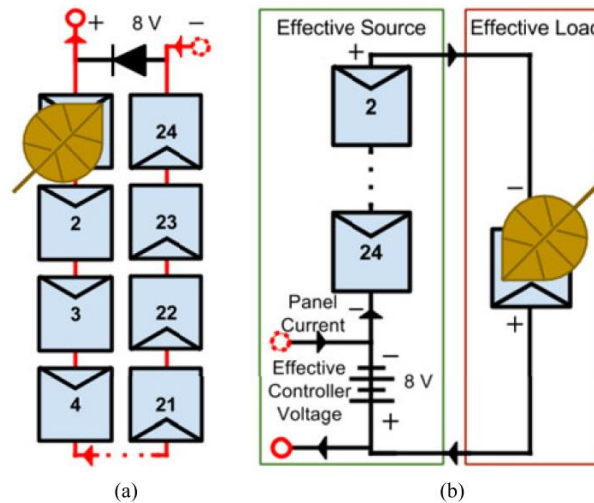
"Reexamination of Photovoltaic Hot Spotting to Show Inadequacy of the Bypass Diode" Katherine A. Kim, Member, IEEE, and Philip T. Krein, Fellow, IEEE



Esempio di ombreggiamento su un modulo da 72 celle: 24 celle in serie per sottostringa, il diodo di bypass **non interviene**, mi trovo in MPP



