



FEASR



REGIONE DEL VENETO



PSR
VENETO
2014-2020



FONDO EUROPEO AGRICOLO PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI



Immagine tratta da: <https://ilbolive.unipd.it/news/agrivoitaico-luce-rossa-lagricoltura-blu-lenergia>

L'autoproduzione di energia fotovoltaica nell'azienda agricola

cod. 2A-22-23

30 e 31 Maggio 2023

L'AUTOPRODUZIONE DI ENERGIA FOTOVOLTAICA NELL'AZIENDA AGRICOLA

Energie rinnovabili e fotovoltaico nell'ambito della produzione e del consumo di energia elettrica: scenario, stato dell'arte e prospettive

Fabio Bignucolo

Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

fabio.bignucolo@unipd.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



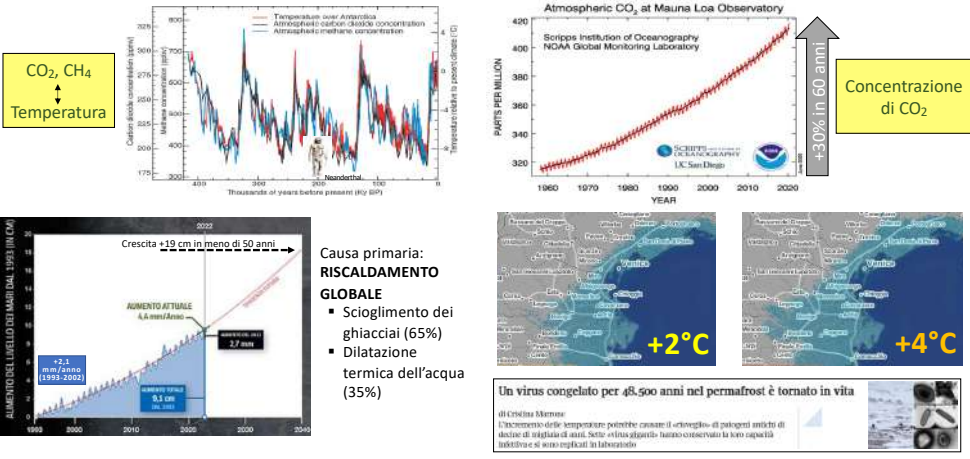
30 maggio 2023

Corso erogato in modalità a distanza ai sensi della DGR del Veneto n. 416 del 07.04.2020

1

Gas climalteranti, temperatura, mari, virus, batteri

Fabio Bignucolo



2

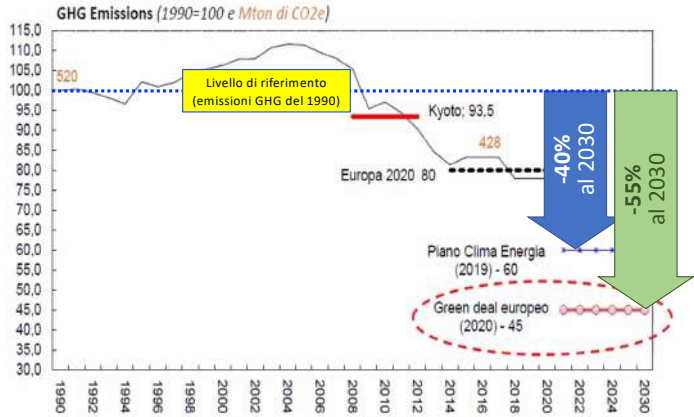
Possibili soluzioni

Fabio Bignucolo

▪ Riduzione delle emissioni

E

▪ Cattura della CO₂ nell'aria

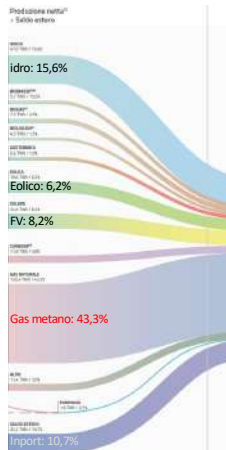


3

3

La fotografia attuale: il sistema elettrico IT al 2020

Fabio Bignucolo



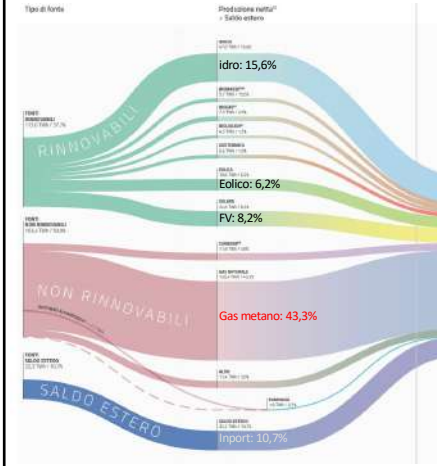
Bilancio elettrico nazionale
aggiornato al 2020
(fonte: GSE)

4

4

La fotografia attuale: il sistema elettrico IT al 2020

Fabio Bignucolo



FOTOGRAFIA DEL SISTEMA ELETTRICO IN ITALIA (dato GSE, anno 2020)

- **Consumo** di circa 284 TWh/anno (effetto COVID)
- Previsto in aumento per l'elettificazione degli altri usi energetici (trasporti, settore termico)
 - Es. 10 milioni di auto elettriche, 15.000 km/anno, 6 km/kWh, rendimento circuiti di carica 90% → extra-consumo di circa 28 TWh/anno (+9-10%)
- **Produzione da fonti rinnovabili** per il 37,7%
 - Valore quasi costante negli ultimi 5 anni
- Principale combustibile è **gas** (43,3%)
- Entro 2025 previsto **phase-out del carbone** (ancora 3,8% della produzione elettrica nel 2019)

La situazione mondiale è simile a quella italiana?

