



FEASR



REGIONE DEL VENETO



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

L'autoproduzione di energia fotovoltaica nell'azienda agricola

2^A Edizione

27 e 28 Luglio 2023

cod. 2A-21-23



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



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA INDUSTRIALE

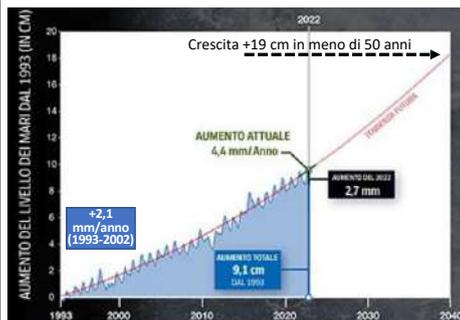
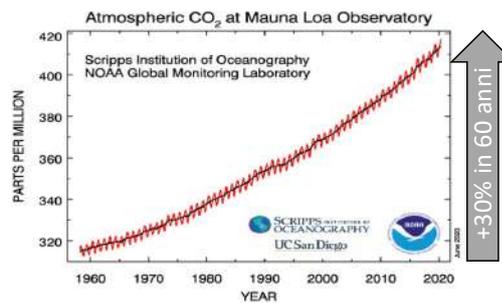
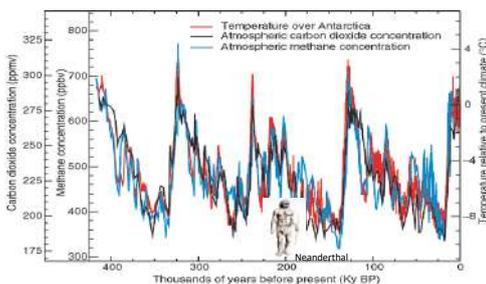
27 luglio 2023

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

Gas climalteranti, temperatura, mari, virus, batteri

Fabio Bignucolo

CO₂, CH₄
↕
Temperatura



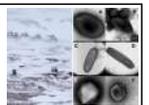
Causa primaria:
RISCALDAMENTO GLOBALE

- Scioglimento dei ghiacciai (65%)
- Dilatazione termica dell'acqua (35%)



Un virus congelato per 48.500 anni nel permafrost è tornato in vita

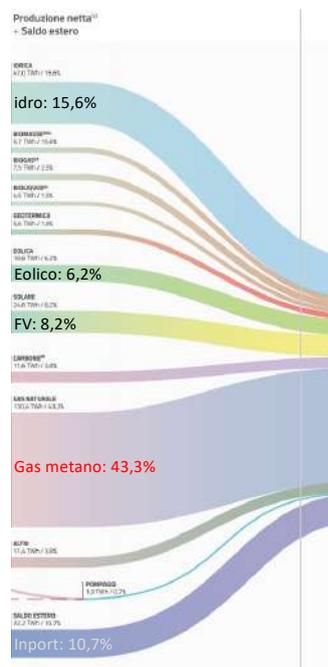
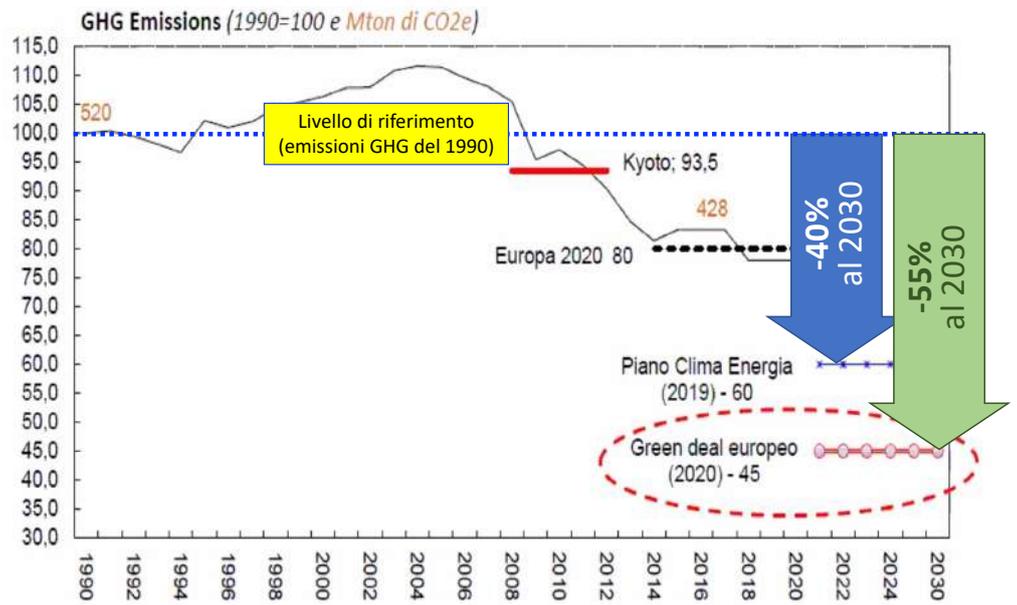
di Cristina Marrone
L'incremento delle temperature potrebbe causare il «risveglio» di patogeni antichi di decine di migliaia di anni. Sette «virus giganti» hanno conservato la loro capacità infettiva e si sono replicati in laboratorio



- Riduzione delle emissioni

E

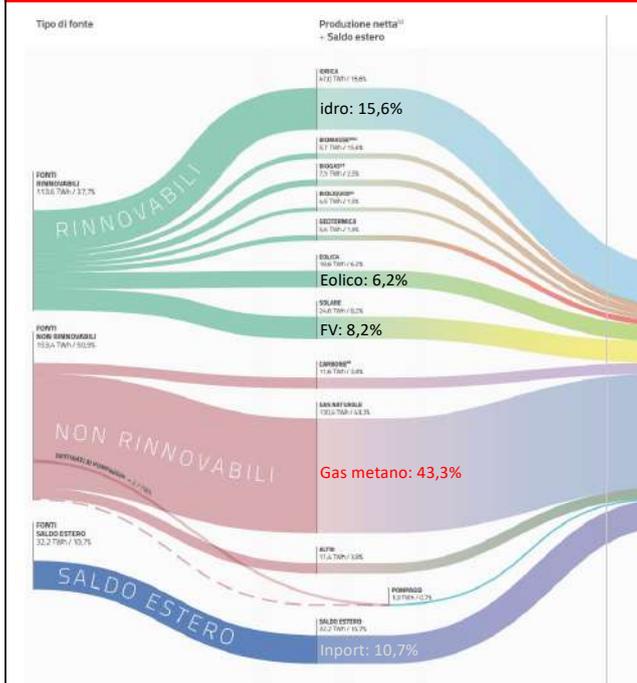
- Cattura della CO₂ nell'aria



Bilancio elettrico nazionale aggiornato al 2020 (fonte: GSE)

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 fossile 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?