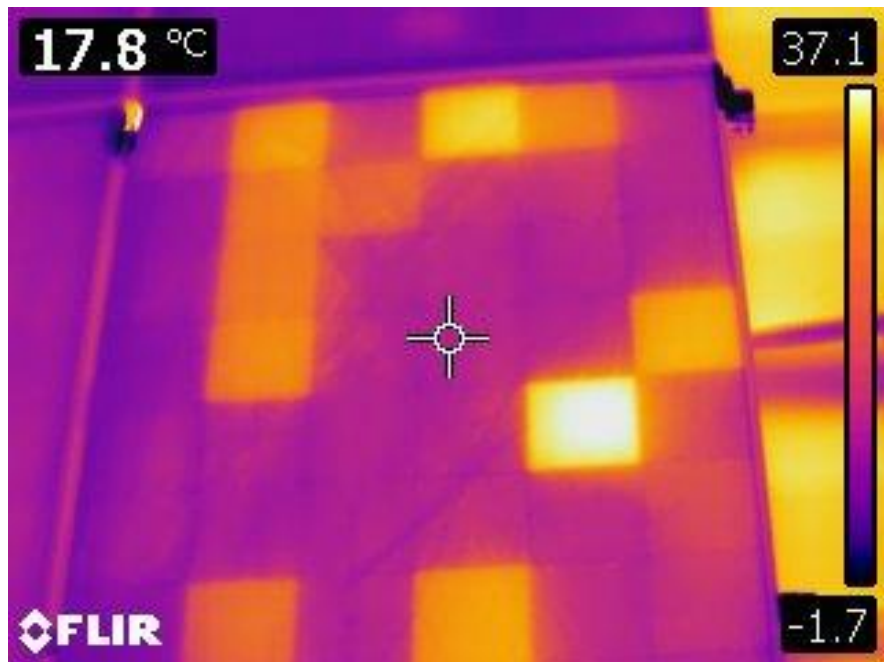
Pcella: 3.4W



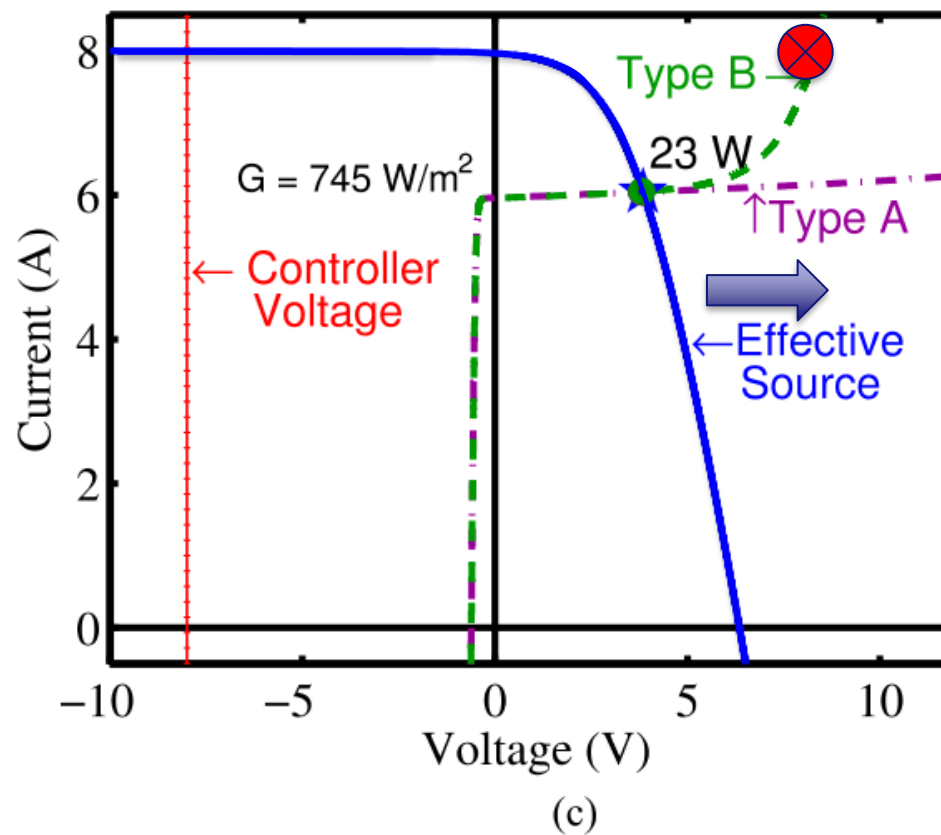
Ombra: 25.5%

Dissipazione  
fino a **7 volte** la  
potenza della  
cella

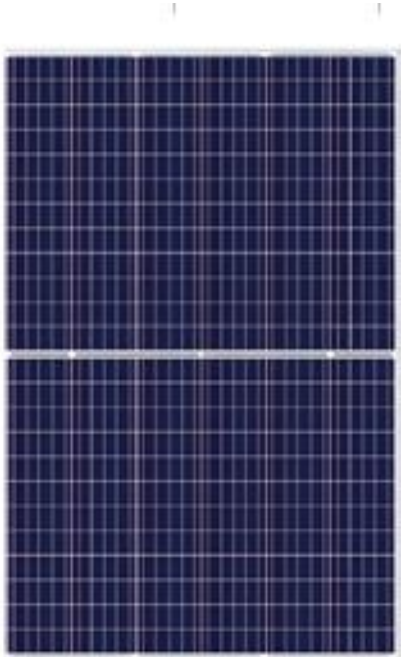
Più mi trovo vicino al punto di corto circuito, più è alta la potenza dissipata.