È «sufficiente» triplicare il parco rinnovabile italiano?

5

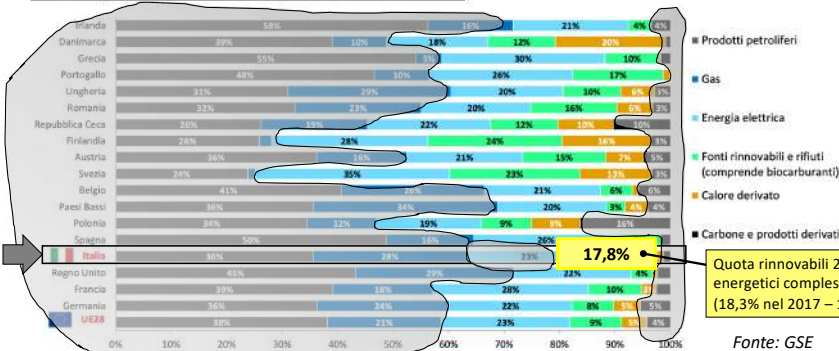
Lo scenario energetico attuale - EU

Fabio Bignucolo

Consumi energetici complessivi nel 2018 in Europa – Composizione per fonte



- Il grafico illustra la distribuzione dei consumi energetici complessivi dei principali Paesi UE per fonte, in percentuale sul totale nazionale.
- Nel 2018 il 36% del consumo finale lordo di energia in Italia è relativo a prodotti petroliferi (38% in UE28), il 28% a gas (21% in UE28) e il 23% all'energia elettrica, rinnovabile e non (valore identico alla media UE28).



Fonte: GSE

6

6

Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)

Fabio Bignucolo



5 LINEE D'INTERVENTO

da sviluppare in maniera integrata

-56%
DI EMISSIONI NEL SETTORE DELLA GRANDE
INDUSTRIA

-35%
TERZIARIO, TRASPORTI TERRESTRE E CIVILE

30%
OBIETTIVO RINNOVABILI

Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)

Fabio Bignucolo



5 LINEE D'INTERVENTO

da sviluppare in maniera integrata

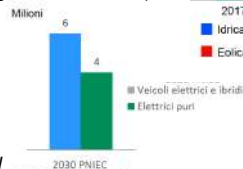
MAIN TARGET

RES al 30% dei consumi finali lordi di energia nel 2030 (18,3% nel 2017)

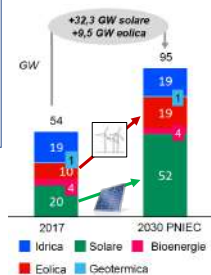


- TARGET: RES-E al 55%** dei consumi finali lordi di energia elettrica (34,1% nel 2017) → necessari 187 TWh di produzione RES (oggi sono 113 TWh)

- TARGET: RES-T al 22%** dei consumi finali lordi (5% nel 2017) → biometano avanzato e veicoli elettrici (6 M, di cui circa 4 M elettrici puri)



- TARGET: RES-C al 33%** (20% nel 2018) → es. pompe di calore



Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)

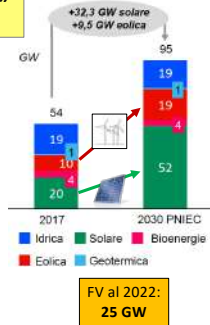
Fabio Bignucolo



L'obiettivo è aumentare la produzione rinnovabile (GWh), la taglia stimata (GW) è solo una «traduzione» nell'ipotesi di impianti funzionanti ed efficienti

Ma a quanto corrispondono?

- **32,3 GW di impianti fotovoltaici in Italia, ovvero...**
 - Circa 160 milioni di m² di pannellature fotovoltaiche della migliore tecnologia ... è «solo» l'area di 22.500 campi da calcio
 - Circa 260 milioni di m² di superficie in pianta destinata ad impianti fotovoltaici ... sono «solo» 260 km² (<0,09% della superficie italiana, in parte su coperture) ... circa 3 volte la superficie del Comune di Padova
- **9,5 GW di impianti eolici in Italia, ovvero...**
 - Circa 3.000 torri di altezza all'albero 100 m (diametro palare 100 m)



... per arrivare a coprire con rinnovabili il 30% dei consumi finali lordi di energia (dal 18,3% del 2017)... **ma la neutralità energetica sarà ancora lontana!**

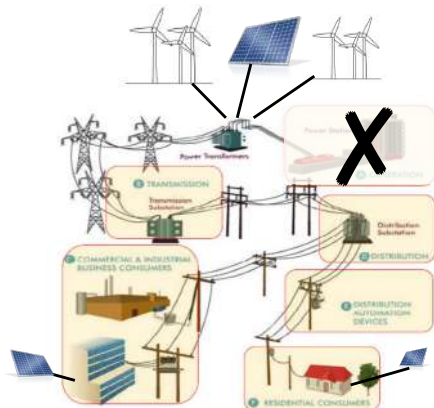
9

9

Perché una conversione elettrica degli usi finali?

