

# La transizione energetica: quali possibilità e opportunità

**Fabio Bignucolo**

*Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale*

*Centro Studi di Economia e Tecnica dell'Energia Giorgio Levi Cases*

[fabio.bignucolo@unipd.it](mailto:fabio.bignucolo@unipd.it)

1222·2022  
800  
A N N I



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

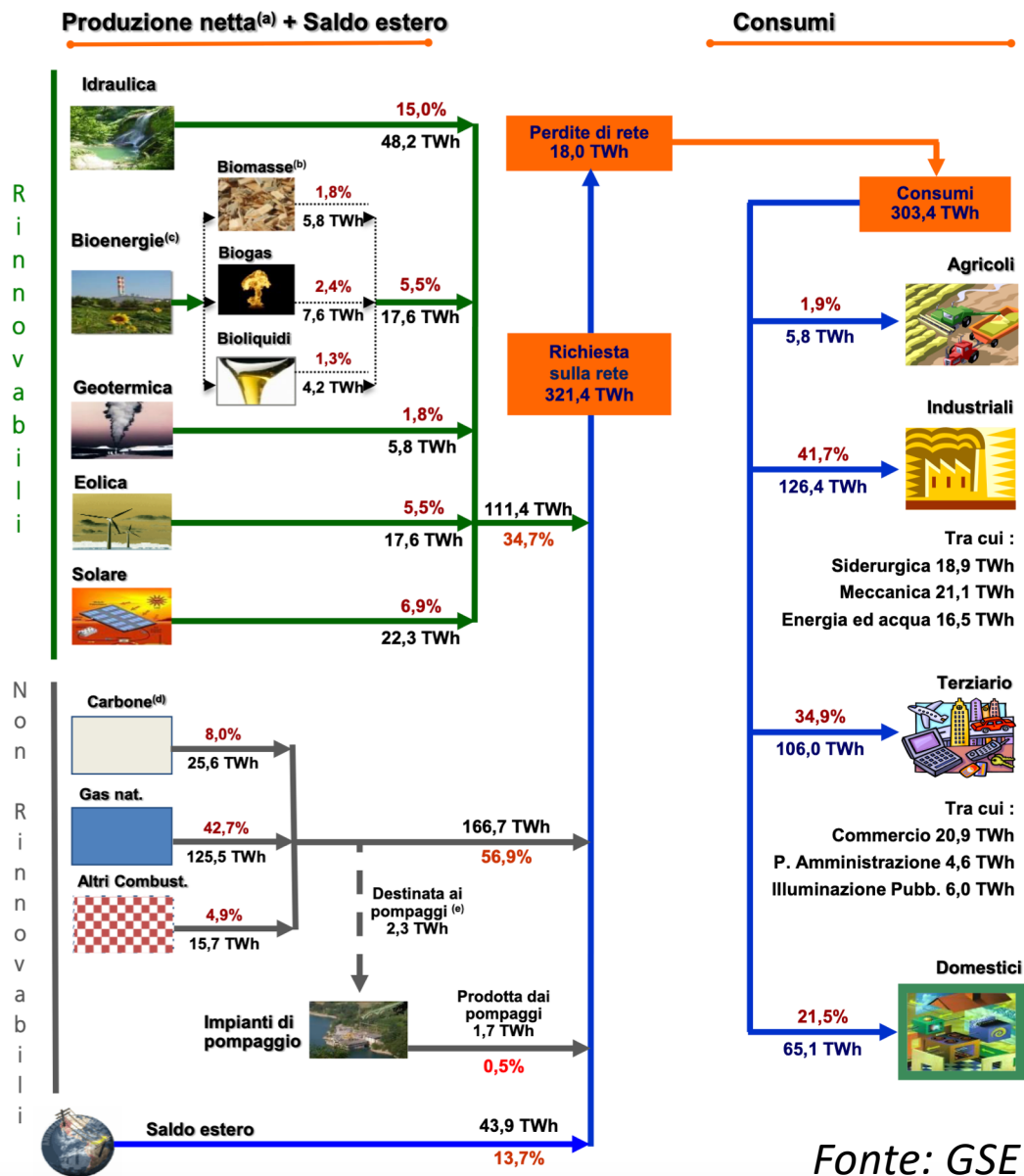


DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA INDUSTRIALE



*Convegno Ordine e Collegio Ingegneri Venezia sul Position Paper sul Climate Change  
Venezia, Scuola Grande di San Rocco, 23 luglio 2020*

# Il sistema elettrico IT



## FOTOGRAFIA DEL SISTEMA ELETTRICO IN ITALIA (dato GSE, anno 2018)

- **Consumo** di circa 300 TWh/anno
  - Previsto in aumento per l'elettificazione degli altri usi energetici
  - Es. 10 milioni di auto elettriche, 15.000 km/anno, 7 km/kWh, rendimento circuiti di carica 90% → extra-consumo di circa 24 TWh/anno (+8%)
- **Produzione da fonti rinnovabili** per il 34,7%
  - Valore pressoché costante negli ultimi 5 anni
- Principale combustibile fossile è **gas** (42,7% della produzione elettrica)
- Entro 2025 previsto **phase-out del carbone** (ancora 8% della produzione elettrica nel 2018)