Pcella: 3.4W

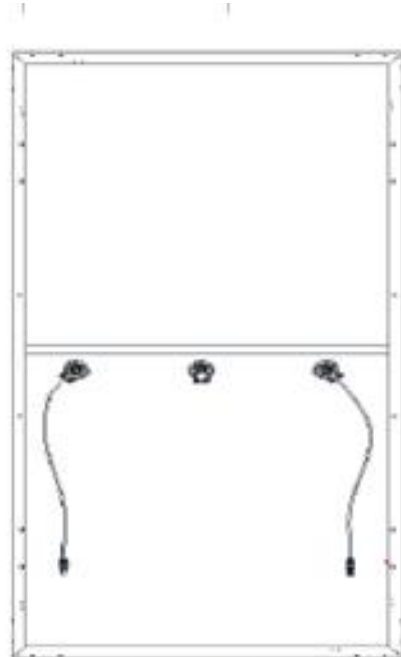


## Moduli half cut: topologia



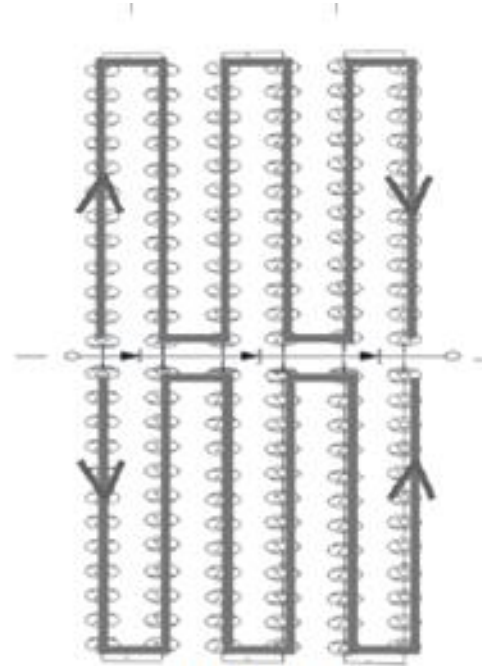
Front View

Dual cell



Back View

Split junction box

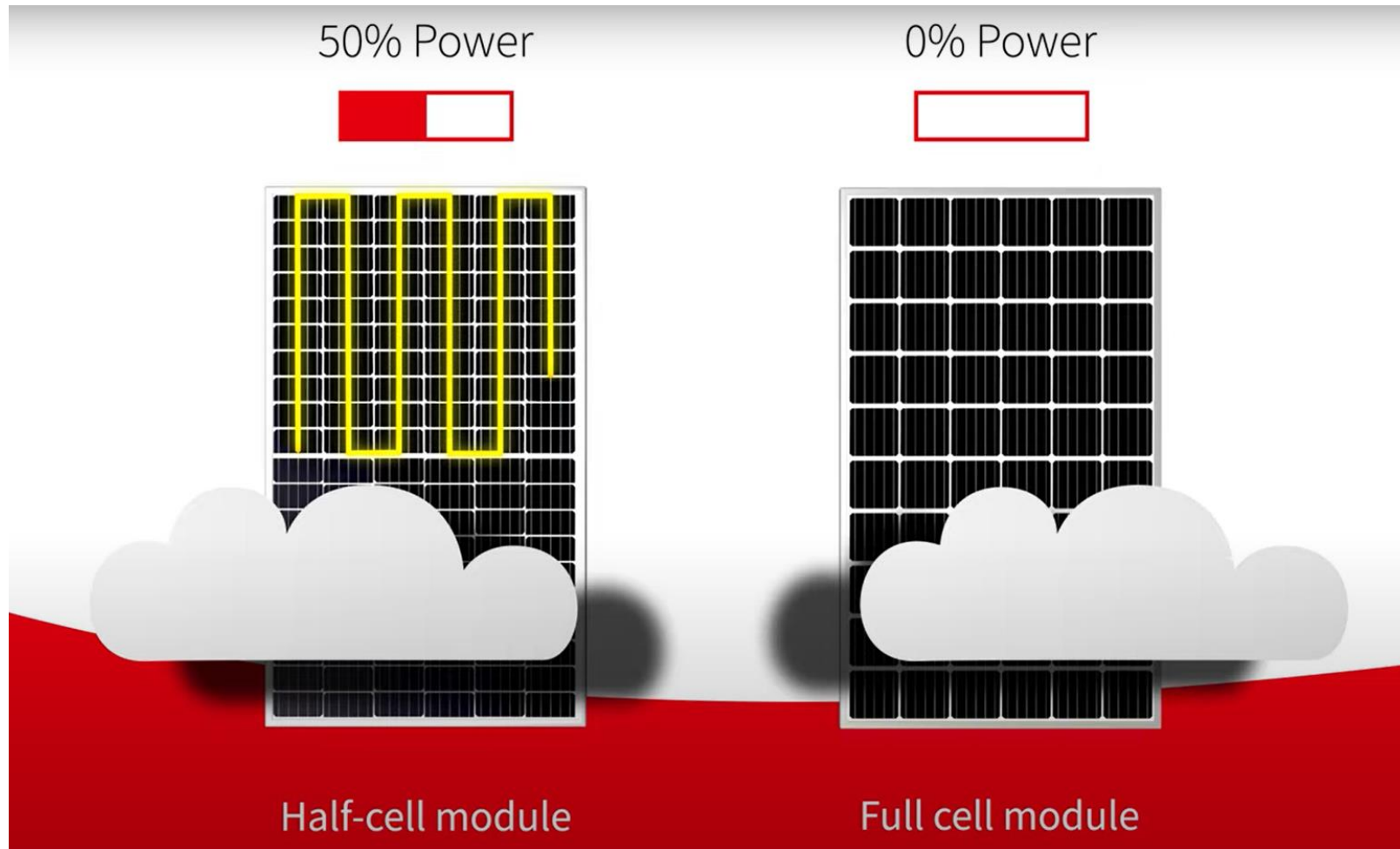