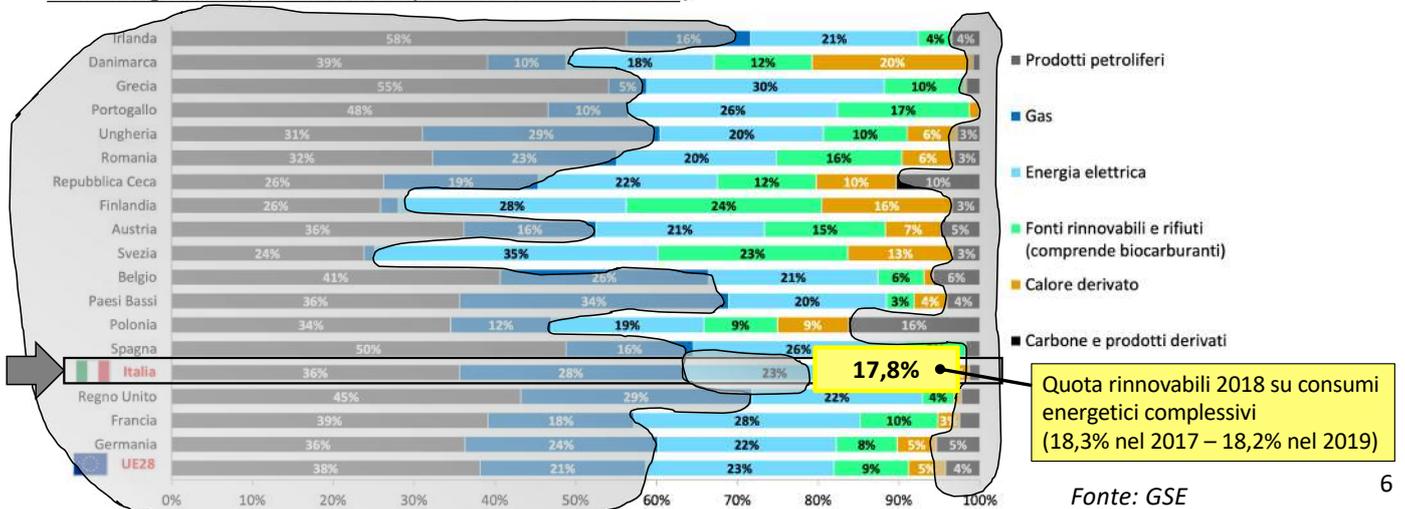
Lo scenario energetico attuale - EU

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).





ENERGIA CLIMA



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



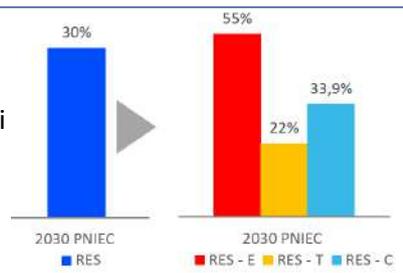
ENERGIA CLIMA



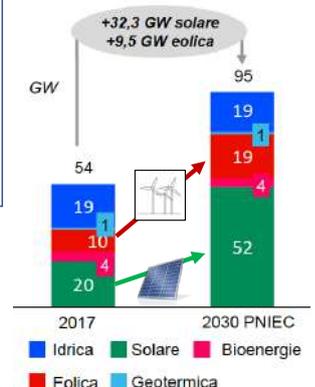
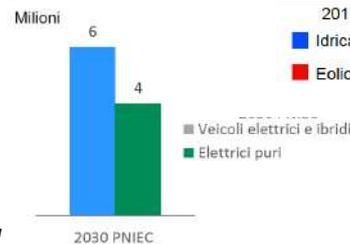
5 LINEE D'INTERVENTO
da sviluppare in maniera integrata

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

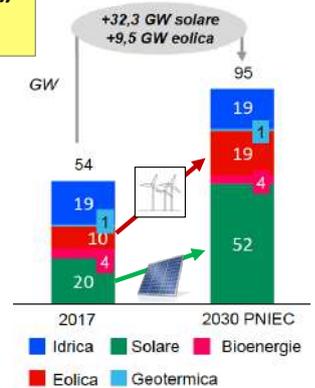




L'obiettivo è aumentare la produzione rinnovabile (GWh), la taglia stimata (GW) è solo una «traduzione» nell'ipotesi di impianti funzionanti ed efficienti

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)



FV al 2022: 25 GW

... 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!**

Bozza decreto «Aree idonee»

Due step molto importanti

- **QUANTO?** → Potenza aggiuntiva da fonti rinnovabili
 - +80 GW @ 2030 (non solo FV) per raggiungere obiettivi fissati dal PNIEC + nuovi obiettivi derivanti dal pacchetto «Fit for 55» e «Repower UE»
 - Ripartizione fra le Regioni e le Province autonome
 - Roadmap con obiettivi annuali
- **DOVE?** → Aree idonee
 - Stabilire principi e criteri omogenei per l'individuazione delle superfici e delle aree idonee e non idonee all'installazione di impianti a fonti rinnovabili (non solo FV)

Regione	Anno di riferimento								
	2023 [MW]	2024 [MW]	2025 [MW]	2026 [MW]	2027 [MW]	2028 [MW]	2029 [MW]	2030 [MW]	
Abruzzo	194	436	593	807	1.054	1.339	1.667	2.067	
Basilicata	261	566	645	855	1.098	1.380	1.710	2.076	
Calabria	265	531	792	1.096	1.461	1.902	2.439	3.128	
Campania	729	1.173	1.417	1.725	2.109	2.586	3.174	3.943	
Emilia Romagna	493	1.084	1.623	2.254	2.998	3.873	4.907	6.255	
Friuli Venezia Giulia	290	394	562	760	994	1.272	1.602	1.940	
Lazio	1.350	1.669	2.070	2.480	2.934	3.441	4.010	4.708	
Liguria	106	162	231	322	443	606	831	1.191	
Lombardia	772	1.435	2.145	2.996	4.019	5.257	6.761	8.687	
Marche	179	443	662	905	1.182	1.497	1.855	2.313	
Molise	71	158	263	366	485	624	785	995	
Piemonte	582	983	1.419	1.924	2.512	3.197	3.996	4.921	
Puglia	687	1.603	2.277	3.052	3.916	4.879	5.955	7.284	
Sardegna	768	1.111	1.955	2.587	3.287	4.065	4.934	6.203	
Sicilia	1.563	2.360	3.559	4.662	5.862	7.173	8.613	10.380	
Toscana	261	586	954	1.361	1.856	2.457	3.190	4.212	
TrAA - Bolzano	61	116	175	246	335	448	593	804	
TrAA - Trento	50	101	158	228	318	435	591	848	
Umbria	120	267	409	574	773	1.014	1.309	1.735	
Valle d' Aosta	14	32	55	89	138	212	327	549	
Veneto	569	1.052	1.548	2.129	2.813	3.620	4.576	5.763	
Totale	9.387	16.263	23.510	31.418	40.586	51.278	63.823	80.001	

