

SUPSI

Come funziona un impianto fotovoltaico?

Impianti solari e piani regolatori, corso Swissolar-SUPSI
Mendrisio, 15.06.2022

Mauro Caccivio, Head of SUPSI PVLab

Con il sostegno di

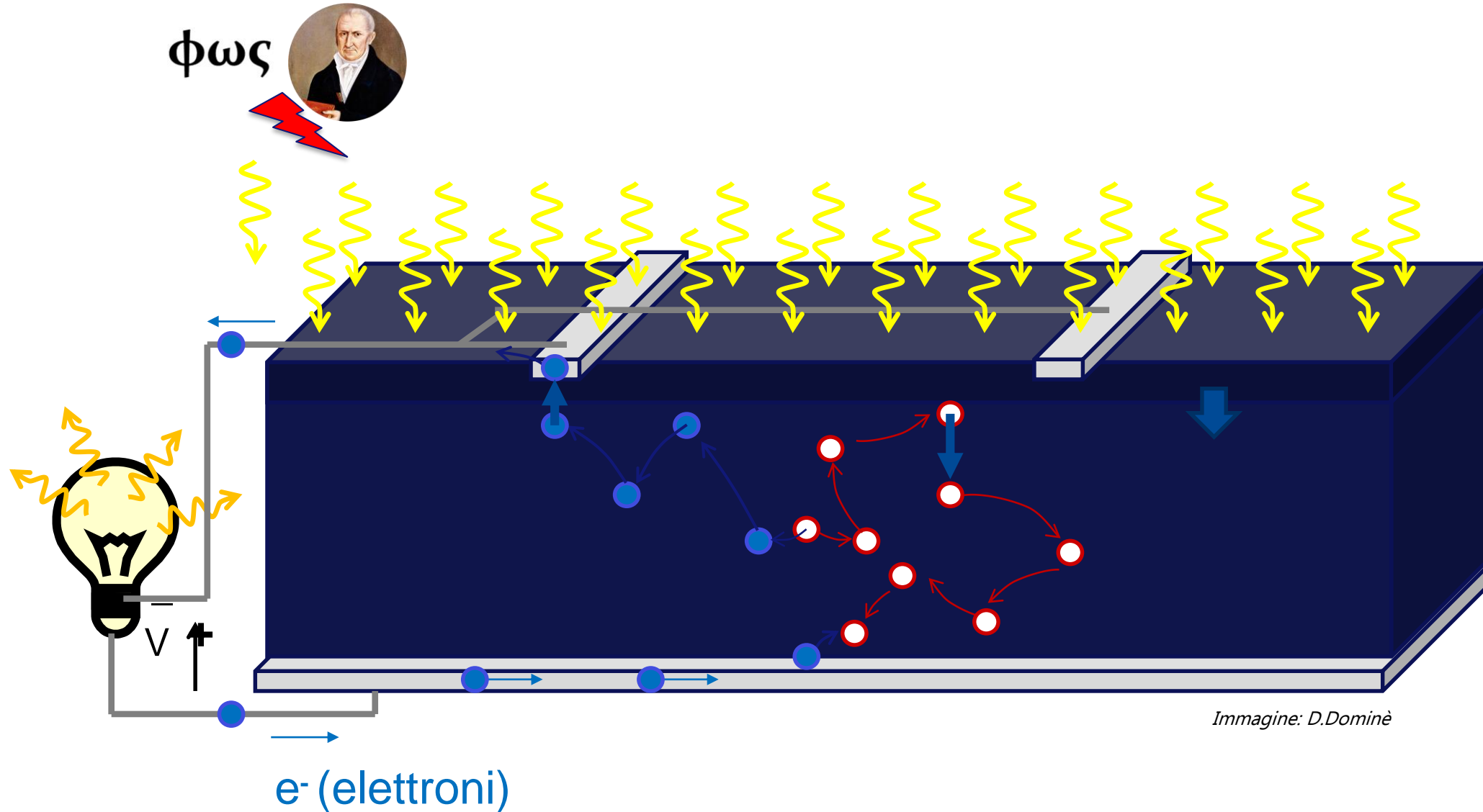


ticino * energia

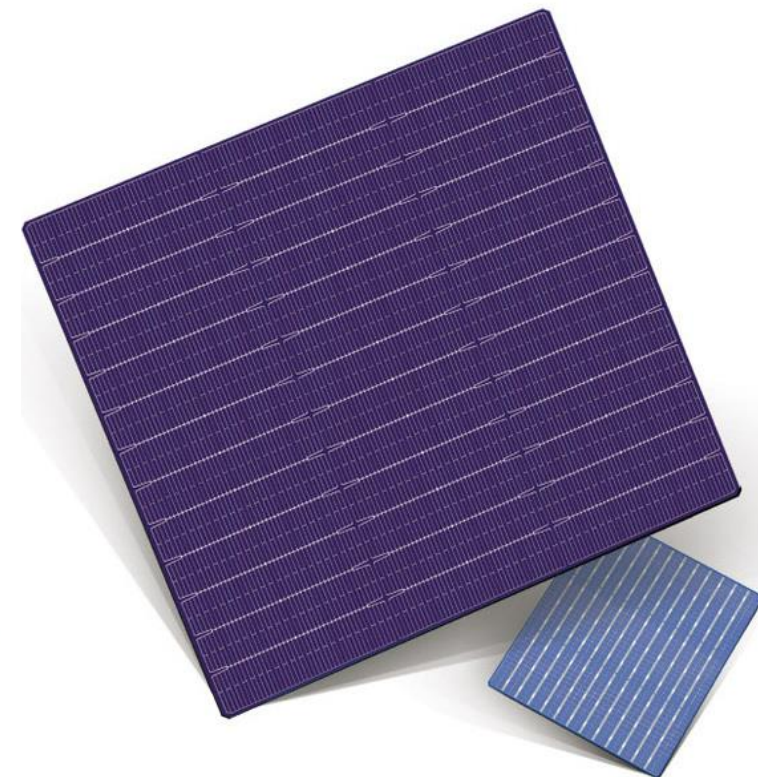
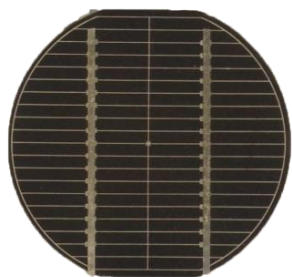