Circuit

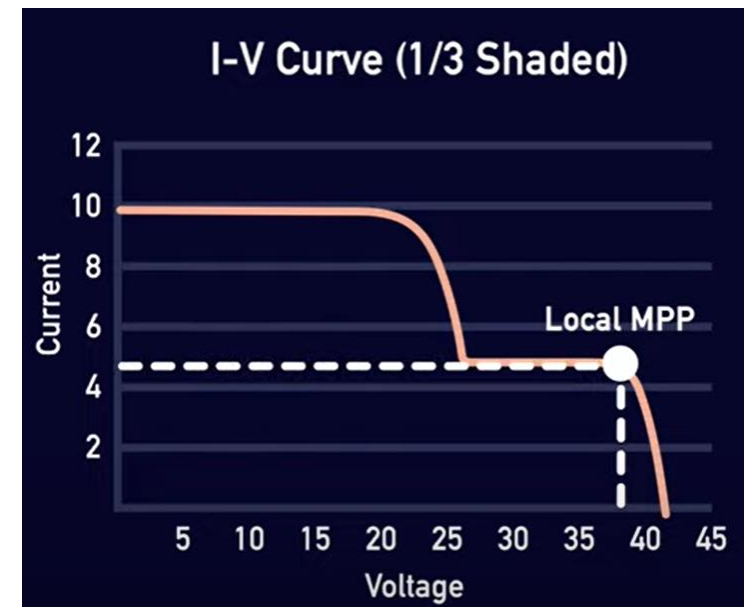
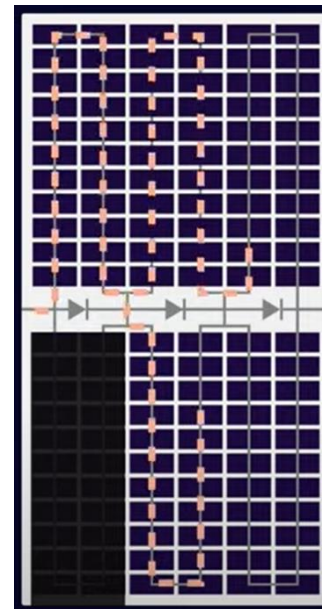
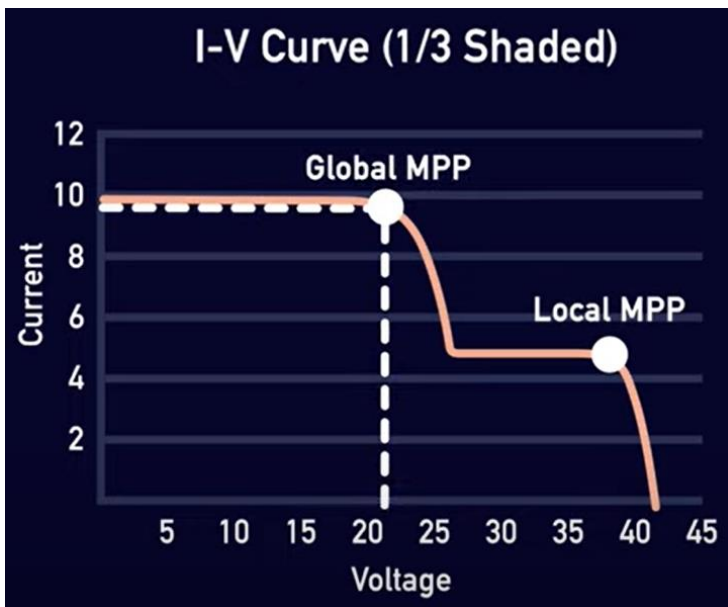
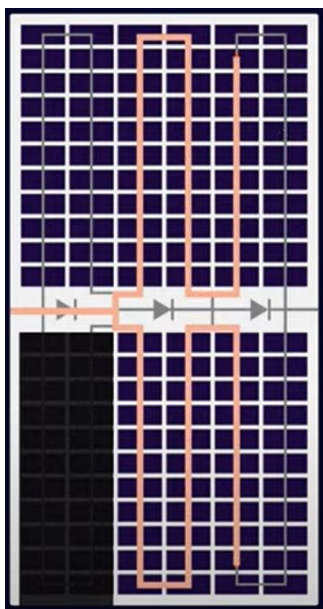
Series & parallel