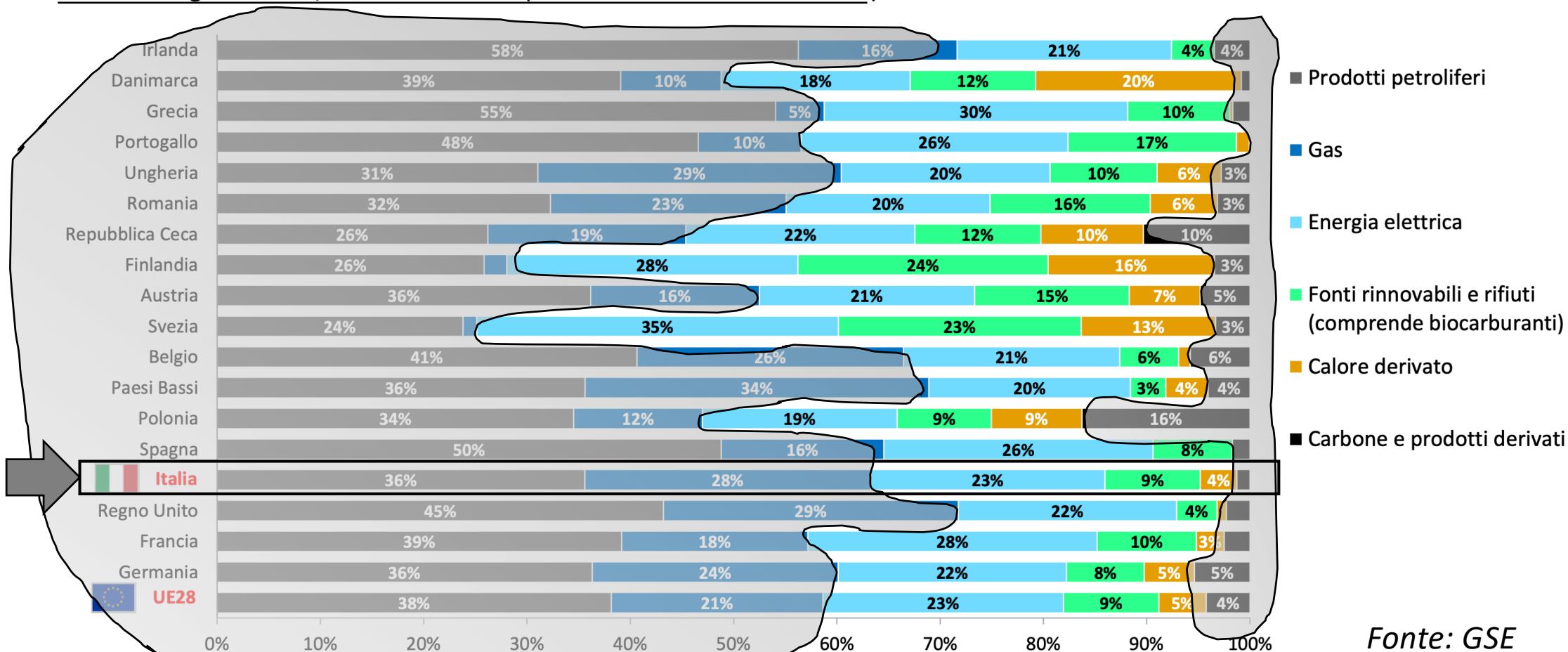
È «sufficiente» triplicare il parco rinnovabile italiano?

# Lo scenario energetico attuale - EU

## Consumi energetici complessivi nel 2018 in Europa – Composizione per fonte

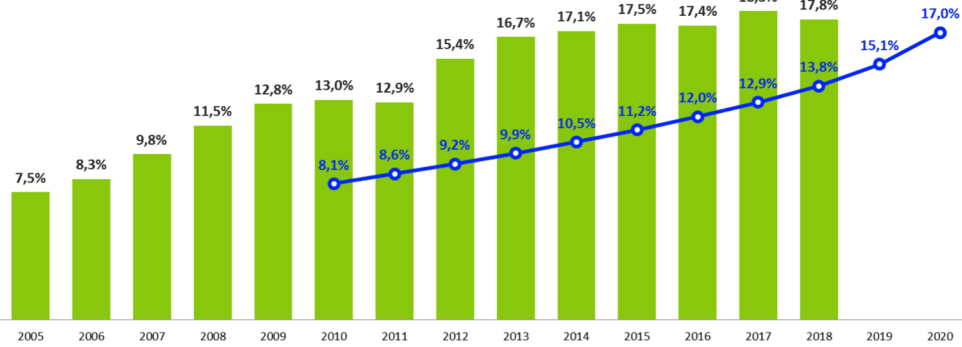


- Il grafico illustra la distribuzione dei consumi energetici complessivi dei principali Paesi UE per fonte, in percentuale sul totale nazionale.
- Nel 2018 il 36% del consumo finale lordo di energia in Italia è relativo a prodotti petroliferi (38% in UE28), il 28% a gas (21% in UE28) e il 23% all'energia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



Fonte: GSE

# Lo scenario energetico attuale - IT



Consumi finali lordi di energia coperti da rinnovabile  
(linea blu: Piano d'Azione Nazionale, PAN)

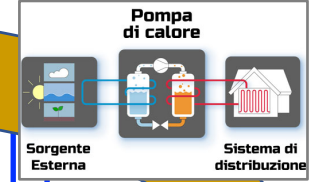
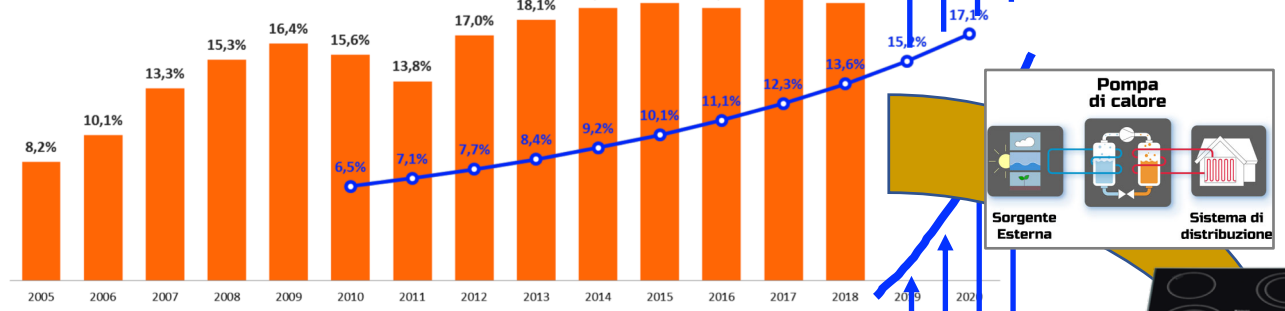
**Sono sufficienti le traiettorie PAN?**