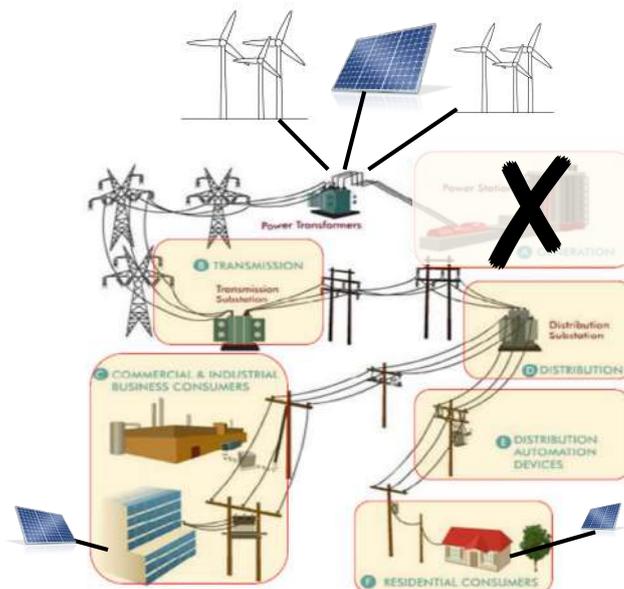
Documento normativo in bozza



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%?**)

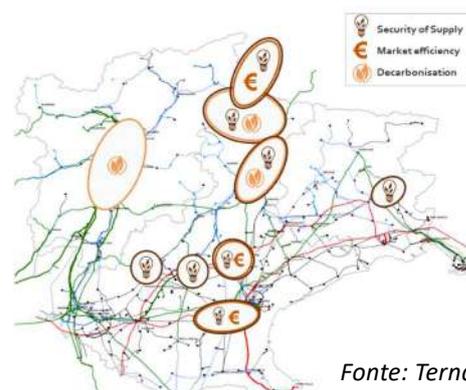


11

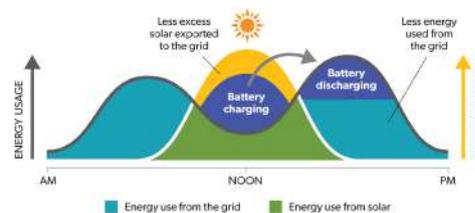
Fonti rinnovabili e reti elettriche

Fabio Bignucolo

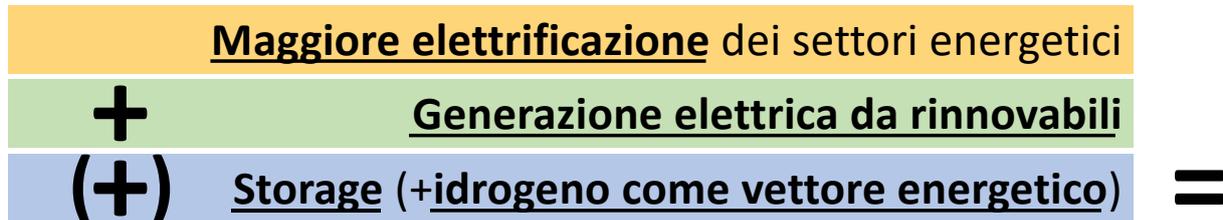
- Le caratteristiche degli impianti rinnovabili in genere comportano **maggiore stress per il sistema elettrico**
 - Potenze nominali IAFR elevate in relazione all'energia rinnovabile prodotta
 - Imprevedibilità della fonte
 - Concentrazione della generazione in poche ore (es. FV)
 - Stabilità della 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



12



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

FIGURE 1 NET RENEWABLE POWER GENERATING CAPACITY INSTALLED IN 2021

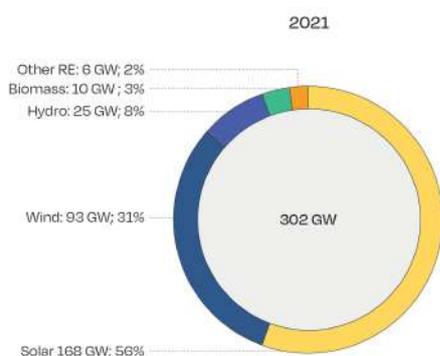
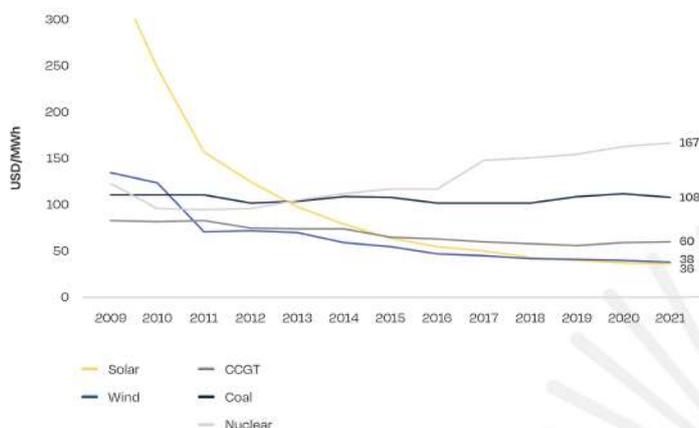


FIGURE 3 SOLAR ELECTRICITY GENERATION COST IN COMPARISON WITH OTHER POWER SOURCES 2009-2021



L'evoluzione del FV nel mondo: dati 2021

Fabio Bignucolo

FIGURE 1 NET RENEWABLE POWER GENERATING CAPACITY INSTALLED IN 2021

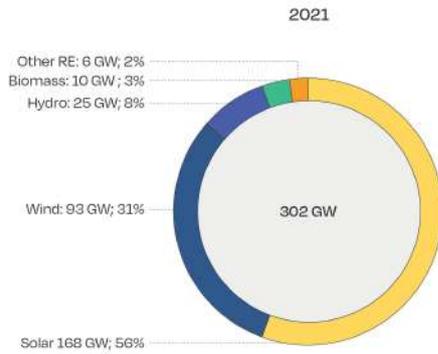
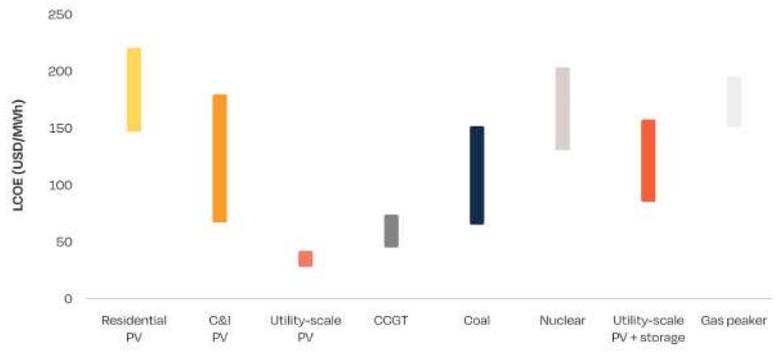