Fabio Bignucolo

- **Flessibilità, pulizia e capillarità** del vettore elettrico
- **Indispensabilità** dell'energia elettrica
- **Flessibilità al cambiamento** della infrastruttura esistente
 - Facilità di sostituzione dell'**input energetico**
 - È possibile lasciare inalterata (**o quasi**) la maggior parte della struttura energetica
 - Studio delle localizzazioni consumo - fonti primarie
 - **Potenziamento delle infrastrutture di trasporto** (trasmissione dell'energia, stabilità)
- **Efficienza** (es. rendimento complessivo dalla produzione di energia rinnovabile alle ruote nelle auto)
 - E-FUEL: Energia elettrica + acqua → elettrolisi → idrogeno + CO₂ → carburante sintetico → motore endotermico → ruote (**η COMPLESSIVO 12-13%?**)
 - Auto elettrica: Energia elettrica → batteria → ruote (**η COMPLESSIVO 70%?**)



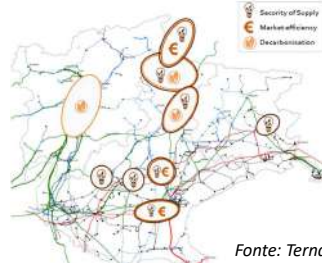
10

10

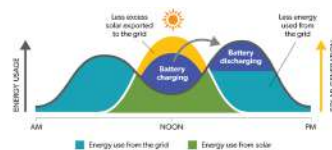
Fonti rinnovabili e reti elettriche

Fabio Bignucolo

- Le caratteristiche degli impianti rinnovabili in genere comportano **maggiore stress per il sistema elettrico**
 - Potenze nominali IAFR elevate in relazione all'energia rinnovabile prodotta
 - Imprevedibilità della fonte
 - Concentrazione della generazione in poche ore (es. FV)
 - Stabilità della rete (perturbazioni di frequenza/tensione)
- Imprescindibili investimenti sulla rete elettrica** → AT/AAT e MT/BT
 - Più della metà delle congestioni sulla rete AT/AAT sono in Triveneto (PdS Terna)
 - Situazioni già critiche in diversi contesti territoriali per varie motivazioni
 - Affidabilità e qualità del servizio
 - Efficienza del mercato elettrico
 - Integrazione di rinnovabili → Decarbonizzazione
- Ruolo determinante delle tecnologie che facilitano la connessione alla rete degli impianti rinnovabili (**hosting capacity**)
 - Smart Grids su scala locale
 - Sistemi di accumulo (pompaggi, elettrochimico, power2gas, ecc.)
 - Interazione con strutture di ricarica
 - Abbinamento stretto con consumi locali (es. comunità energetiche)



Fonte: Terna



11

11

Come conseguire gli obiettivi ambientali?

Fabio Bignucolo

$$\begin{array}{l}
 \text{Maggiore elettrificazione dei settori energetici} \\
 + \\
 \text{Generazione elettrica da rinnovabili} \\
 (+) \\
 \text{Storage (+idrogeno come vettore energetico)}
 \end{array}
 =$$

Necessità di aumentare **di molto** la generazione rinnovabile attuale

- Impianti fotovoltaici abbinati alle utenze (domestiche, industriali, commerciali, comunità energetiche)
- Impianti fotovoltaici grandi (utility-scale)
- Impianti eolici grandi (utility-scale)
- Impianti idroelettrici e mini-idroelettrici
- Altre tecnologie sul lungo periodo (fusione, ...)

Il **giusto mix tra le possibili tecnologie** massimizza i benefici e limita le problematiche

12

12

L'evoluzione del FV nel mondo: dati 2021

Fabio Bignucolo

FIGURE 1 NET RENEWABLE POWER GENERATING CAPACITY INSTALLED IN 2021

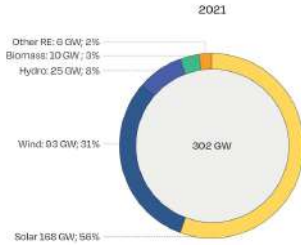
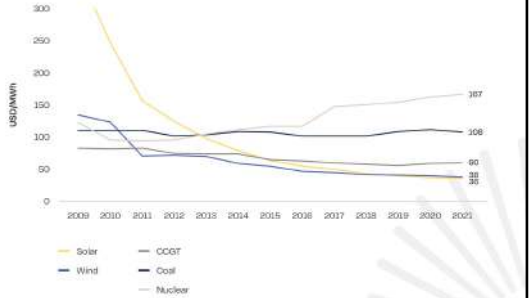


FIGURE 3 SOLAR ELECTRICITY GENERATION COST IN COMPARISON WITH OTHER POWER SOURCES 2009-2021



Fonte: Solar Power Europe, 2022

13

13

L'evoluzione del FV nel mondo: dati 2021

Fabio Bignucolo

FIGURE 1 NET RENEWABLE POWER GENERATING CAPACITY INSTALLED IN 2021

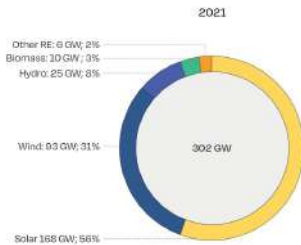
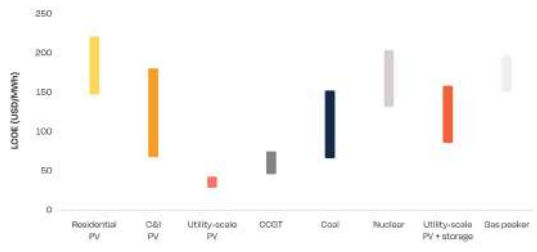