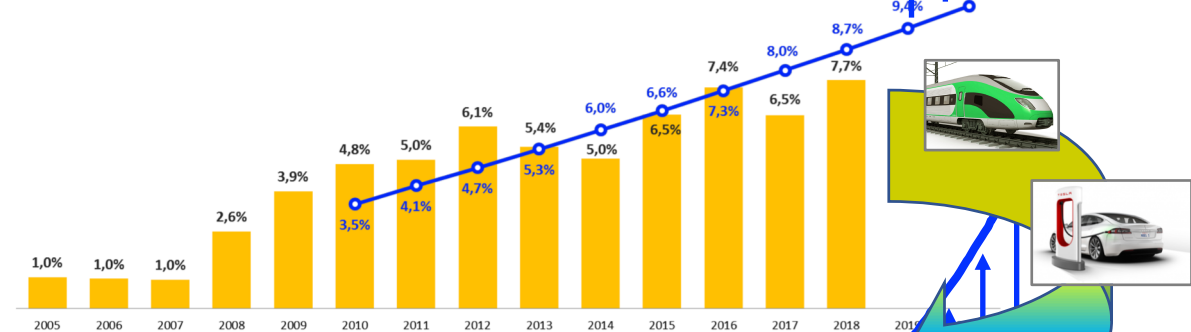
**No, PNIEC e Green New Deal EU**  
Obiettivi più ambiziosi che crescono più velocemente

**Come aumentare la quota di rinnovabili**  
nei consumi finali lordi di energia?

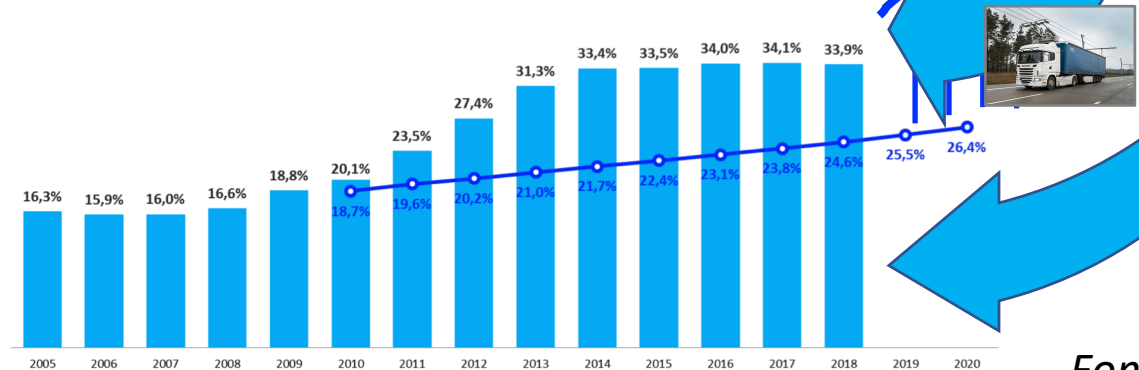
Termico



Trasporti



Elettricità



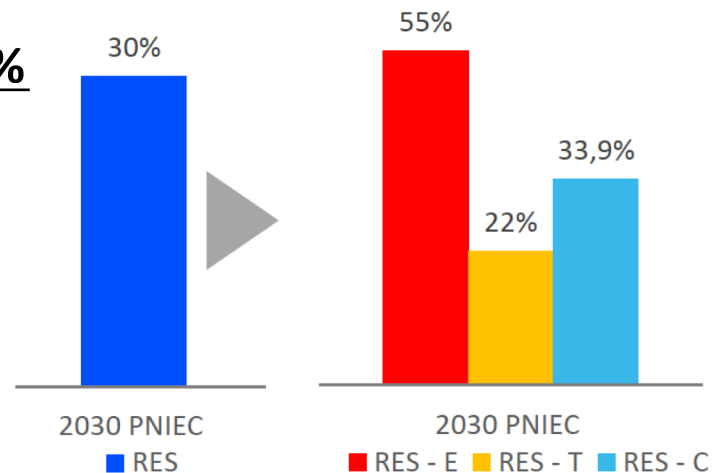
# Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)



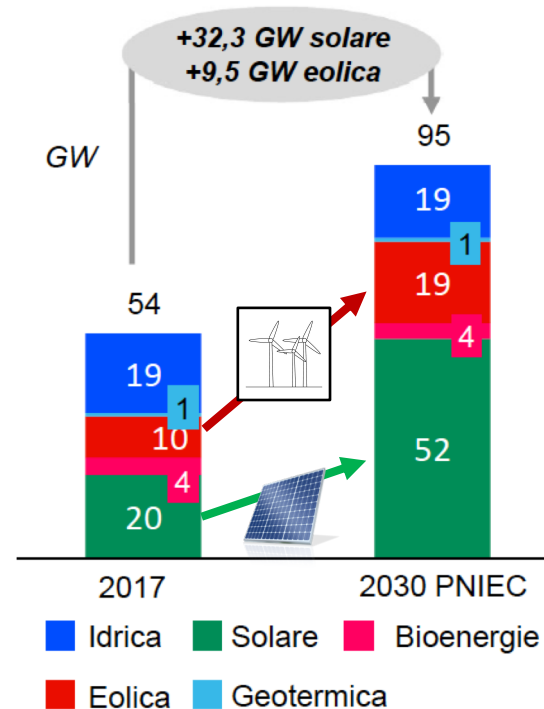
## ENERGIA CLIMA



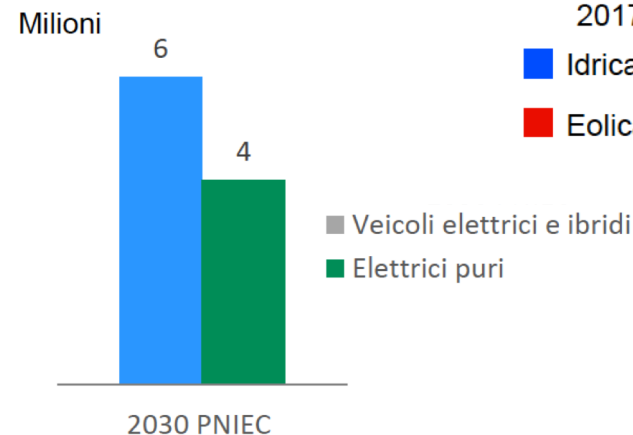
- **TARGET: RES al 30%** dei consumi finali lordi di energia (18,3% nel 2017)



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



- **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) → pompe di calore

# Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)