L'effetto fotovoltaico: elettricità dalla luce



La cella fotovoltaica in silicio: evoluzione nelle dimensioni



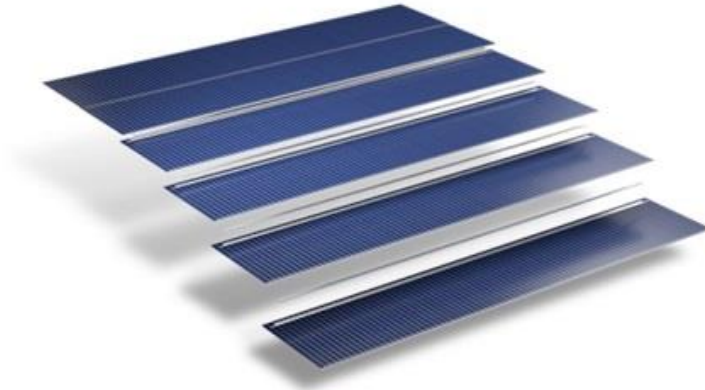
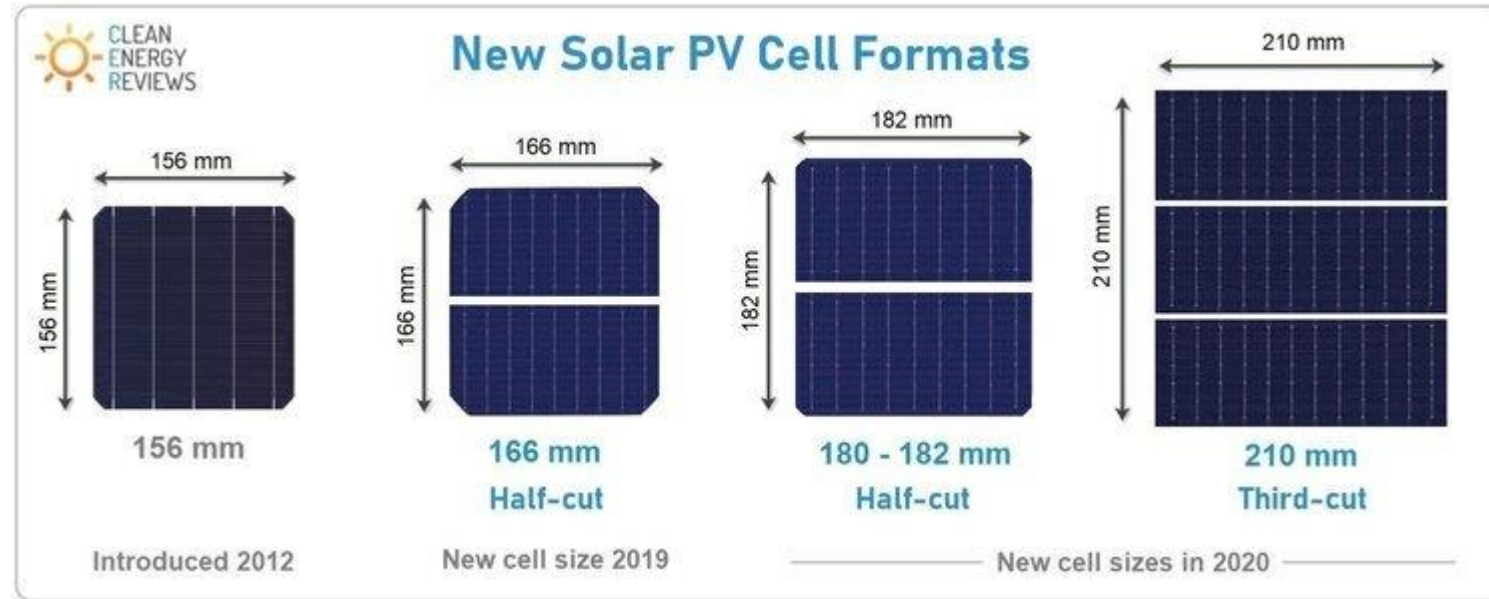
- 102 mm, rotonda
- 1 W, Eff. 12,5 %
- 300-320 μm
- Silicio mono cristallino
- 2 bus bar

- 156 mm, quadrata
- 5 W, Eff. 19,7 %
- 200 μm
- Silicio mono cristallino
- 5 bus bar

- 182 mm, semi-quadrata
- 7,43 W, Eff. 22.5%
- 200 μm
- Mono c-Si PERC
- Multi bus bar

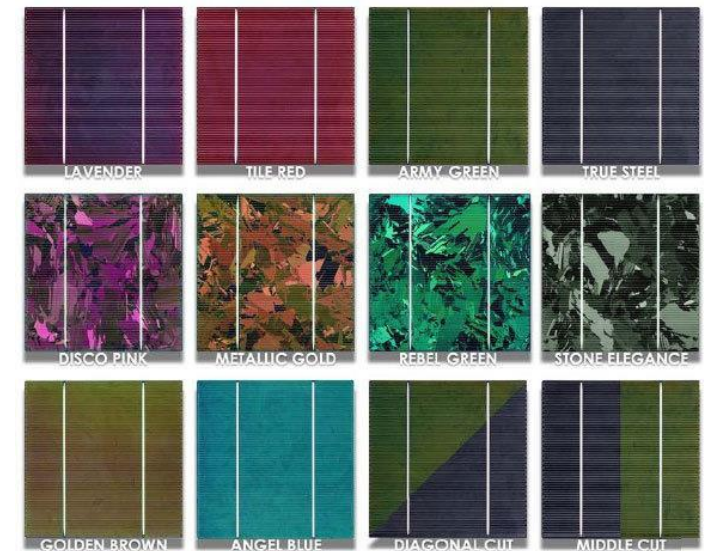
- 210 mm, quadrata
- 10.4 W, Eff. 23.5%
- 180-200 μm
- Mono c-Si PERC
- Multi bus bar

La cella fotovoltaica in silicio: evoluzioni delle forme...