FIGURE 4 SOLAR ELECTRICITY GENERATION COST IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL POWER SOURCES 2021



Fonte: Solar Power Europe, 2022

14

14

L'evoluzione del FV nel mondo: intervallo 2000-2021

Fabio Bignucolo

FIGURE 6 ANNUAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2021

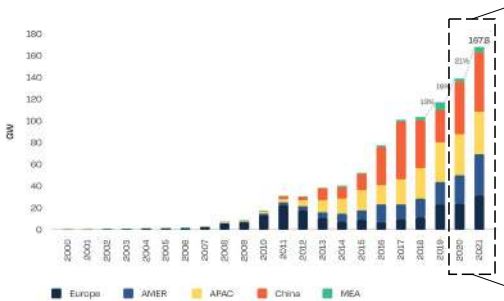
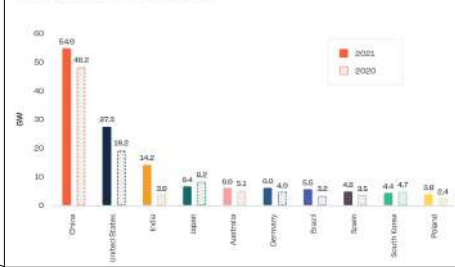


FIGURE 7 TOP 10 SOLAR PV MARKETS, 2020-2021



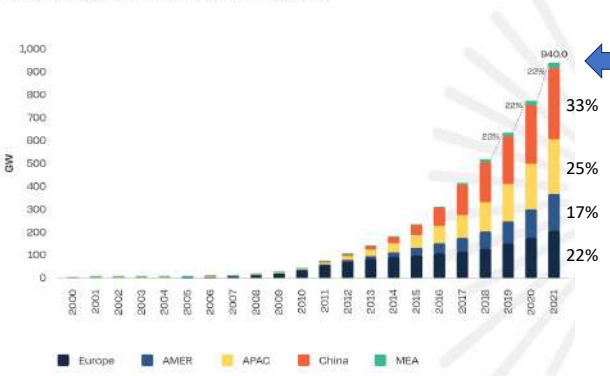
Installato FV Italia nel 2022: 2,5 GW in 210.155 impianti

Fonte: Solar Power Europe, 2022

L'evoluzione del FV nel mondo: intervallo 2000-2021

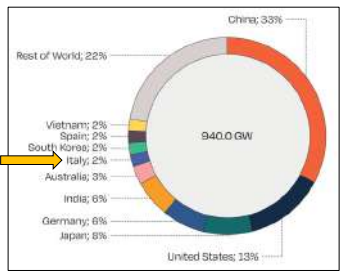
Fabio Bignucolo

FIGURE 10 TOTAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2021



Over 940 GW
solar capacity installed (by end of 2021)

> 1.000 TWh di produzione FV mondiale (IEA, 2021)