## ENERGIA CLIMA



### Alcuni degli elementi salienti

#### Dove:

- Grande **crescita del fotovoltaico**: +30 GW, sia a terra sia sugli edifici
- **Riduzione di consumi ed emissioni** nel settore **residenziale e terziario**: -7 Mtep
- **Decarbonizzazione dei trasporti**: - 8 Mtep di petroliferi, + 2 Mtep di rinnovabili
- **Elettificazione dei consumi**: +1,6 Mtep tra trasporti, residenziale e terziario
- Riduzione della **dipendenza energetica**: dal 77% al 63%



#### Come:

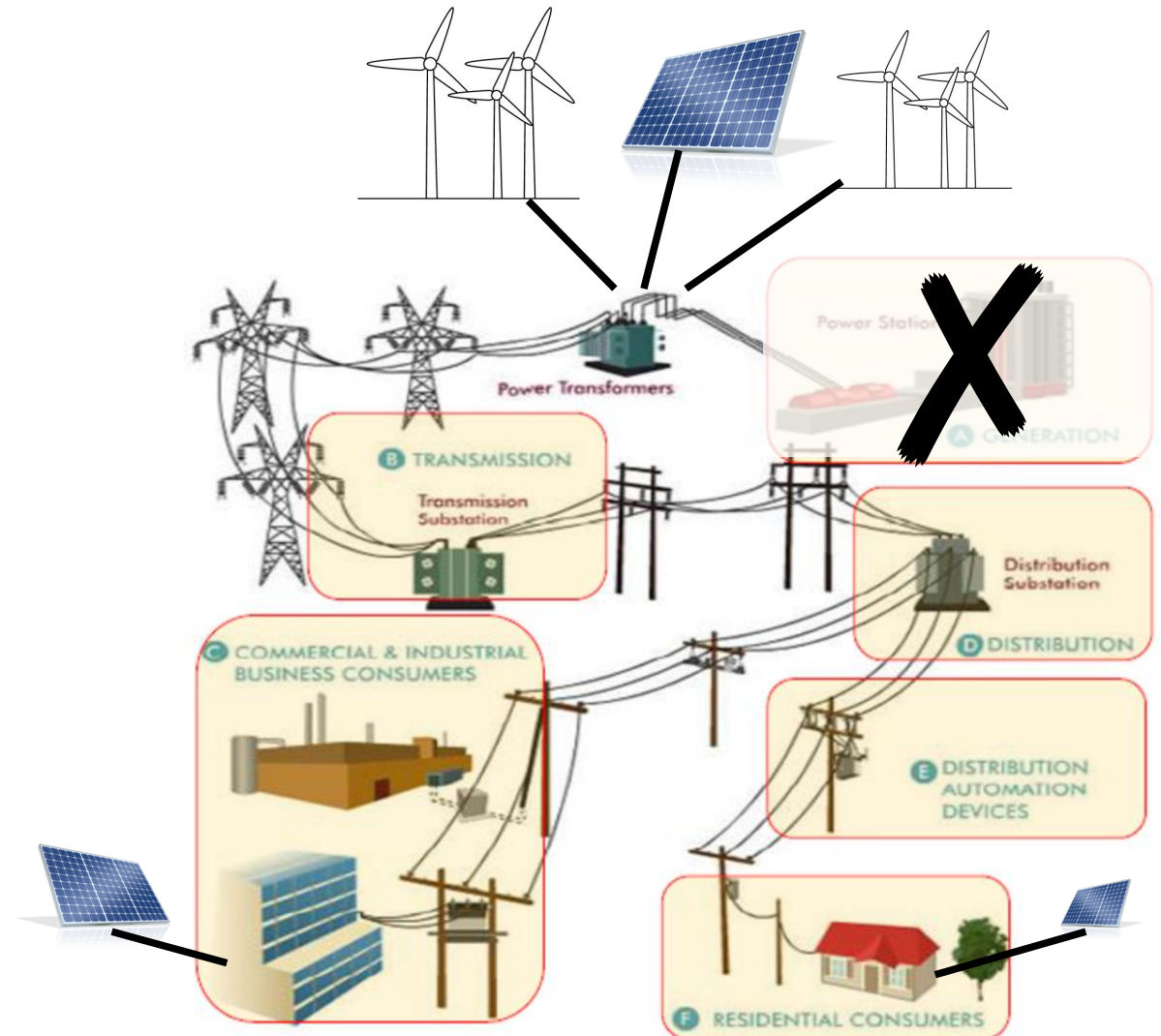
- Nuove infrastrutture e impianti, con attenzione agli impatti **ambientali** (territorio, qualità dell'aria, ecc.)
- Minimizzazione degli oneri e massimizzazione dei benefici per **consumatori e imprese**
- Forte **connessione** tra diversi ambiti: **generazione elettrica, mobilità e altri consumi, ruolo attivo della domanda**

#### Sfide:

- Decarbonizzare in settori più difficili: **residenziale, terziario, trasporti**
- Settori dove le scelte dipendono dagli **individui**: sempre più importanti, accanto a quelle finanziarie, altre leve

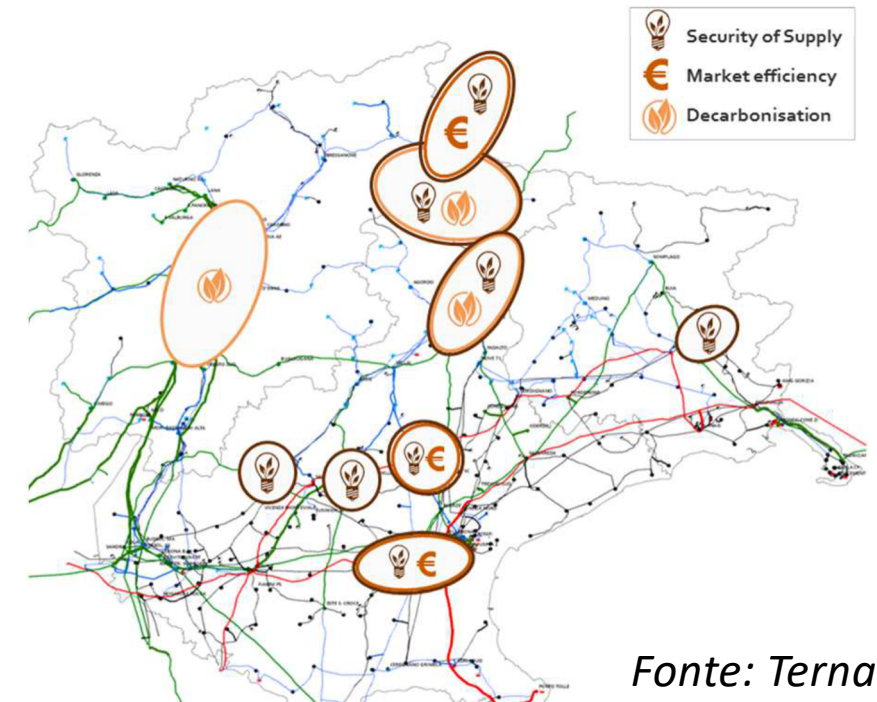
# Perché è necessaria una conversione elettrica degli usi finali?