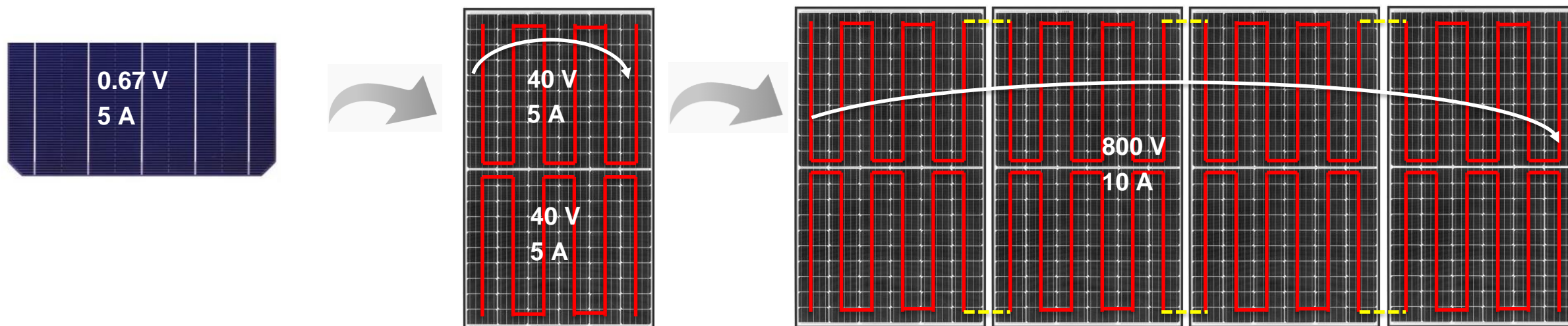


...e nei colori

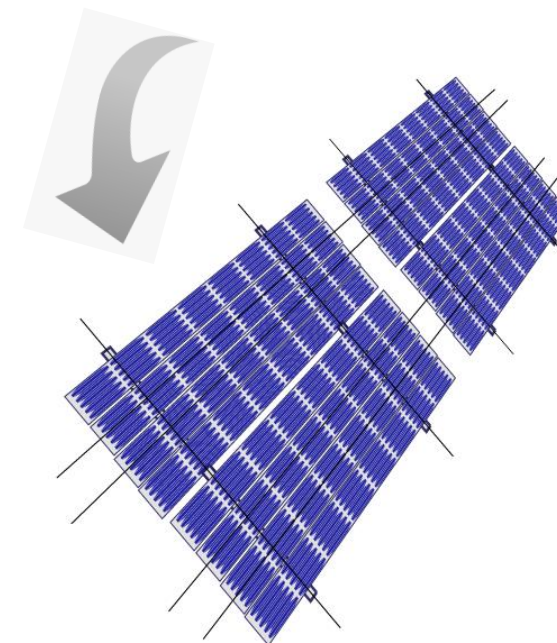
6" MULTI SERIES



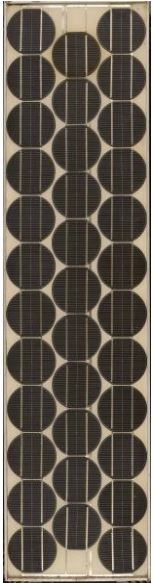
Dalle celle ai moduli, dalle stringhe alle sezioni all'impianto fotovoltaico



- Più **celle** collegate in **serie** formano la **sezione** di un **modulo** (ad es. 60 celle di silicio monocristallino)
- 2 **sezioni** in **parallelo** formano un **modulo**
- Più **moduli** collegati in **serie** formano una **stringa** (ad es. 20 moduli di silicio monocristallino)
- Più **stringhe** collegate in **parallelo** formano una **sezione** (ad es. 3 stringhe)
- Più **sezioni** collegate in **parallelo** formano un **impianto fotovoltaico**



Moduli fotovoltaici: evoluzione nelle dimensioni



1982:
35W



2018:
320W

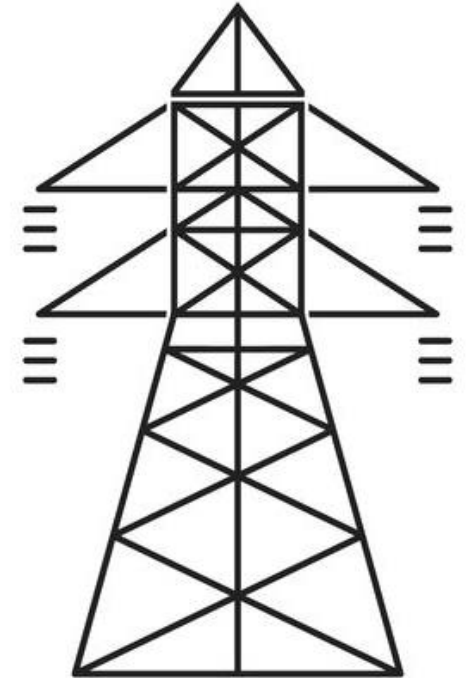
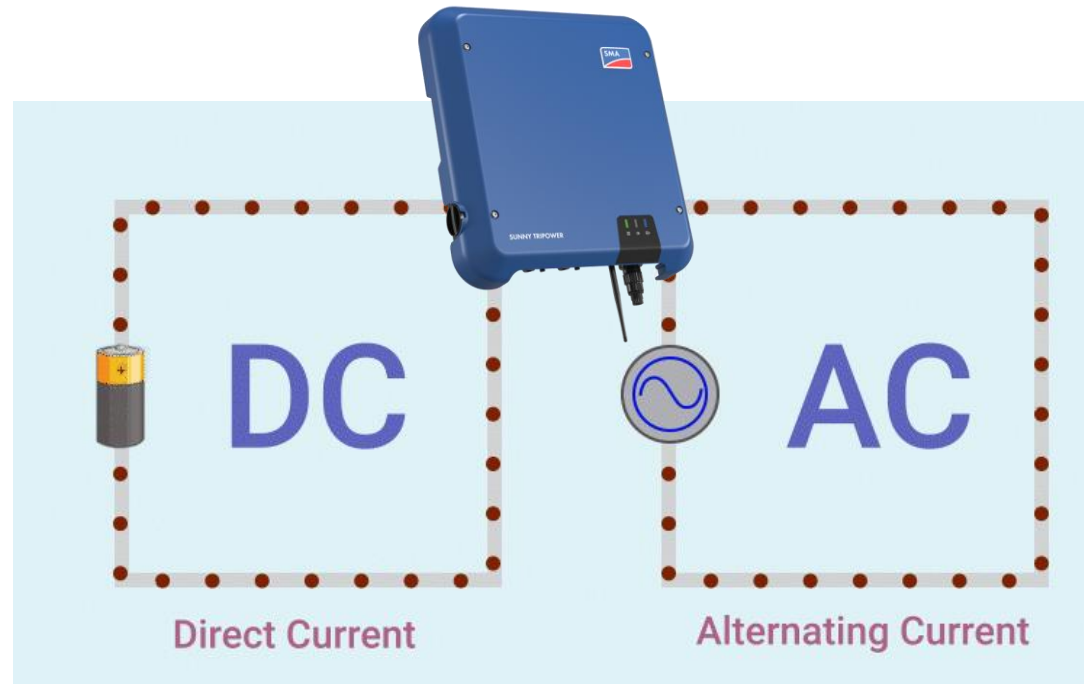