FV Italia a dicembre 2022: 25,1 GW (2,67%) in 1.225.431 impianti

Fonte: Solar Power Europe, 2022

L'evoluzione del FV nel mondo: prospettive 2026

Fabio Bignucolo

FIGURE 14 WORLD ANNUAL SOLAR PV MARKET SCENARIOS 2022 - 2026



Fonte: Solar Power Europe, 2022

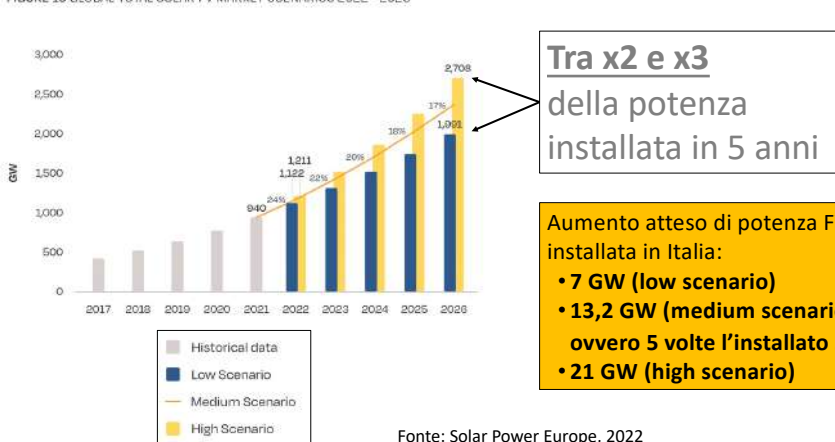
17

17

L'evoluzione del FV nel mondo: prospettive 2026

Fabio Bignucolo

FIGURE 16 GLOBAL TOTAL SOLAR PV MARKET SCENARIOS 2022 - 2026



Fonte: Solar Power Europe, 2022

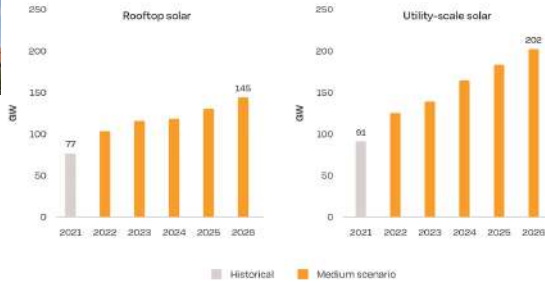
18

18

L'evoluzione del FV nel mondo: prospettive 2026

Fabio Bignucolo

FIGURE 19 SOLAR PV ROOFTOP AND UTILITY-SCALE SEGMENTS SCENARIOS 2022-2026



Fonte: Solar Power Europe, 2022

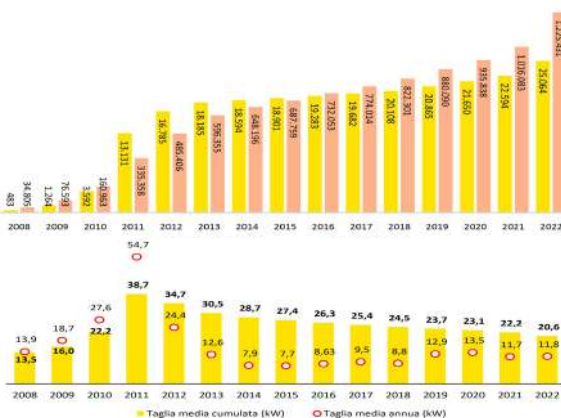
19

19

La fotografia del FV in Italia: numerosità e potenza

Fabio Bignucolo

Evoluzione della potenza e della numerosità 2008-2022



- Forte crescita delle installazioni nel 2010-2011 (Il Conto Energia)
- Taglia degli impianti progressivamente ridotta negli ultimi anni

Classi di potenza (kW)	Impianti installati nel 2022	
	Numero	Potenza (MW)
1<=P<=3	20.080	47,4
3<P<=20	185.264	1.226,0
20<P<=200	4.002	296,4
200<P<=1.000	746	409,8
1.000<P<=5.000	48	157,5
P>5.000	15	352,7
Totale	210.155	2.489,7

20

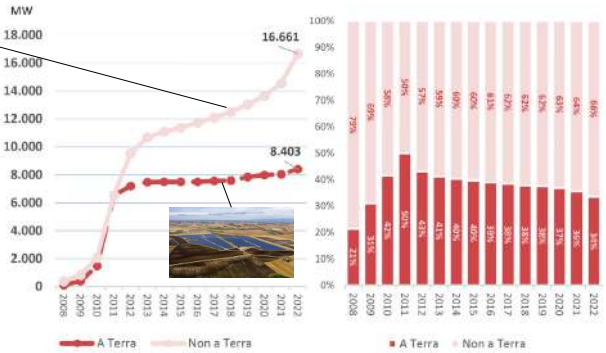
20

La fotografia del FV in Italia: collocazione

Fabio Bignucolo



Evoluzione della potenza degli impianti fotovoltaici per collocazione

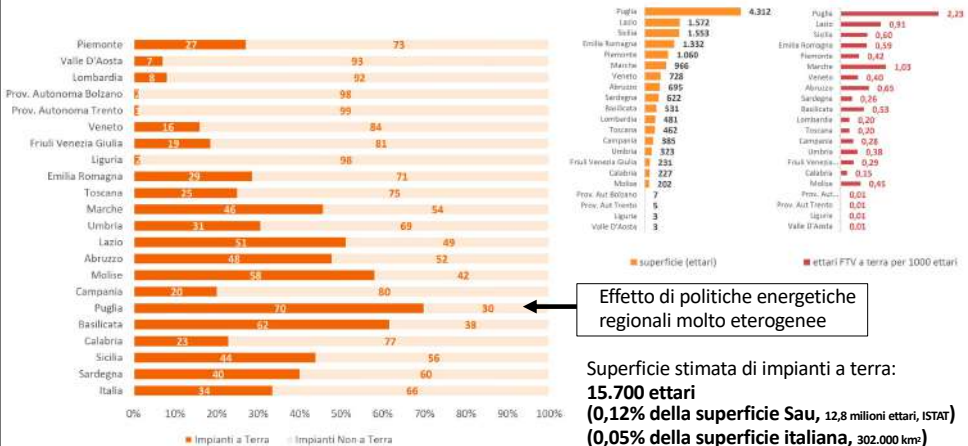


21

21

La fotografia del FV in Italia: collocazione

Fabio Bignucolo

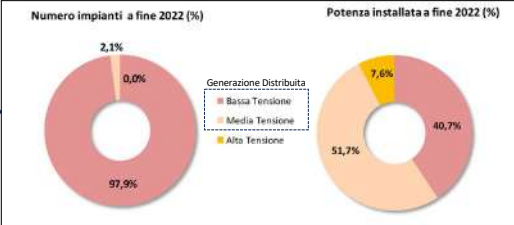


22

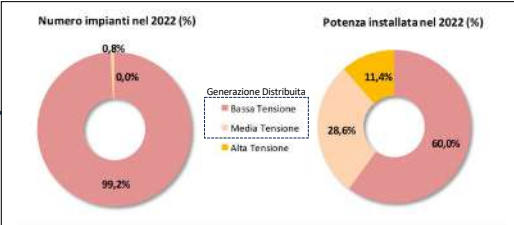
La fotografia del FV in Italia: livello di tensione