- **Flessibilità, pulizia e capillarità** del vettore elettrico
- **Indispensabilità** dell'energia elettrica
- **Flessibilità al cambiamento** della infrastruttura esistente
  - Il sistema elettrico è il più facilmente modificabile in termini di input energetico (sostituzione delle centrali fossili con impianti a fonte rinnovabile)
  - È possibile lasciare inalterata (o quasi) la maggior parte della struttura energetica (trasmissione, distribuzione e utilizzazione)
  - Necessario studio delle localizzazioni delle fonti primarie in relazione ai centri di consumo
  - Potenziamento delle infrastrutture di trasporto
  - Nuove strutture tecniche e economiche per garantire la stabilità del sistema elettrico

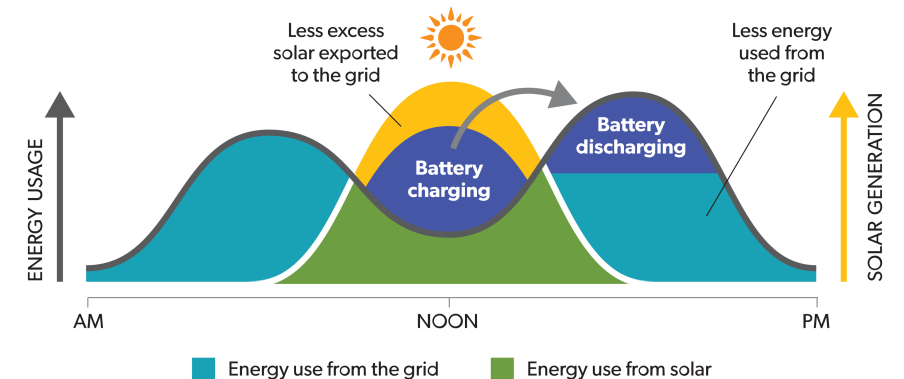


# Fonti rinnovabili e reti elettriche

- 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**)
  - Abbinamento stretto con consumi locali (comunità energetiche)
  - Smart Grids su scala locale
  - Sistemi di accumulo (pompaggi, elettrochimico, power2gas, ecc.)
  - Interazione con strutture di ricarica