2022:
700W

Moduli fotovoltaici: evoluzione nelle forme e nella potenza

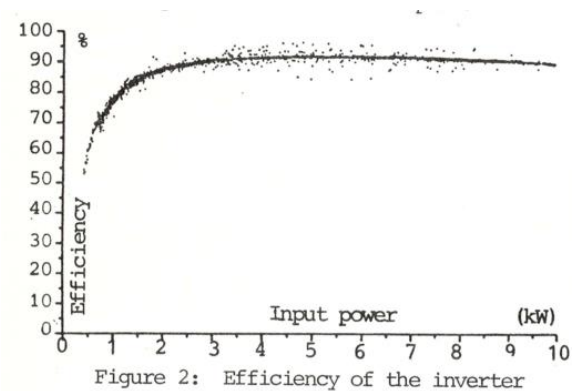


Inverter: passiamo dalla corrente continua alla corrente alternata



Inverter: miglioramento dell'efficienza negli anni

1982, impianto TISO:
inverter ABACUS 10
kW

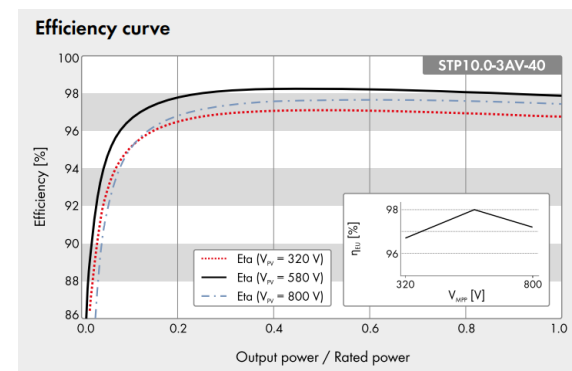


$$\eta = 90\%$$

OGGI: inverter di stringa



Immagine: SMA

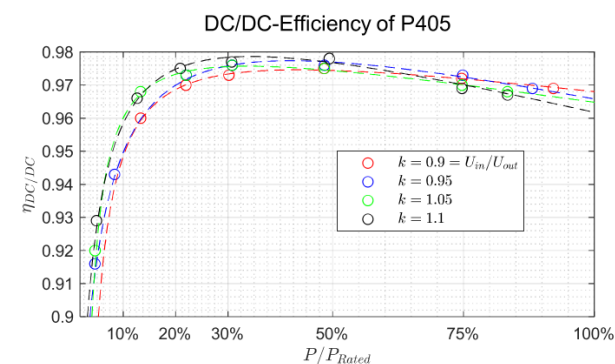


$$\eta = 98\%$$

OGGI: module optimizer

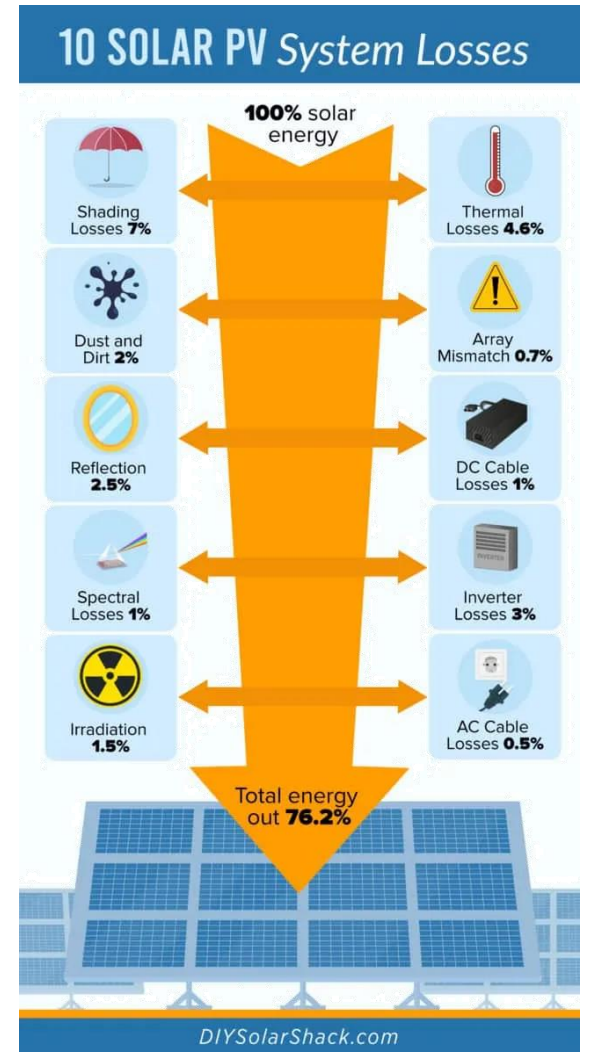
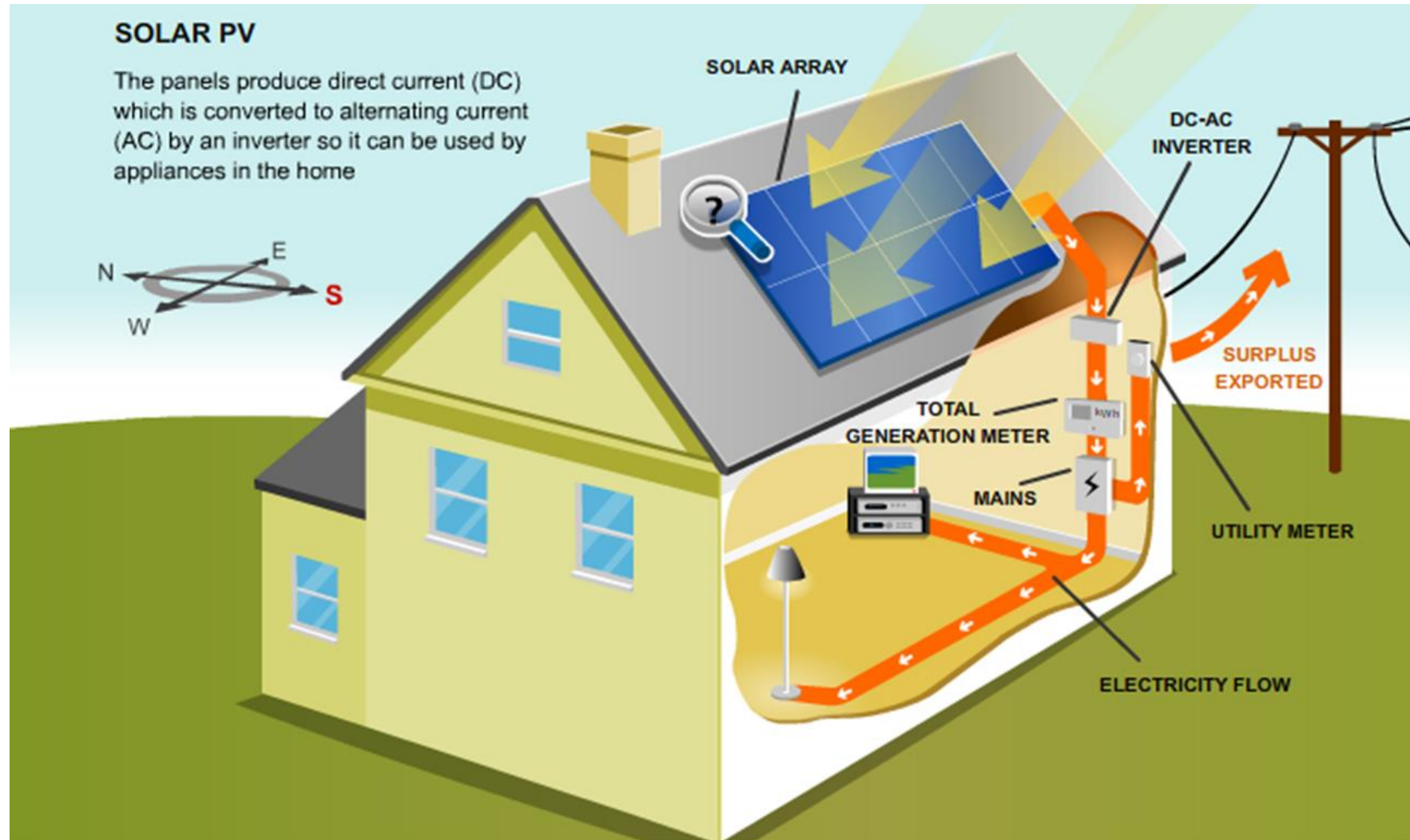