## Moduli half cut: davvero migliori per la resistenza alle ombre?



## Moduli half cut: 2 punti di massima potenza



- Il punto globale è quello che garantisce la potenza massima, alla massima corrente, con l'intervento del diodo di bypass che cortocircuita la stringa in parallelo
- Il punto locale non fa intervenire il diodo di bypass, mantenendo la corrente della stringa in parallelo, ma riducendo di conseguenza la potenza massima

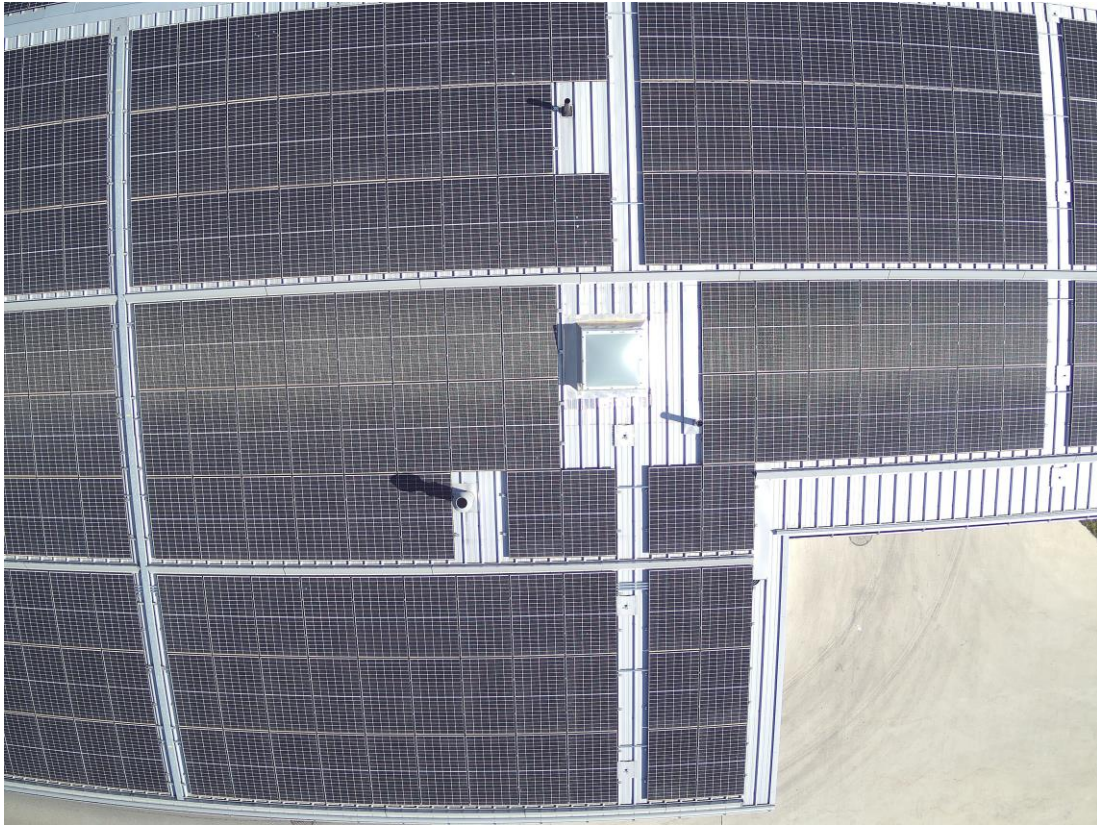
## Moduli half cut: 2 punti di massima potenza