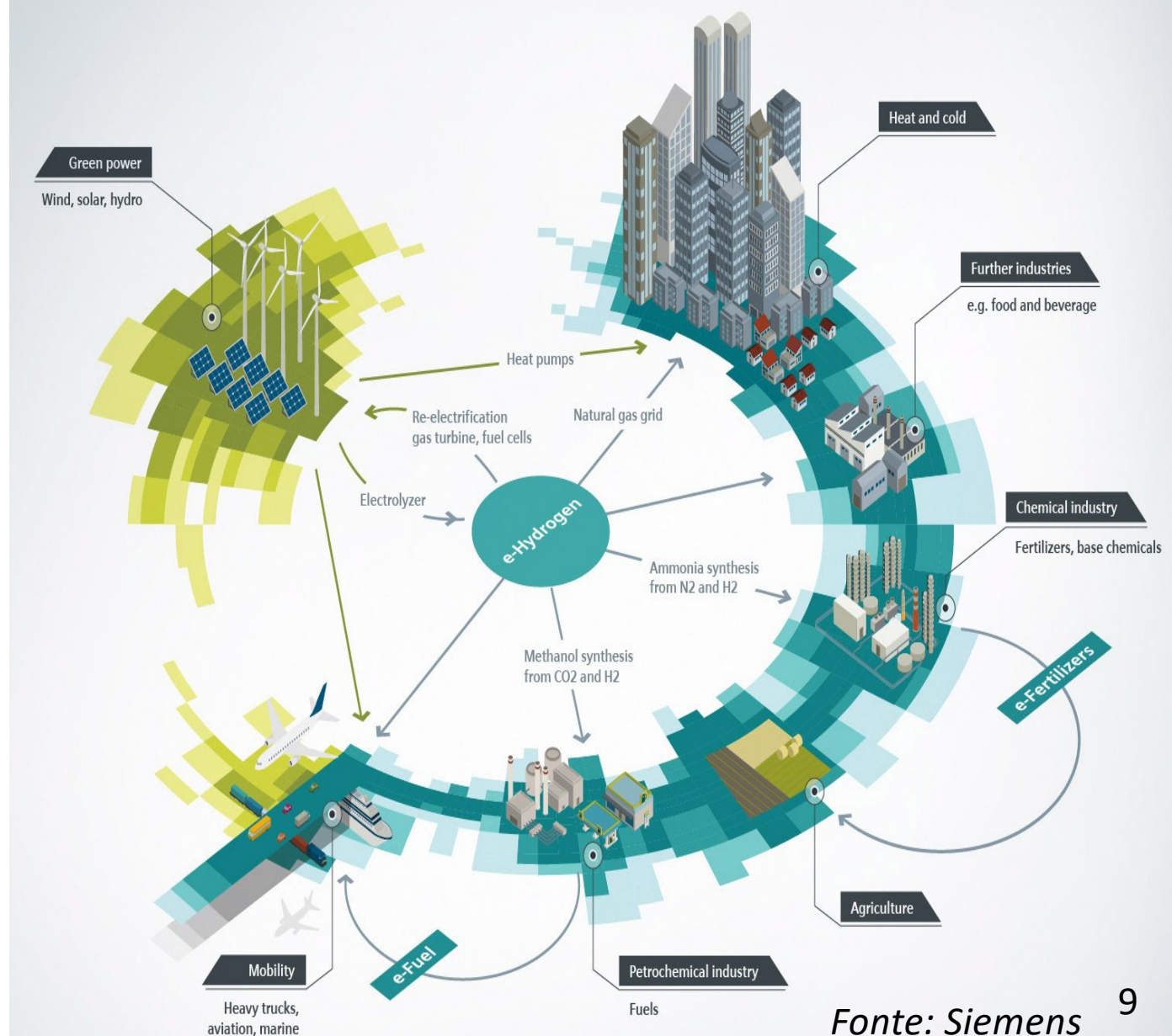
Fonte: Terna





# Sinergie elettricità-idrogeno

- La sinergia tra vettore elettrico ed idrogeno è molto stretta e interessante
- Idrogeno pulito («**green**», da rinnovabili) è molto importante per il raggiungimento degli obiettivi ambientali comunitari:
  - Utilizzo di energia in forma di gas (combustione)
  - Parziale riutilizzo infrastruttura (gas metano)
  - Stoccaggio di energia
  - Agevole passaggio elettricità  $\rightarrow$   $\leftarrow$  H<sub>2</sub> (da considerare i rendimenti)
- Investimenti UE in H<sub>2</sub> tra 180 e 470 mld € entro il 2050
- 1 mln ton H<sub>2</sub> green al 2024 (10 mln ton al 2030)
- *C'è idrogeno e idrogeno... non solo green ma anche nero/grigio (da combustibili fossili) e blu (cattura e stoccaggio del carbonio dal gas naturale)*



# Come conseguire gli obiettivi ambientali?

Maggiore elettrificazione dei settori energetici

+

Utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico

(+)

Generazione rinnovabile del consumo elettrico

=

Necessità di aumentare di molto la generazione rinnovabile attuale

- Impianti fotovoltaici abbinati alle utenze (domestiche, industriali, commerciali, comunità energetiche)
- Impianti fotovoltaici utility-scale
- Impianti eolici 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

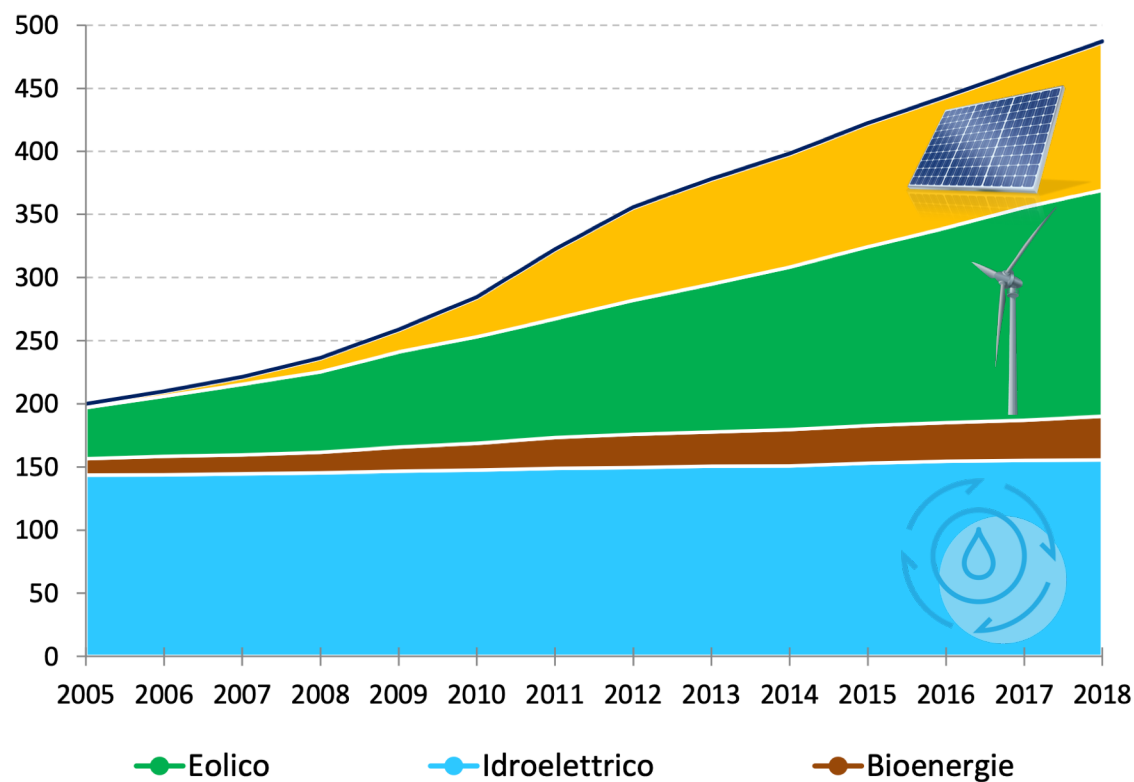
# Come conseguire gli obiettivi?