FIGURE 4 SOLAR ELECTRICITY GENERATION COST IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL POWER SOURCES 2021



Fonte: Solar Power Europe, 2022

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

Fabio Bignucolo

FIGURE 6 ANNUAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2021

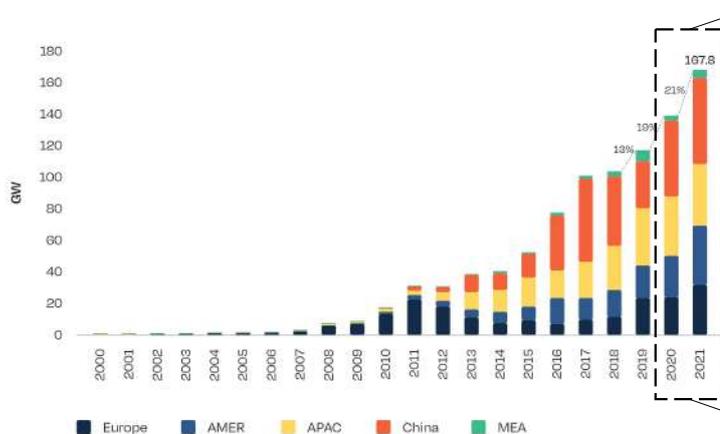
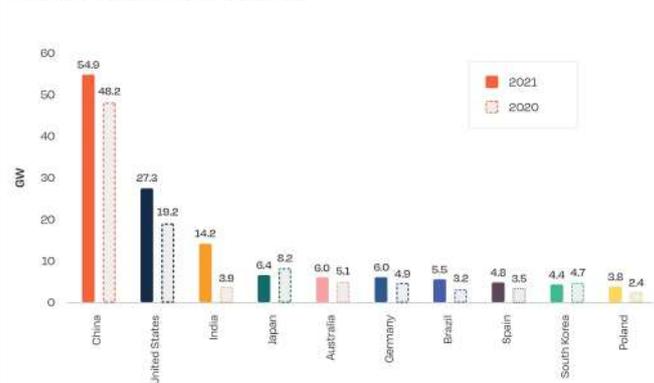


FIGURE 7 TOP 10 SOLAR PV MARKETS, 2020-2021



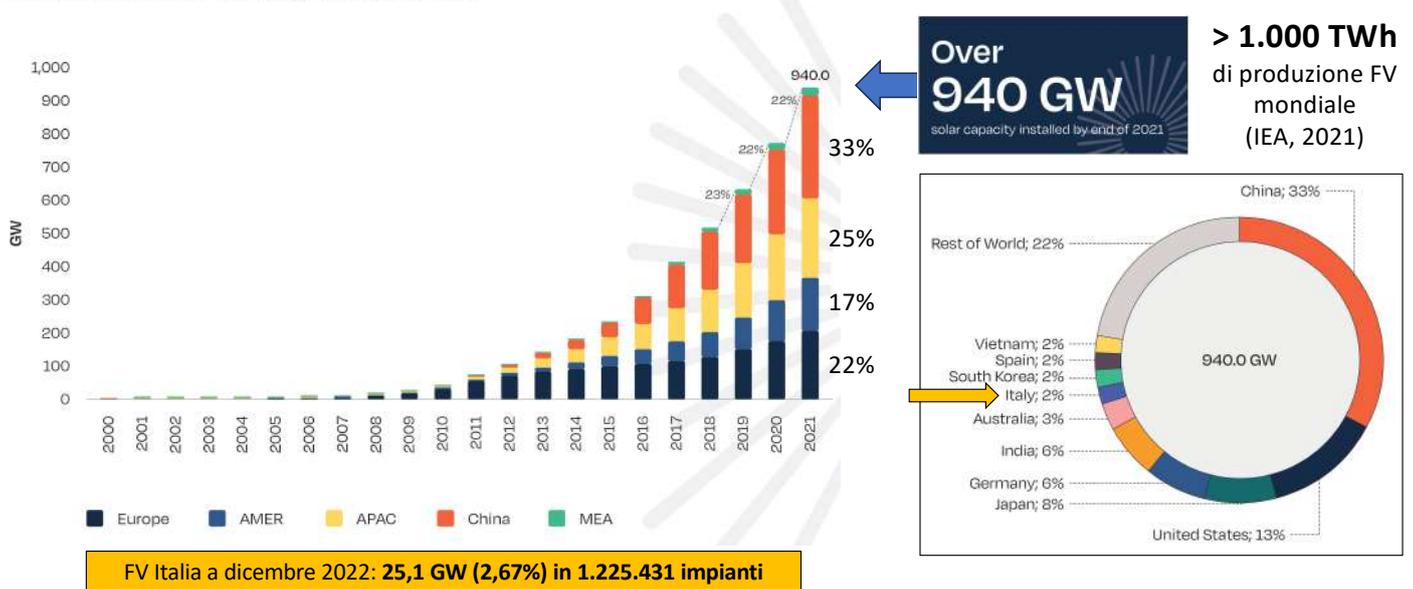
Installato FV Italia nel 2022: 2,5 GW in 210.155 impianti

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



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

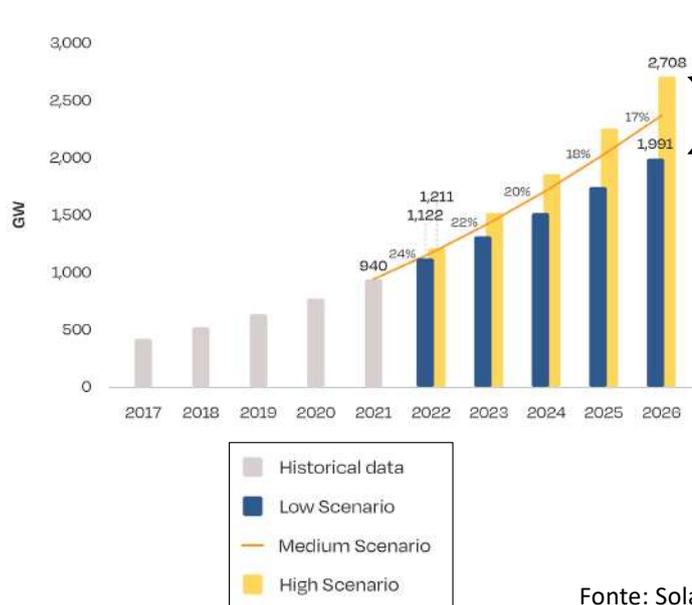


Fonte: Solar Power Europe, 2022

L'evoluzione del FV nel mondo: prospettive 2026

Fabio Bignucolo

FIGURE 16 GLOBAL TOTAL SOLAR PV MARKET SCENARIOS 2022 - 2026



Tra x2 e x3
della potenza
installata in 5 anni

Aumento atteso di potenza FV
installata in Italia:

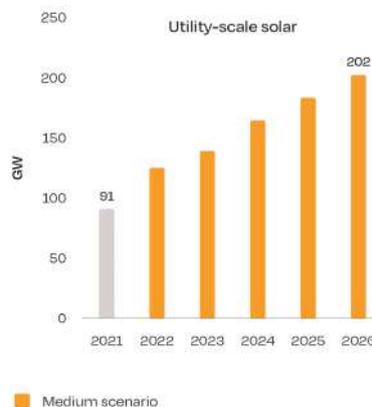
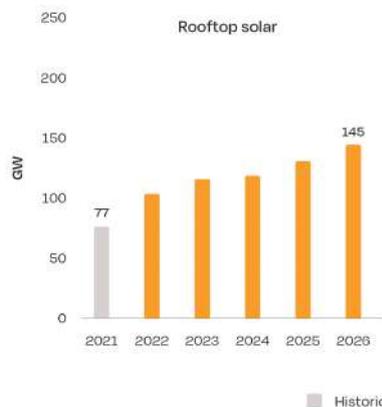
- 7 GW (low scenario)
- 13,2 GW (medium scenario),
ovvero 5 volte l'installato 2022
- 21 GW (high scenario)

Fonte: Solar Power Europe, 2022

L'evoluzione del FV nel mondo: prospettive 2026

Fabio Bignucolo

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



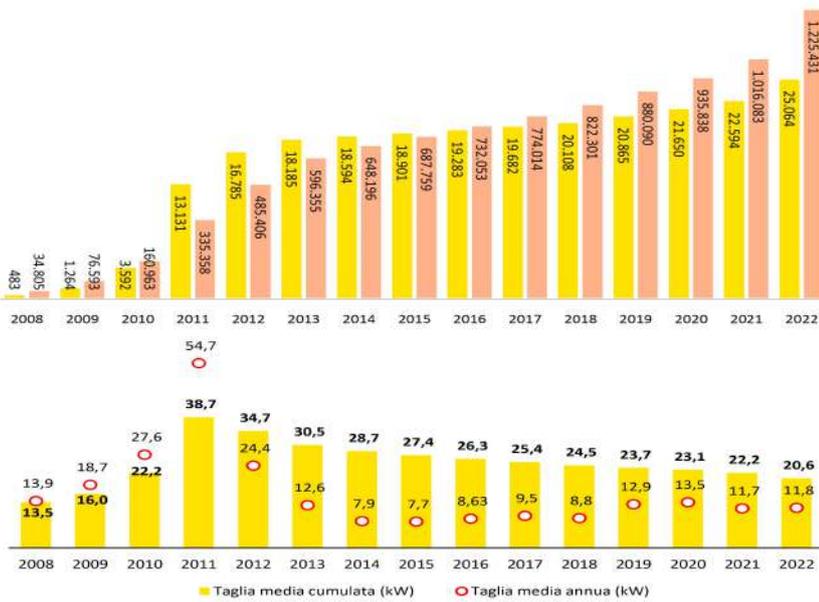
Fonte: Solar Power Europe, 2022

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



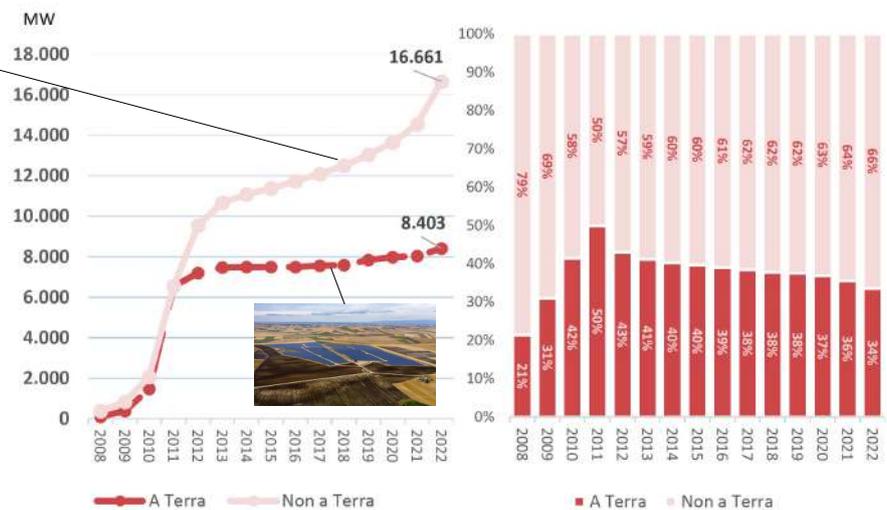
Classi di potenza (kW)	Impianti installati nel 2022	
	Numero	Potenza (MW)
1<=P<=3	20.080	47,4
3<P<=20	185.264	1.226,0
20<P<=200	4.002	296,4
200<P<=1.000	746	409,8
1.000<P<=5.000	48	157,5
P>5.000	15	352,7
Totale	210.155	2.489,7

21

La fotografia del FV in Italia: collocazione

Fabio Bignucolo

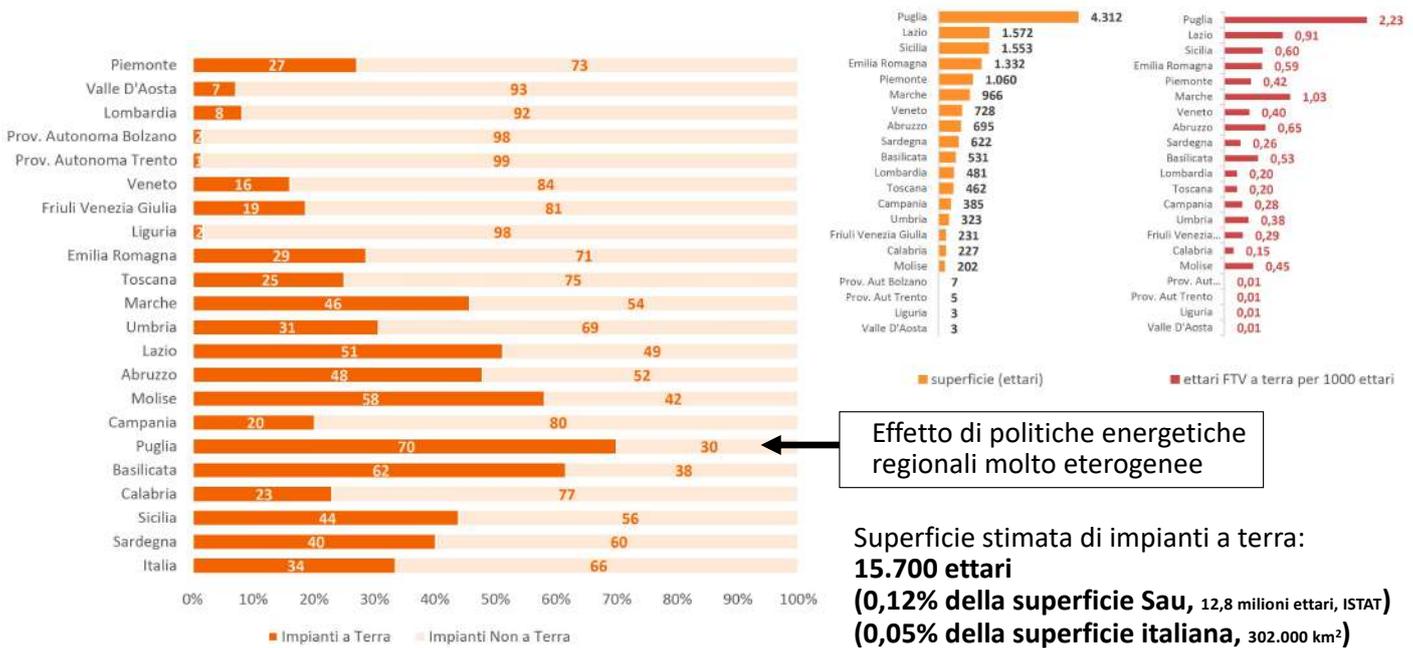
Evoluzione della potenza degli impianti fotovoltaici per collocazione