Fabio Bignucolo

Intero parco FV installato in Italia al dicembre 2022



Installazioni nell'anno 2022



Classe di potenza	2022		
	Numero impianti	Potenza installata (MW)	Produzione Lorda (GWh)
1<P<=3	341.465	900	1.011
3<P<=20	803.714	5.531	5.344
20<P<=100	65.929	4.999	5.116
200<P<=1.000	11.963	8.275	9.716
1.000<P<=5.000	1.135	2.683	3.318
P>5.000	225	2.676	3.606
Totale	1.225.431	25.064	28.121

Producibilità media
1.122 ore equivalenti annue

La fotografia del FV in Italia: ubicazione degli impianti

Fabio Bignucolo

N. impianti

Anno 2022

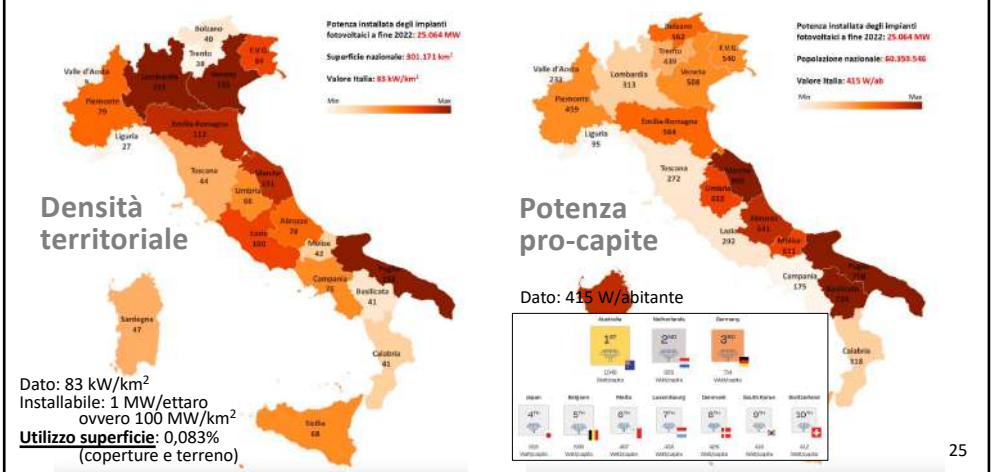


Potenza nominale



La fotografia del FV in Italia: ubicazione degli impianti

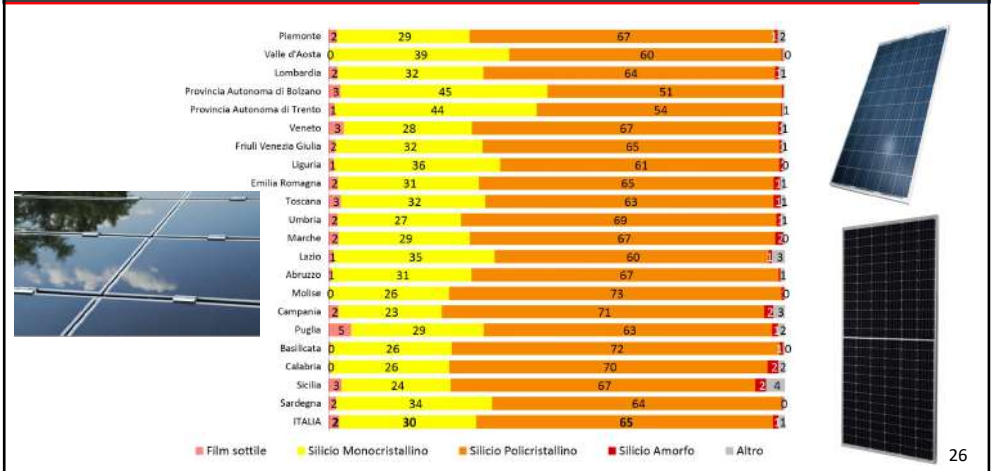
Fabio Bignucolo



25

La fotografia del FV in Italia: tecnologie

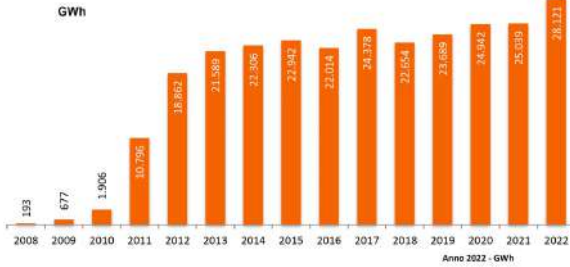
Fabio Bignucolo



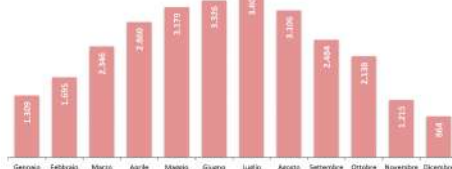
26

La fotografia del FV in Italia: produzione

Fabio Bignucolo



Circa 9,4% della produzioni complessiva IT nel 2022



27

27

La fotografia del FV in Italia: produzione

Fabio Bignucolo



Energia solare cumulata annua in Italia – Anno 2022



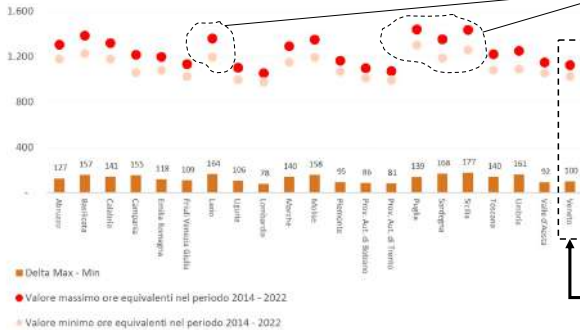
28

28

La fotografia del FV in Italia: produttività degli impianti

Fabio Bignucolo

Evoluzione delle ore di utilizzazione degli impianti entrati in esercizio entro la fine dell'anno precedente, per regione