Immagine: Solaredge

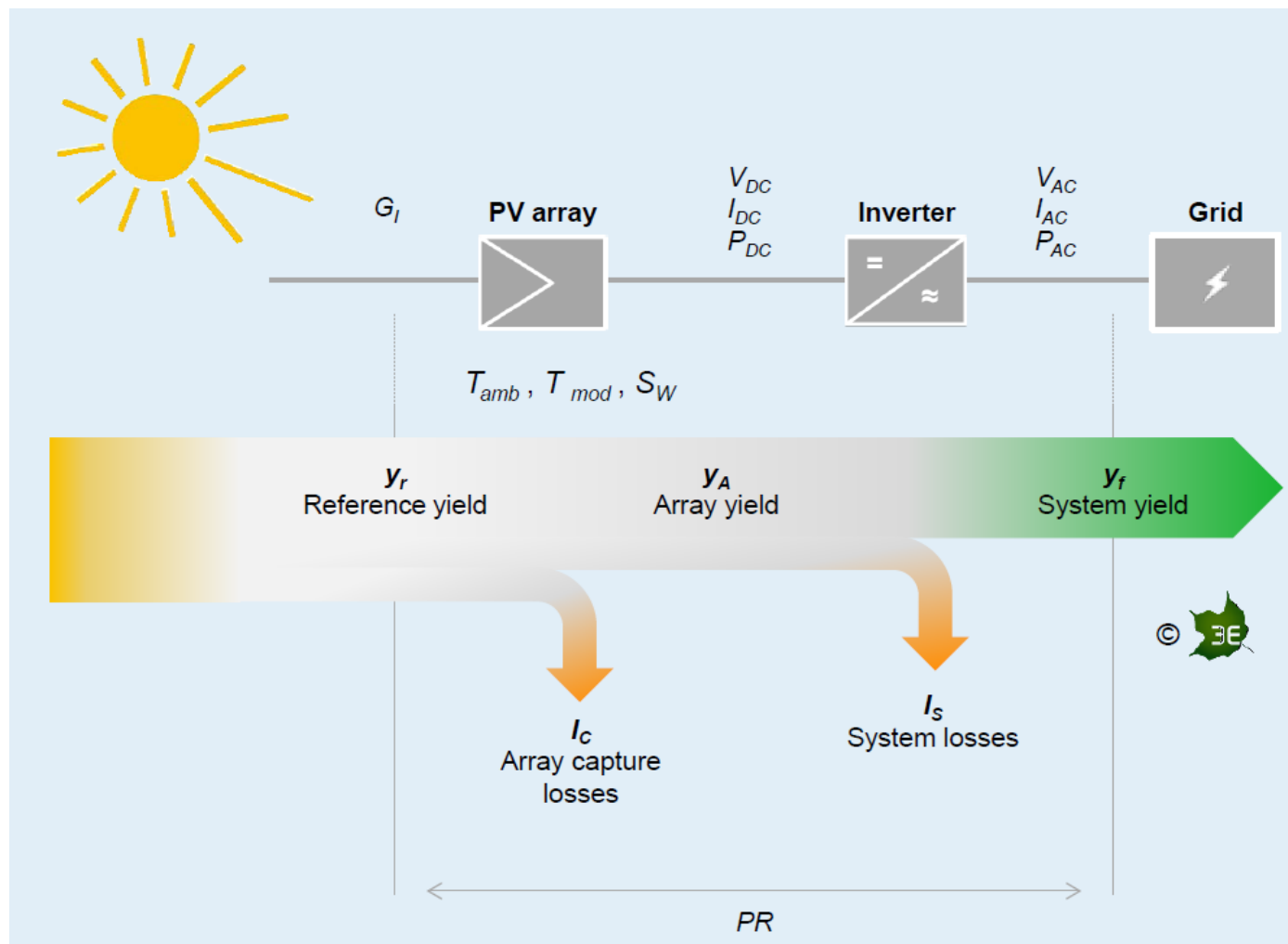


$$\eta = 96.5\%$$

Perdite negli impianti fotovoltaici

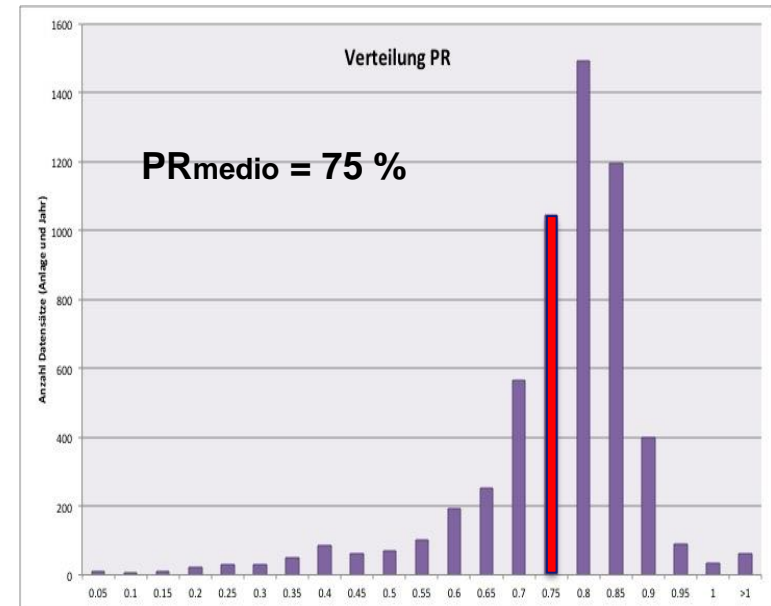


Perdite negli impianti fotovoltaici: il Performance Ratio (PR) come indicatore di qualità