22

La fotografia del FV in Italia: collocazione

Fabio Bignucolo

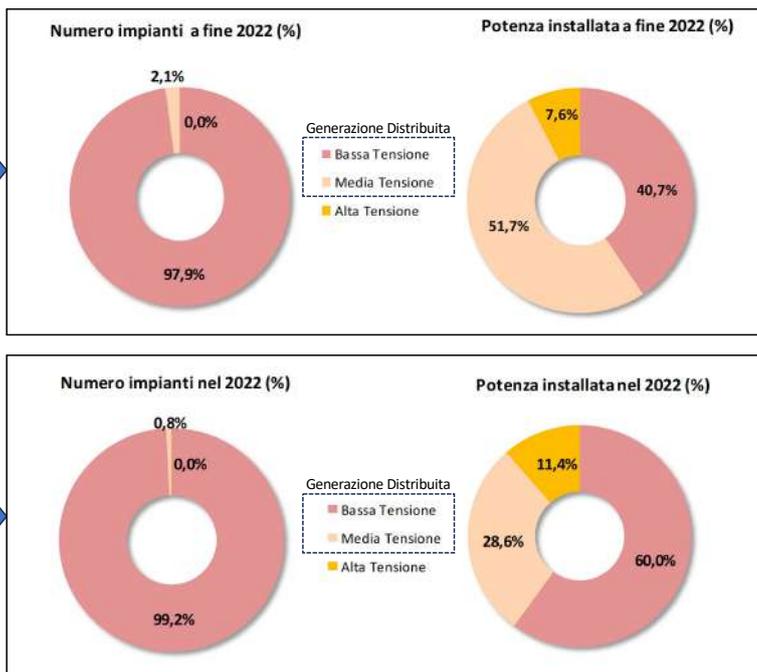


La fotografia del FV in Italia: livello di tensione

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	5.532	5.344
20<P<=200	65.929	4.999	5.116
200<P<=1.000	12.963	8.275	9.726
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

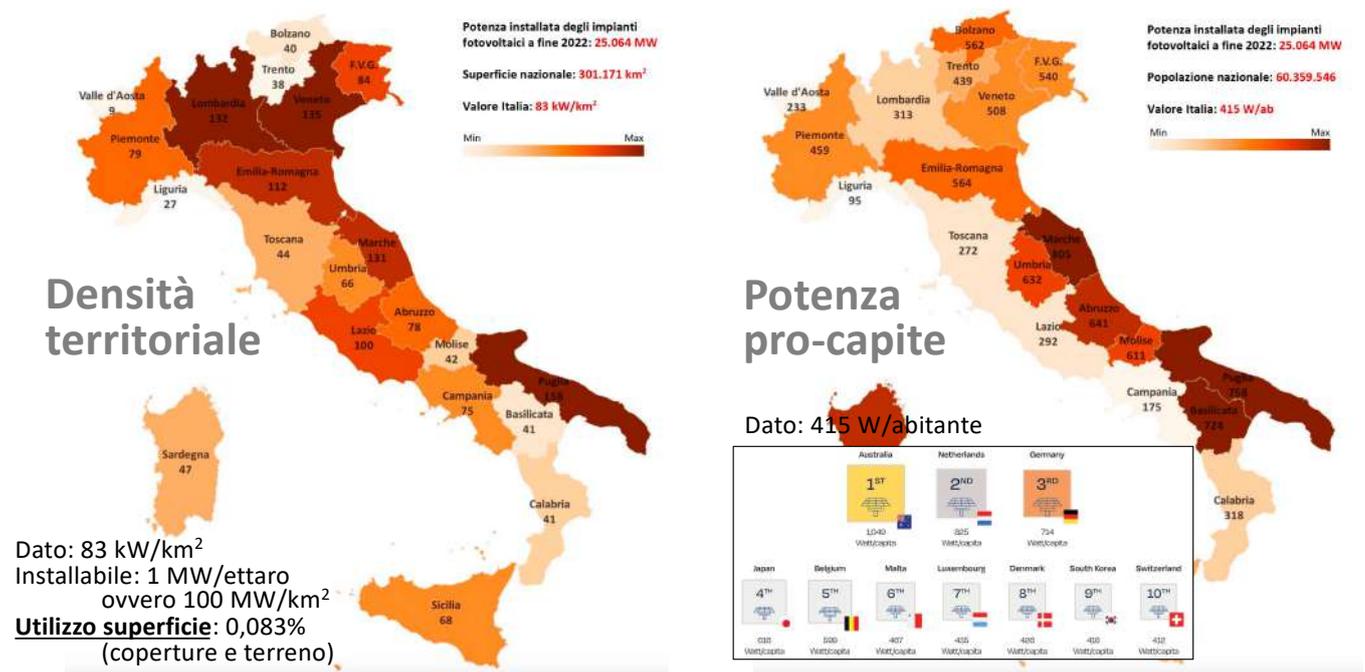
La fotografia del FV in Italia: ubicazione degli impianti