Maggiore disponibilità di radiazione solare

Maggiore diffusione di impianti a terra:

- Orientazione/inclinazione ottimali
- Possibili strutture ad inseguimento

Minime variazioni annuali legate alla disponibilità di energia primaria (solare)

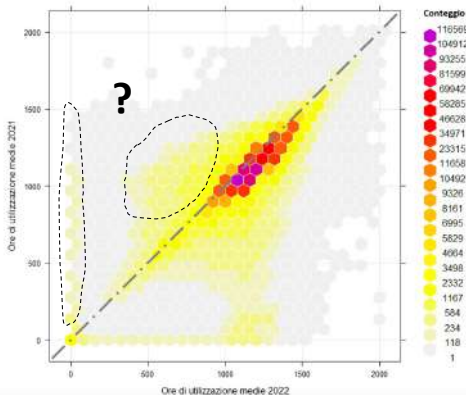
29

29

La fotografia del FV in Italia: produttività degli impianti

Fabio Bignucolo

Ore di utilizzazione degli impianti fotovoltaici: un confronto tra 2021 e 2022



Necessario verificare le effettive performance degli impianti di generazione (fotovoltaica in questo caso)

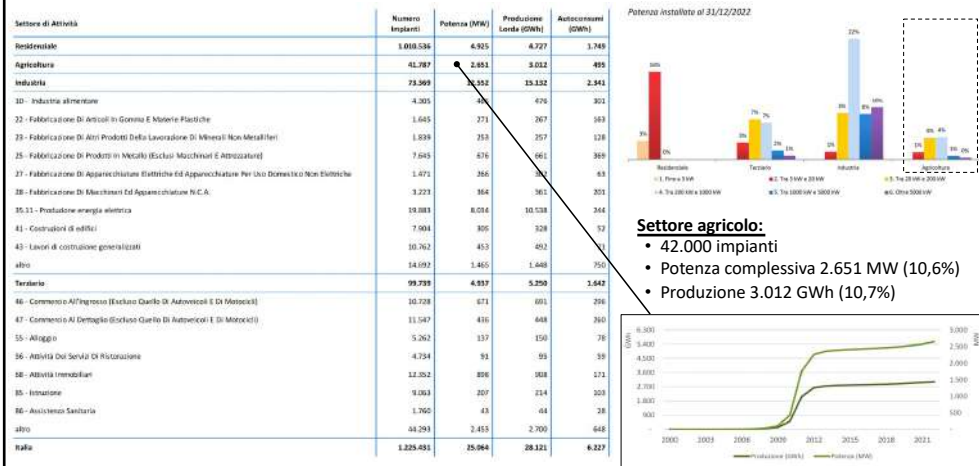
- Alcuni impianti attivi nel 2021 hanno avuto produttività molto basse o addirittura nulle nel 2022
- Cause di under-performance:
 - Cattiva progettazione
 - Degrado anomalo dei componenti
 - Monitoraggio insufficiente

30

30

La fotogeografia del FV in Italia: settori produttivi

Fabio Bignucolo



31

Incrementare la produzione fotovoltaica

Fabio Bignucolo

Come disporre i pannelli?

Condizione di esposizione ottimale per un impianto fisso nel nord-Italia

Circa **1.100-1.200 kWh/kW**

Orientation/Tilt	0°	15°	36°	45°	60°	90°
South	-14.2%	-4.7%	0%	-1.2%	-6.5%	-33.1%
SE-SW	-14.2%	-7.7%	-5.5%	-7.1%	-13.0%	-36.1%
East-West	-14.2%	-15.4%	-20.1%	-23.1%	-30.2%	-50.1%
NE-NW	-14.2%	-23.7%	-37.9%	-44.0%	-53.3%	-70.1%
North	-14.2%	-27.2%	-46.4%	-54.4%	-66.7%	-81.7%

Quanto spazio occupa?