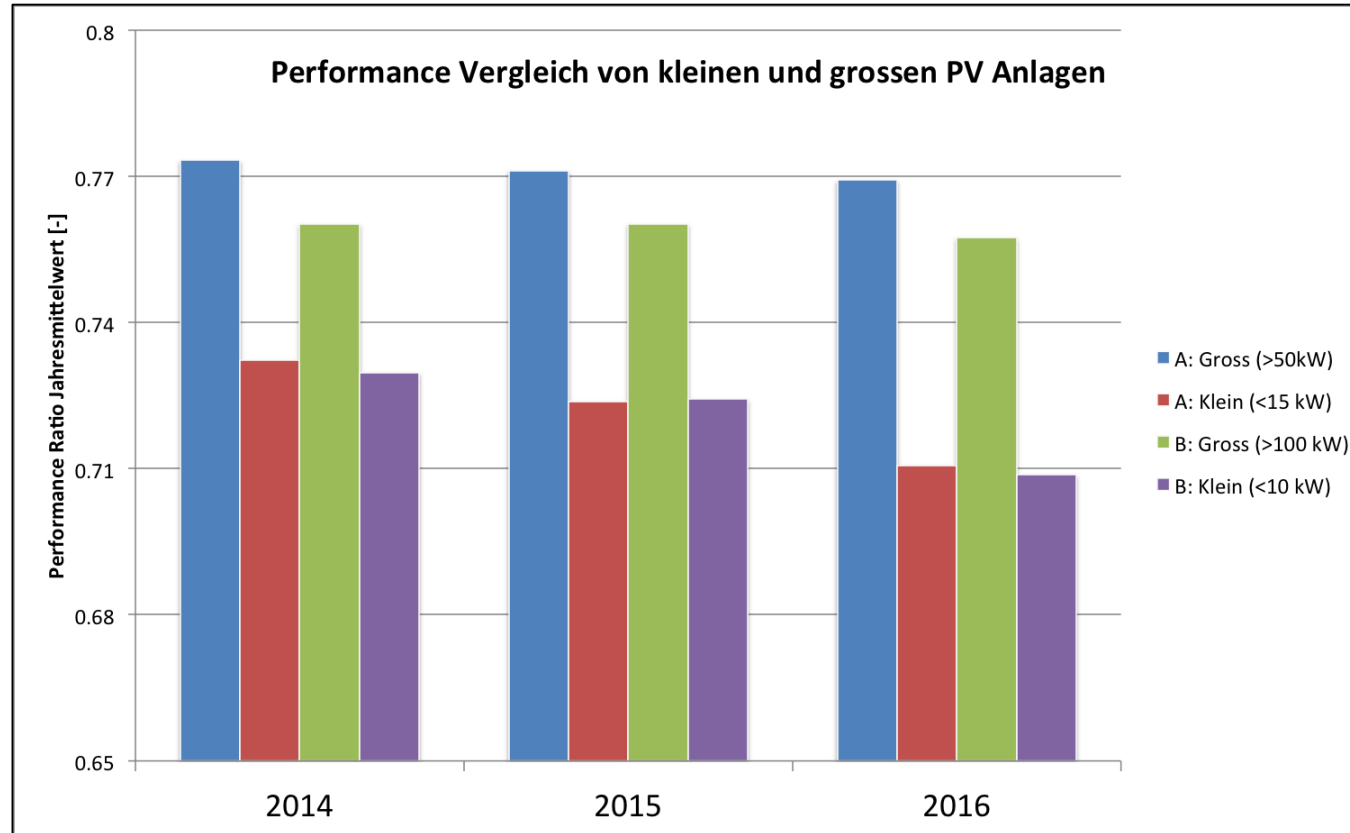
- Espresso in percentuale
- È il rapporto tra la produzione di energia effettiva e quella teorica dell'impianto fotovoltaico.
- Indica la percentuale di energia che è effettivamente disponibile dopo aver dedotto le perdite di energia (ad esempio a causa di perdite termiche e di conduzione) e il consumo di energia per il funzionamento.

PR in Svizzera: studio TNC su 1700 impianti dal 2009 al 2016



© TNC 2019

PR in Svizzera - risultati: confronto fra impianti di piccole e grandi dimensioni



© TNC 2019

- Impianti fotovoltaici più piccoli hanno un rendimento compreso tra il 2 e l'8% in meno rispetto agli impianti fotovoltaici più grandi
- La definizione di impianti fotovoltaici di piccole dimensioni (<15 kWp o <10 kWp) e grandi (>50 kWp e > 100 kWp) mostra risultati simili
- Possibili ragioni sono impianti fotovoltaici meglio progettati, minore influenza dell'ombreggiamento parziale, migliore manutenzione, ecc. L'influenza dei componenti è trascurabile.

PR: risultati di altre nazioni - Germania (Fraunhofer ISE, 2019)



- Impianti di grandi dimensioni (200-1500 kW)
- Prima generazione degli impianti costruita fra 2006 e 2007.
 - Su 11 anni di funzionamento in media è stato misurato un PR dell'**82%**
- Seconda generazione degli impianti costruita fra 2009 e 2010.
 - Su 8 anni di funzionamento in media è stato misurato un PR dell'**88%**

"Degradation in PV power plants theory and practice" Klaus Kiefer, et al. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, @PVSEC 2019

PR: risultati di altre nazioni - Italia (RSE, 2016)