Fabio Bignucolo



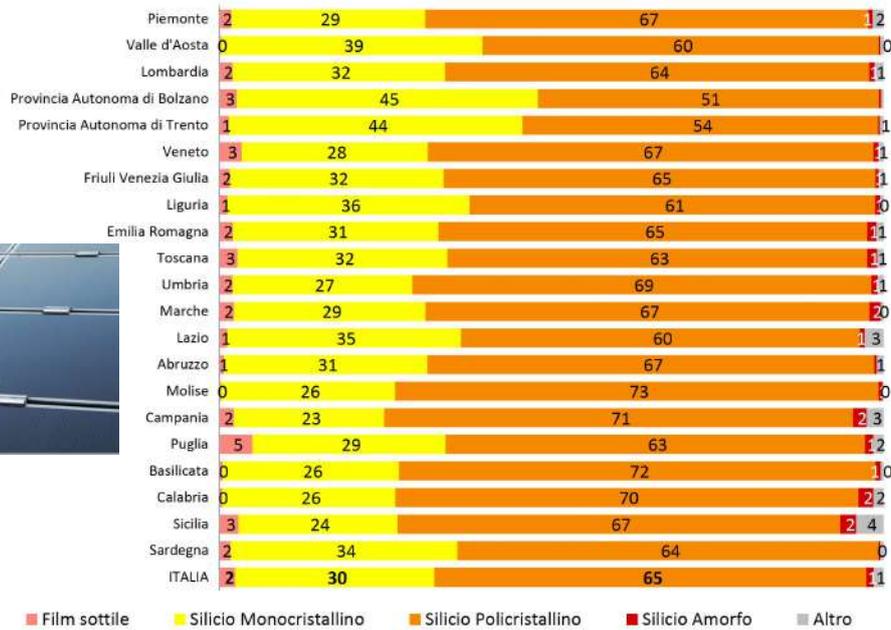
La fotografia del FV in Italia: ubicazione degli impianti

Fabio Bignucolo



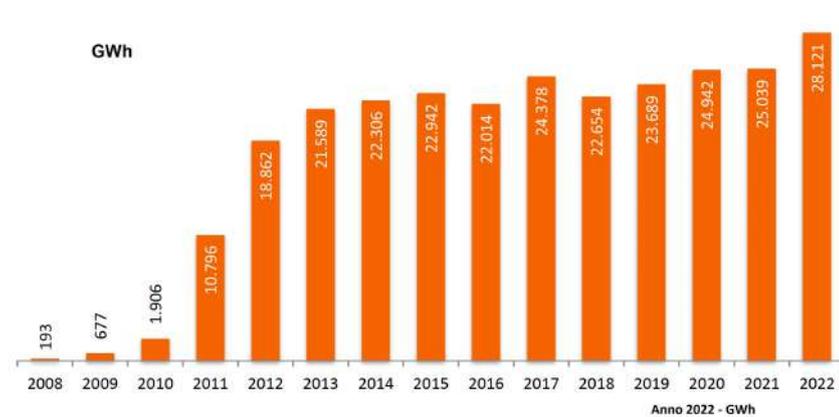
La fotografia del FV in Italia: tecnologie

Fabio Bignucolo

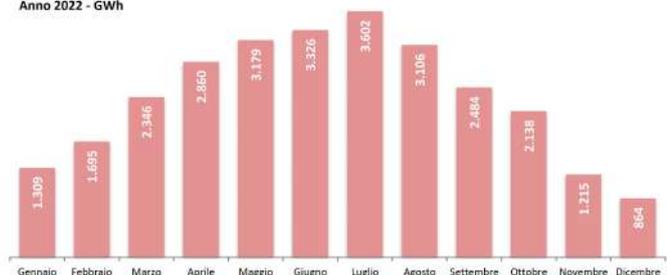


La fotografia del FV in Italia: produzione

Fabio Bignucolo



Circa 9,4% della produzioni complessiva IT nel 2022



La fotografia del FV in Italia: produzione

Fabio Bignucolo



Energia solare cumulata annua in Italia – Anno 2022

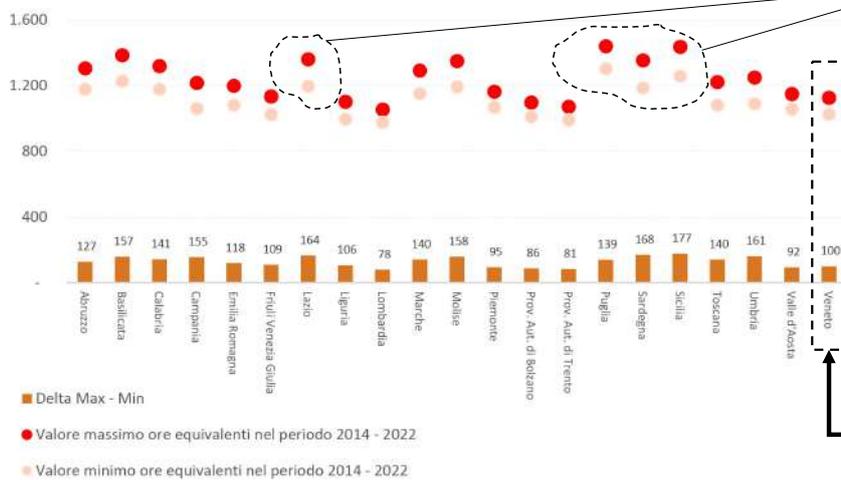


29

La fotografia del FV in Italia: producibilità 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

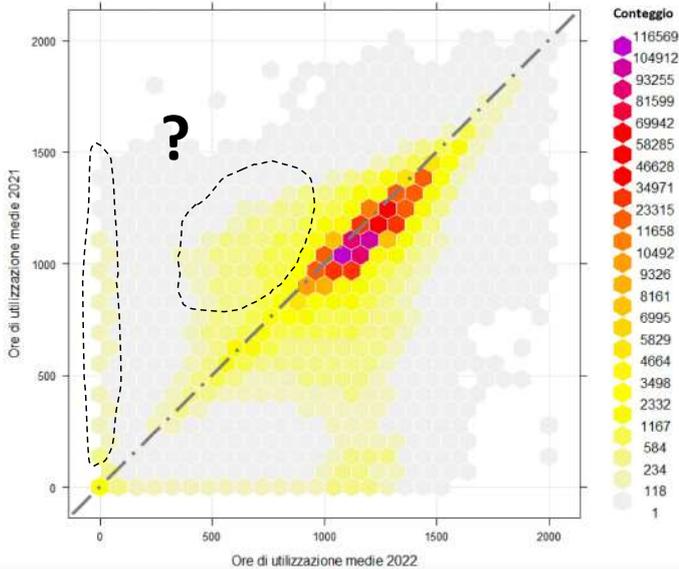
Minime variazioni annuali legate alla disponibilità di energia primaria (solare)

30

La fotografia del FV in Italia: producibilità 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 producibilità molto basse o addirittura nulle nel 2022
- Cause di under-performance:
 - Cattiva progettazione
 - Degrado anomalo dei componenti
 - Monitoraggio insufficiente