## Potenza rinnovabile installata nel settore elettrico in Europa

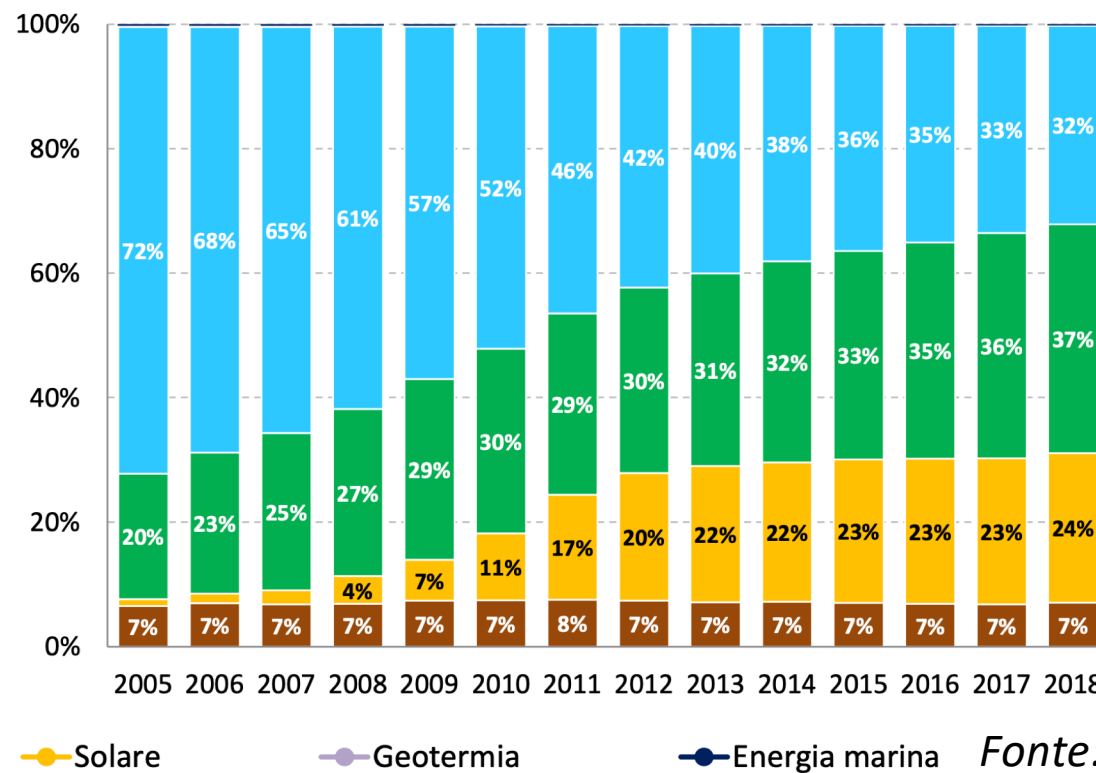


- Nel 2018 aumenta il contributo della fonte eolica sulla potenza elettrica complessiva da fonti rinnovabili installata in Europa (180 GW su 490 GW). Quella eolica si conferma la fonte principale, in Europa, in termini di potenza installata.
- Negli ultimi 10 anni le installazioni solari hanno più che triplicato il loro peso sul totale europeo (dal 7% del 2009 al 24% del 2018). Su un totale di 117 GW di potenza solare installata, nel 2018 114,7 GW sono impianti solari fotovoltaici e 2,3 GW solari a concentrazione.

Potenza elettrica FER installata in Europa (GW)



Peso delle diverse fonti sulla potenza elettrica FER totale installata in Europa

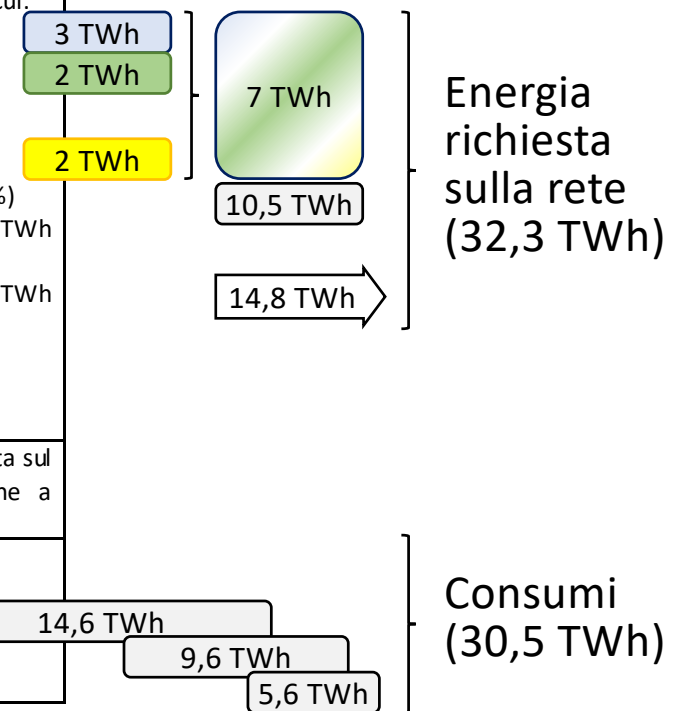


# Un esercizio su scala regionale – Veneto

## Produzione di energia elettrica 100% rinnovabile cosa significa?

	Consumo totale 2017	Produzione totale netta 2017
Piemonte	24,559	29,042
Valle d'Aosta	941	2,808
Lombardia	66,503	45,425
Trentino Alto Adige	6,520	9,278
Veneto	2	9
Friuli Venezia Giulia	10,100	10,132
Liguria	6,101	5,848
Emilia Romagna	28,075	22,854
Toscana	19,443	17,030
Umbria	5,183	2,439
Marche	6,899	3,306
Lazio	21,921	20,039
Abruzzi	6,184	4,935
Molise	1,356	2,982
Campania	16,847	11,120
Puglia	17,018	31,570
Basilicata	2,624	3,183
Calabria	5,242	17,818
Sicilia	17,478	17,480
Sardegna	8,426	12,443
Italia Settentrionale	173,259	> 140,921
Italia Centrale	53,447	> 42,814
Italia Meridionale e Insulare	75,175	< 101,530
ITALIA	301,881	285,266