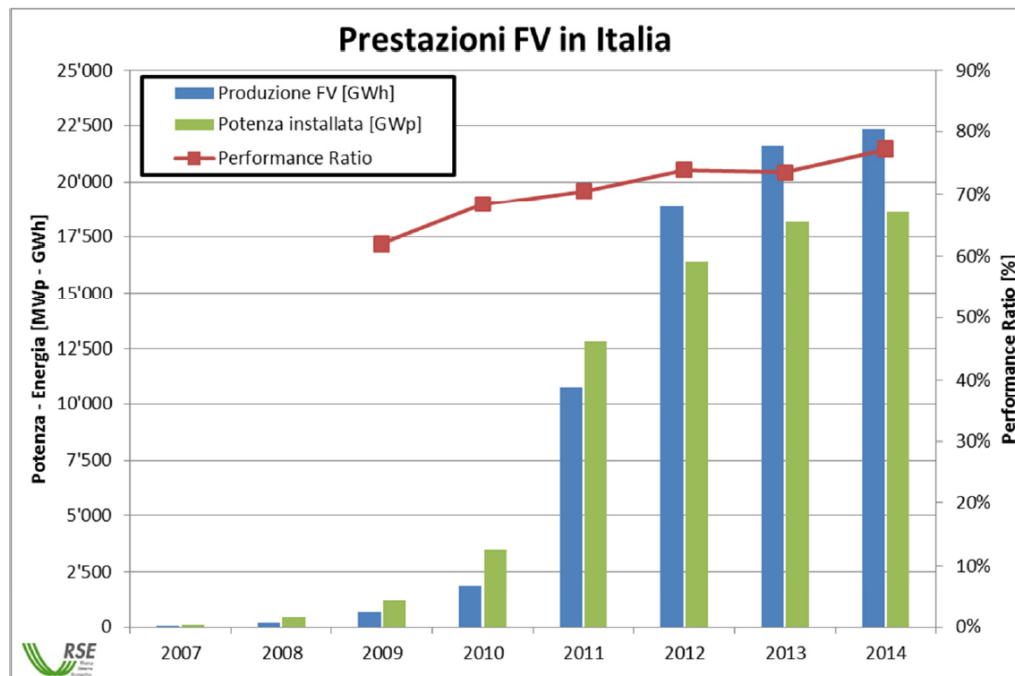


Tabella 3-9 - Dati utilizzati per le elaborazioni e risultati ottenuti

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Potenza FV cumulata [GW]	0,45	1,17	3,49	12,79	16,44	18,19	18,61
Potenza FV annuale [GW/anno]	0,34	0,72	2,32	9,30	3,65	1,75	0,42
Potenza FV pesata [GW/anno]	-	0,65	1,70	8,77	14,78	17,50	18,40
Produzione lorda FV [GWh/anno]	193	677	1.906	10.796	18.862	21.589	22.307
Rad. Media annua 30° [kWh/m²/anno]	1.659	1.685	1.641	1.746	1.725	1.677	1.569
Performance Ratio	-	62%	68%	71%	74%	74%	77%

- Dati statistici annuali pubblicati da Terna e GSE incrociati con i valori di radiazione solare misurati da RSE tramite il sistema PhENDAS.
- Dal 2011 al 2014, il valore medio del PR degli impianti italiani è stato sempre sopra al 70% (74 % in media)

PR: risultati - sintesi

- Un valore di PR fra 75 e 85% identifica un impianto fotovoltaico funzionante correttamente
- Gli impianti fotovoltaici in Svizzera, hanno presentato nel 2015/2016 un valore leggermente superiore a 75%, perfettamente in linea con quello identificato da RSE in Italia di 74%.

ma...

- Con il miglioramento del rendimento degli inverter e i migliori coefficienti di temperatura dei moduli è possibile arrivare a PR del 90% (studio ISE Fraunhofer su impianti in Germania)
- I piccoli impianti soffrono di limiti di progetto e di manutenzione (PR inferiore a 70% nel 2016) : come superarli?

Strategia energetica 2050: 34 TWh dagli impianti fotovoltaici



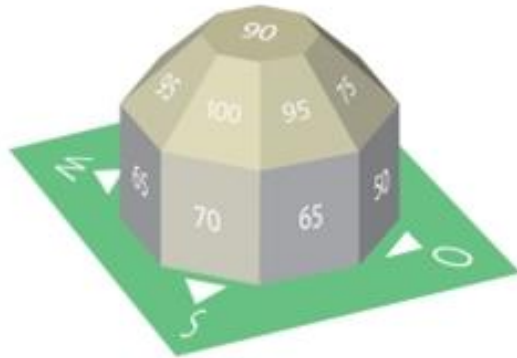
Potenziale fotovoltaico da tetti e facciate: 67 TWh/anno. Come è calcolato?



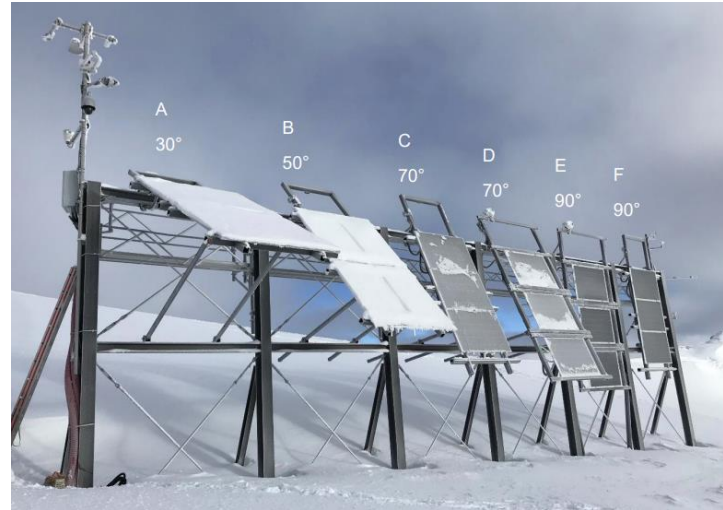
La stima di 67 TWh si basa sull'ipotesi di:

- Efficienza media dei moduli : 17%
 - **PR media: 80%**
-
- **Necessità di resa energetica ottimale dei piccoli impianti**

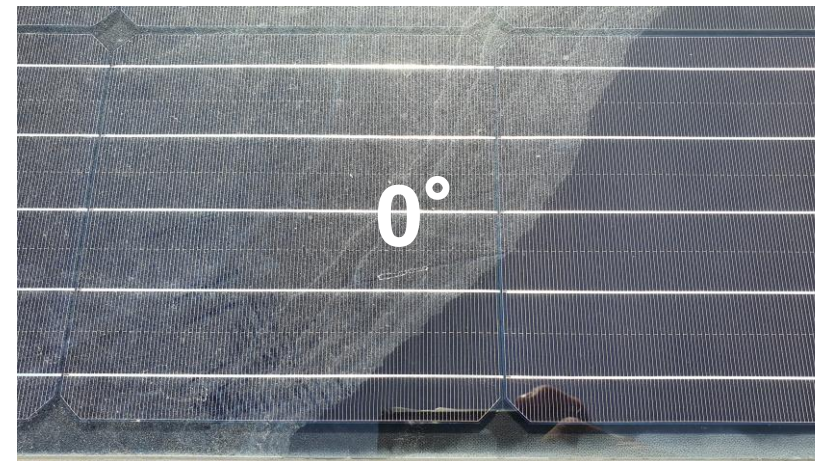
Ottimizzare la resa: evitare orientamenti non ottimali. Massimizzare l'energia prodotta, non la potenza installata!