- L'inverter sceglie il massimo globale: solo se uso ottimizzatori o se ho tutti i moduli con la stessa ombra ho un vantaggio rispetto a modulo full-cell
- Con il massimo globale i diodi di bypass del primo modulo conducono e fanno lavorare il primo modulo vicino al corto circuito



## Moduli half-cut: hot spot secondari



Images courtesy of R.Kroni, Energie Netzwerk

02/06/2022

## Progetti di ricerca presso SUPSI PVLav, con tematica ombreggiamenti

### **ATTRACT:**Advanced Techniques for The chaRACTerisation of photovoltaic modules

Exploration of new procedures, stability issues, repeatability and measurement uncertainty, and implementation of new equipment



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Swiss Federal Office of Energy SFOE

### **REBI PV:** RELiability of PV Systems Integrated in the built environment

Accelerated and not accelerated testing of a set of innovative BIPV products at the early stage on the market, in order to trigger known and unknown failure modes, analyze them in terms of causes and occurrence and, finally, determine a model for the most relevant of them, in order to predict the reliability in different conditions and different engineering margins.

In partnership with



### **METRO PV**

Improvement of the electrical measurement precision, with particular focus on calibration chain, uncertainty assessment and shading characterisation

Metrology for performance assessment and monitoring of photovoltaic systems: **follow-up submitted**



FONDS NATIONAL SUISSE  
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
FONDO NAZIONALE SVIZZERO  
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
Swiss Confederation

Innosuisse – Swiss Innovation Agency



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

## Conclusioni

- I diodi di bypass non sono sufficienti a proteggere dai danni dell'hot spot
- Un ombreggiamento parziale può essere distruttivo tanto quanto un ombreggiamento totale
- Hot spot ripetuti portano a degrado, sia delle celle che dei diodi di bypass
- I moduli con celle half-cut sono più performanti in caso di ombreggiamento solo quando l'ombra è la medesima per tutta la stringa
- In caso di ombra sulla metà di un singolo modulo, l'inverter sceglierà il punto di massimo globale, attivando i diodi e bypassando anche la metà non in ombra, causando hot spot secondari per il mismatch delle celle.
- Gli ottimizzatori possono aiutare nella riduzione degli effetti di hotspot ma non sono risolutivi: la loro efficacia dipende dalla logica seguita (massimizzazione potenza/riduzione potenza dissipata)



**GRAZIE DELL'ATTENZIONE !**