	Rendimento di pannello	Impianti su falda $S_{totale}/S_{PV} = 1$	Impianti di grandi dimensioni su più filari $S_{totale}/S_{PV} = D/L$
Silicio monocristallino ad alto rendimento	fino al 22%	4,5 - 5 m ² /kWp	10 - 12 m ² /kWp
Silicio policristallino	15 - 18%	5,5 - 7 m ² /kWp	13 - 16 m ² /kWp
Silicio amorfo	5 - 8%	12,5 - 20 m ² /kWp	27 - 48 m ² /kWp
CdTe	10 - 12%	8,5 - 10,5 m ² /kWp	20 - 25 m ² /kWp
CIS	9 - 12%	8,5 - 11,2 m ² /kWp	20 - 27 m ² /kWp

- L'occupazione di superficie può essere limitata a meno di 1 ha/MW con opportuni accorgimenti (**VALORE DIMEZZATO RISPETTO AL 2010**)
- 2.200 ettari → 2,7 GW → ~3 TWh (media IT) = 1% consumo_{el} IT

32

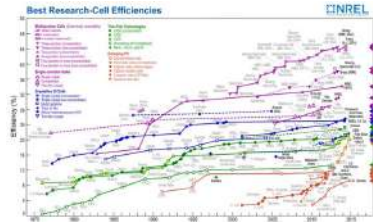
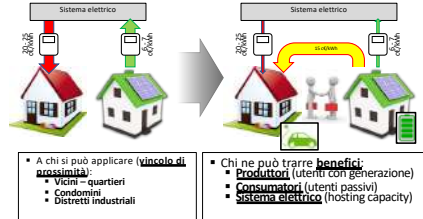
32

Incrementare la produzione fotovoltaica

Fabio Bignucolo

Come valorizzare la produzione?

- **Valorizzazione della produzione fotovoltaica**
 - Impianti fotovoltaici di grande taglia in pura generazione già in market-parity
 - Abbinamento con centri di consumo
 - Contratto per valorizzazione della produzione (PPA)
 - Comunità energetiche, distretti energetici e aggregatori locali
 - Integrazione con contesti edilizi e produttivi
- **Stabilità normativa** durante la vita dell'impianto (>25 anni)
- **Accorciamento degli iter autorizzativi** anche tramite una **oggettiva valutazione dell'impatto ambientale**
 - Occupazione del suolo
 - + Assenza di emissioni inquinanti, rumore ed altre interferenze
- **Evoluzione tecnologica**
 - Tecnologia matura in continua evoluzione (riduzione delle superfici richieste a parità di potenza, riduzione dei costi)



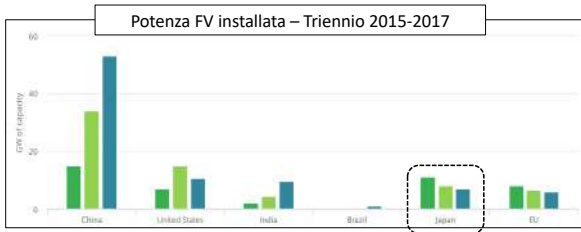
33

33

Incrementare la produzione fotovoltaica

Fabio Bignucolo

È realmente possibile?... il caso Giappone



Stessa scala geografica di rappresentazione

- Un caso studio di riferimento – **Giappone**
 - 120% della superficie italiana
 - 200% della popolazione italiana (interferenza sociale, spazi liberi)
 - Disponibilità solare media simile a Nord Italia
 - Ha una rete relativamente debole (due sotto-reti a 50-60 Hz)
 - Potenza fotovoltaica installata nel triennio 2015-2017 maggiore dell'intera Europa
 - **+42,7 GW nel quinquennio 2014-2018 (più del doppio del fotovoltaico complessivo italiano)**

34

34

Incrementare la produzione fotovoltaica

Fabio Bignucolo

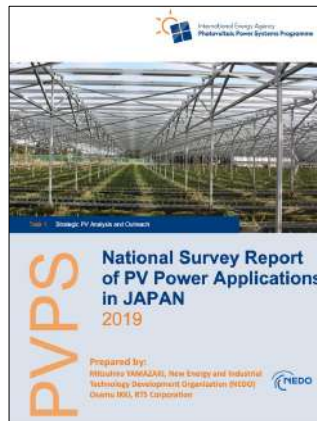
È possibile?... il caso Giappone

Table 2: PV power installed during calendar year 2019

			Installed PV capacity in 2019 [MW] DC value
Grid-connected	BAPV	(1) Residential (< 10 kW)	801.8
		(2) Commercial (< 50 kW, including ground-mounted)	2 118
		(3) Industrial (50 kW - 1 MW, including ground-mounted)	1 111
		(4) Total of BAPV	4 121.8
	BIPV	(5) Residential (< 10 kW)	10
		(6) Commercial (10 - 250 kW)	20
		(7) Industrial (> 250 kW)	
		(8) Total of BIPV	30
	Utility-scale	(9) Ground-mounted (1 MW -)	2724
		(10) Floating PV systems	51
		(11) Agricultural PV systems	102 (including small-scale systems)
		(12) Total of utility-scale	2 877
Off-grid	(13) Residential	NA	
	(14) Other	2,118	
	(15) Hybrid systems	NA	
	(16) Total of off-grid	2,118	
	Total	(17) Total (84 + (8) + (12) + (16))	7 031,016

59% delle installazioni FV 2019 sono su edifici

41% sono grandi impianti (a terra o integrati in contesti agricoli)



7 GW di potenza FV installata nel 2019 (triplo FV IT 2022)

35

35

Grazie per l'attenzione!

Fabio Bignucolo

Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

fabio.bignucolo@unipd.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



30 maggio 2023

Corso erogato in modalità a distanza ai sensi della DGR del Veneto n. 416 del 07.04.2020

36