Percentuale di irraggiamento solare su superfici con vari orientamenti ed inclinazioni, rispetto al massimo (sud, 30° di inclinazione), riferito all'altopiano svizzero.



Ottimizzare la resa: favorire l'auto-pulizia con inclinazioni superiori a 15/20°



Caso estremo: moduli fotovoltaici bifacciali in verticale per produzione ottimale

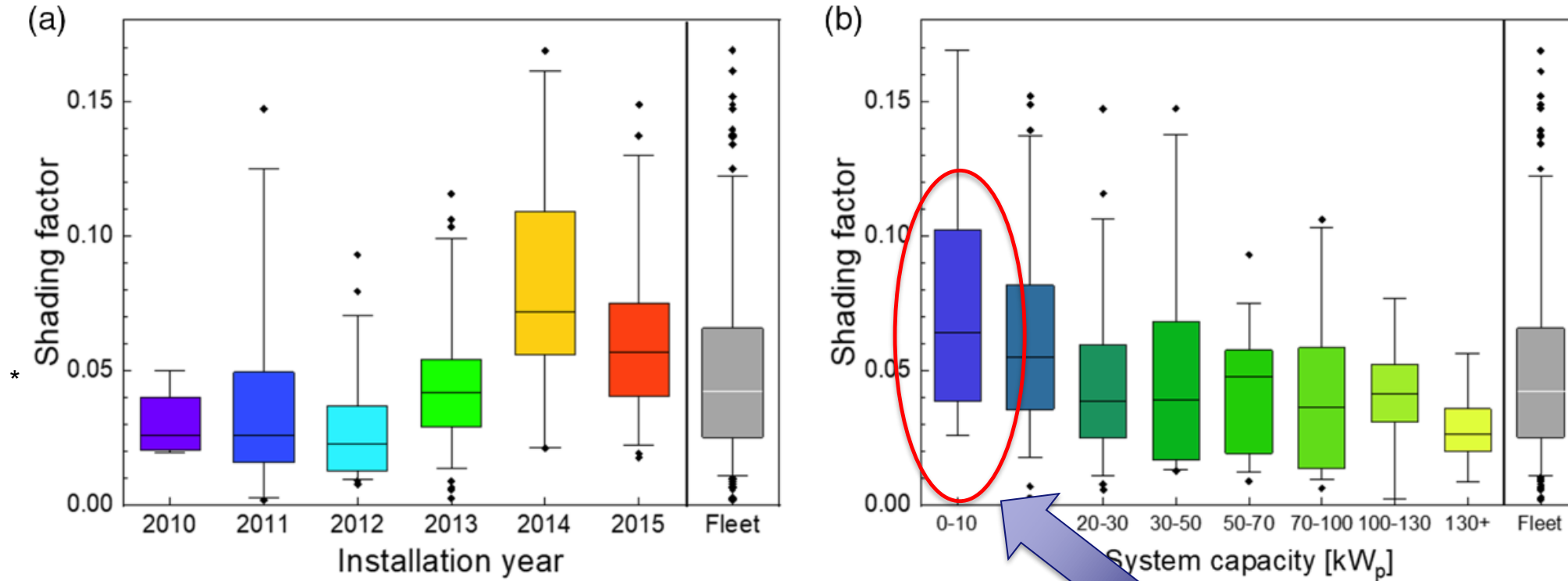


Gli ombreggiamenti: un problema spesso evitabile



"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)

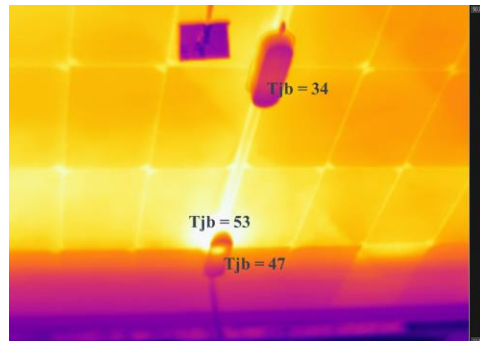
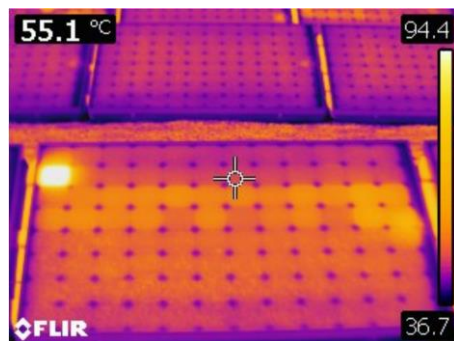
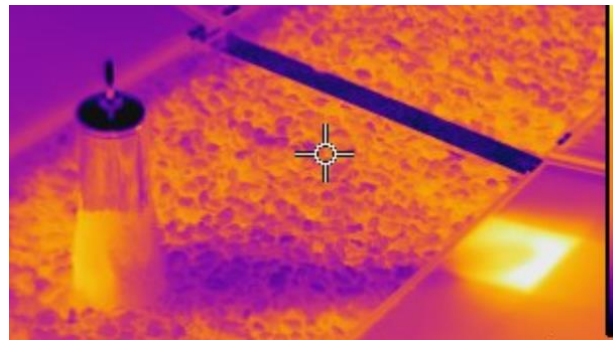
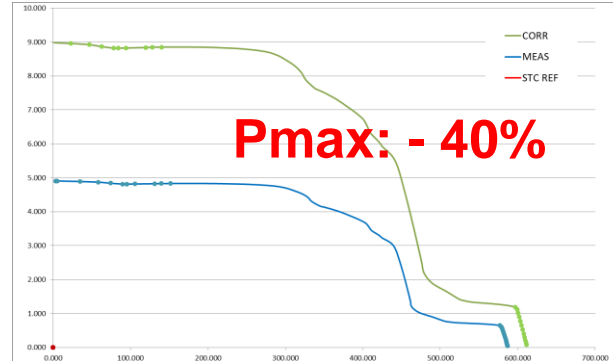


* Shading factor: percentuali di giorni con ombreggiamento su giorni totali

- 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

Conclusioni

- L'evoluzione della tecnologia fotovoltaica ha portato ad altissime efficienze per i pannelli e gli inverter che si deve tradurre in PR più alti anche a livello di piccoli impianti.
- I fattori di forma dei moduli FV sono in continua evoluzione, con impatti pratici legati alla loro installazione sui tetti con orientamenti preferenziali per limitare ad esempio la lunghezza dei cavi.
- Le ombre vanno assolutamente evitate
- La neve e l'accumulo di sporco vanno evitati il più possibile

GRAZIE DELL'ATTENZIONE !