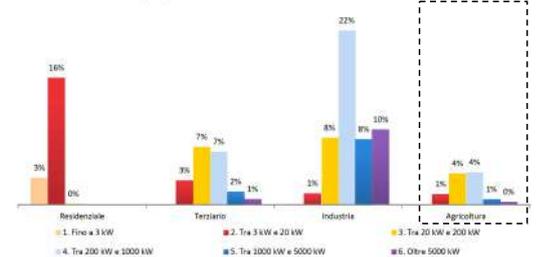
31

La fotografia del FV in Italia: settori produttivi

Fabio Bignucolo

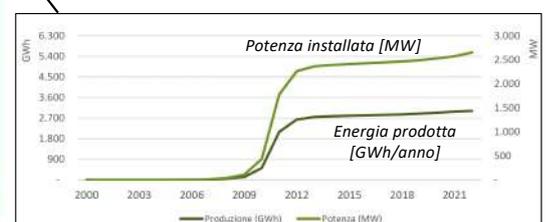
Settore di Attività	Numero Impianti	Potenza (MW)	Produzione Lorda (GWh)	Autoconsumi (GWh)
Residenziale	1.010.536	4.925	4.727	1.749
Agricoltura	41.787	2.651	3.012	495
Industria	73.369	10.552	15.132	2.341
10 - Industria alimentare:	4.305	406	476	301
22 - Fabbricazione Di Articoli In Gomma E Materie Plastiche	1.645	271	267	163
23 - Fabbricazione Di Altri Prodotti Della Lavorazione Di Minerali Non Metalliferi	1.839	253	257	128
25 - Fabbricazione Di Prodotti In Metallo (Esclusi Macchinari E Attrezzature)	7.645	676	661	369
27 - Fabbricazione Di Apparecchiature Elettriche Ed Apparecchiature Per Uso Domestico Non Elettriche	1.471	266	302	63
28 - Fabbricazione Di Macchinari Ed Apparecchiature N.C.A.	3.223	364	361	201
35.11 - Produzione energia elettrica	19.883	8.034	10.538	244
41 - Costruzioni di edifici	7.904	305	328	52
43 - Lavori di costruzione generalizzati	10.762	453	492	75
altro	14.692	1.465	1.448	750
Terziario	99.739	4.937	5.250	1.642
46 - Commercio All'Ingresso (Escluso Quello Di Autoveicoli E Di Motocicli)	10.728	671	691	296
47 - Commercio Al Dettaglio (Escluso Quello Di Autoveicoli E Di Motocicli)	11.547	436	448	260
55 - Alloggio	5.262	137	150	78
56 - Attività Dei Servizi Di Ristorazione	4.734	91	95	59
68 - Attività Immobiliari	12.352	898	908	171
85 - Istruzione	9.063	207	214	103
86 - Assistenza Sanitaria	1.760	43	44	28
altro	44.293	2.453	2.700	648
Italia	1.225.431	25.064	28.121	6.227

Potenza installata al 31/12/2022



Settore agricolo:

- 42.000 impianti
- Potenza complessiva 2.651 MW (10,6%)
- Produzione 3.012 GWh (10,7%)



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%	-5.3%	-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 $S_{orizz}/S_{PV} = 1$	Impianti di grandi dimensioni su più filari $S_{orizz}/S_{PV} = D/L$
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

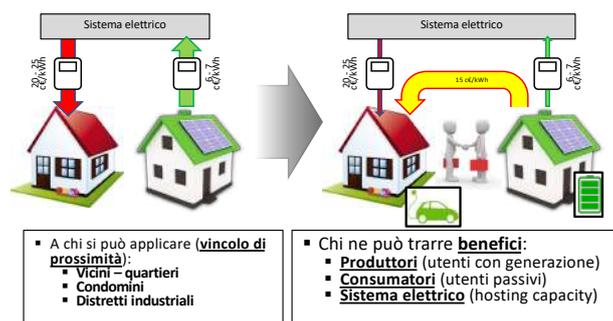
33

Incrementare la produzione fotovoltaica

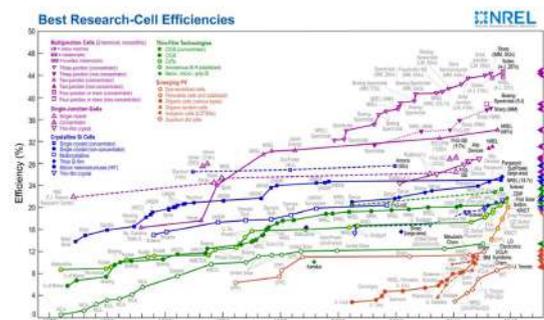
Fabio Bignucolo

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)

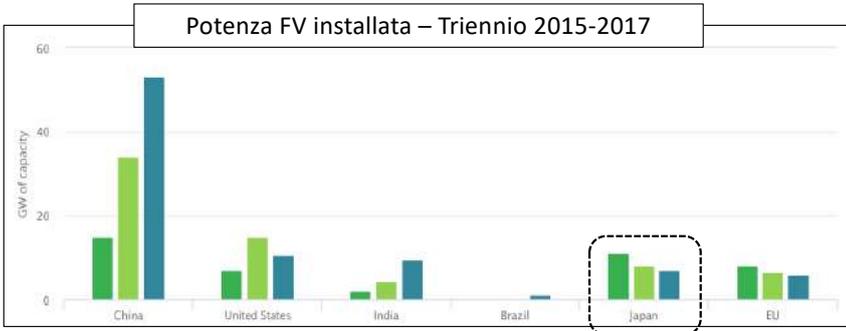


- A chi si può applicare (**vincolo di prossimità**):
 - Vicini - quartieri
 - Condomini
 - Distretti industriali
- Chi ne può trarre **benefici**:
 - **Produttori** (utenti con generazione)
 - **Consumatori** (utenti passivi)
 - **Sistema elettrico** (hosting capacity)



34

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)**

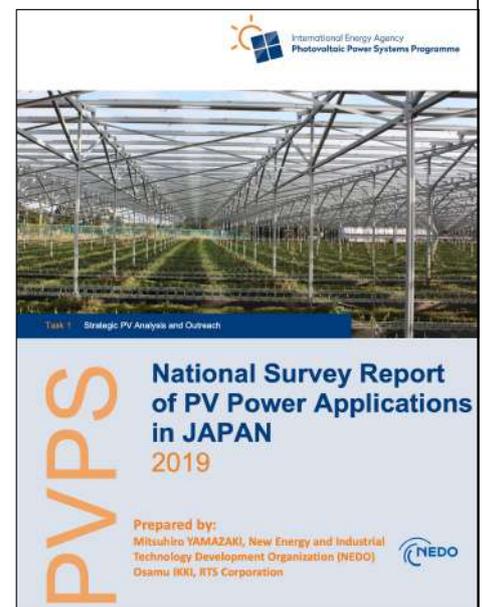
È possibile?... il caso Giappone

Table 2: PV power installed during calendar year 2019

		Installed PV capacity in 2019 [MW] DC value	
Grid-connected	BAPV	(1) Residential (< 10 kW)	891,9
		(2) Commercial (< 50 kW, including ground-mounted)	2 119
		(3) Industrial (50 kW - 1 MW, including ground-mounted)	1 111
		(4) Total of BAPV	4 121,9
	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	2,116	
	(15) Hybrid systems	NA	
	(16) Total of off-grid	2,116	
Total	(17) Total ((4) + (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)

Grazie per l'attenzione!

Fabio Bignucolo

Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

fabio.bignucolo@unipd.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



27 luglio 2023

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