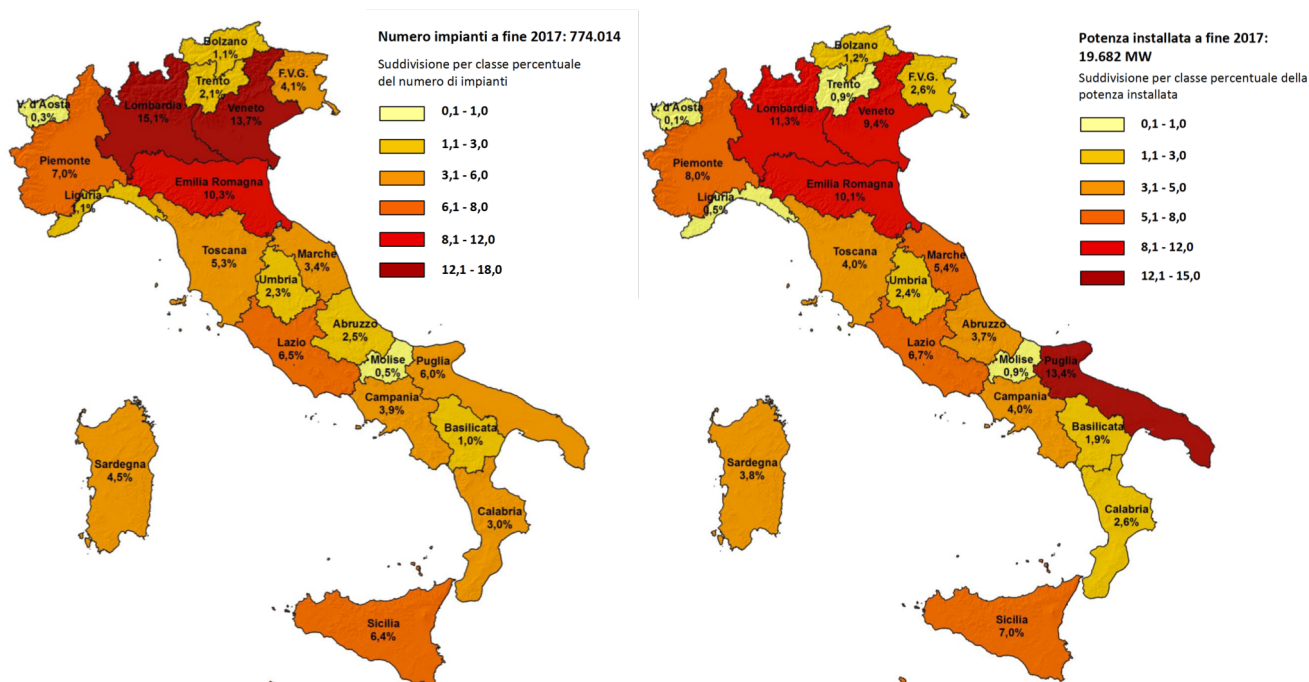
Bilancio elettrico nazionale (2017)	Bilancio elettrico Regione Veneto (2017)
<b>ENERGIA RICHIESTA SULLA RETE: 320,5 TWh, di cui:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fonti rinnovabili: 101,0 TWh (31,5%), di cui:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Idraulica: 35,8 TWh (11,2%)</li> <li>Bioenergie: 17,9 TWh (5,6%)</li> <li>Geotermica: 5,8 TWh (1,8%)</li> <li>Eolica: 17,6 TWh (5,5%)</li> <li>Solare: 21,8 TWh (6,9%)</li> </ul> </li> <li>Fonti non rinnovabili: 182,5 TWh (56,9%), di cui:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Carbone: 29,3 TWh (9,2%)</li> <li>Gas naturale: 137,0 TWh (42,7%)</li> <li>Altri combustibili: 16,1 TWh (5,0%)</li> </ul> </li> <li>Impianti di pompaggio: assorbita 2,5 TWh, generata 1,8 TWh (0,6%)</li> <li>Saldo Estero: 37,8 TWh (11,8%)</li> </ul>	<b>ENERGIA RICHIESTA SULLA RETE: 32,335 TWh, di cui:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fonti rinnovabili: 6,955 TWh (21,5%), di cui:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Idraulica: 2,949 TWh (9,1%)</li> <li>Bioenergie: 1,956 TWh (6,0%)</li> <li>Geotermica: 0 TWh (0,0%)</li> <li>Eolica: 0,018 TWh (0,0%)</li> <li>Solare: 2,032 TWh (6,3%)</li> </ul> </li> <li>Fonti non rinnovabili: 10,598 TWh (32,8%)</li> <li>Impianti di pompaggio: generata 0,001 TWh (0,0%)</li> <li>Saldo con altre regioni/estero: 14,781 TWh (45,7%)</li> </ul>
<b>PERDITE DI RETE: 18,7 TWh (rendimento di trasmissione/distribuzione 94,2%)</b>	<b>PERDITE DI RETE: 1,760 TWh (stima basata sul rendimento di trasmissione/distribuzione a livello nazionale)</b>
<b>CONSUMI: 301,9 TWh, di cui:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Agricoli: 6,0 TWh (2,0%)</li> <li>Industriali: 125,5 TWh (41,6%)</li> <li>Terziario: 104,9 TWh (34,7%)</li> <li>Domestici: 64,3 TWh (21,7%)</li> </ul>	<b>CONSUMI: 30,460 TWh, di cui:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Agricoli: 0,699 TWh (2,3%)</li> <li>Industriali: 14,635 TWh (48,0%)</li> <li>Terziario: 9,574 TWh (31,4%)</li> <li>Domestici: 5,553 TWh (18,2%)</li> </ul>



- 100% rinnovabile: ma di cosa?**
  - Della produzione → Veneto (39,6%) migliore della media nazionale (31,5%)
  - Del consumo elettrico attuale → Veneto penalizzato (produce metà della sua domanda elettrica)
    - Sarebbe richiesto un parco rinnovabile attuale ~ x 5

# Incrementare la produzione fotovoltaica

## Cosa significa?



- **Fotovoltaico Italia (dic. 2018):**
  - 822.000 impianti, 20,1 GW installati
  - 6,9% della produzione nazionale (22,7 TWh)
- **Fotovoltaico Veneto**
  - 2° regione per n. di impianti, 4° per potenza ed energia prodotta
- Impianti medio piccoli → «Vicini» agli utenti comuni
- Basso impatto percepito (soprattutto per impianti su edifici)

## Come disporre i pannelli?

Condizione di esposizione ottimale per un impianto fisso a Padova

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

- L'occupazione di superficie può essere limitata a 8-9 m<sup>2</sup>/kW con opportuni accorgimenti progettuali
- **800 ettari → 1 GW → 1.100 GWh = 1,1 TWh (rif. Veneto)**

# Incrementare la produzione fotovoltaica

## Come?

### ■ Valorizzazione della produzione fotovoltaica

- Impianti fotovoltaici di pura generazione già in market parity nelle regioni meridionali
- Opportuno l'abbinamento con centri di consumo
  - In passato, abbinamento fisico (a valle del contatore)
  - In futuro:
    - Contratto per valorizzazione della produzione (PPA)
    - Distretti energetici e aggregatori locali

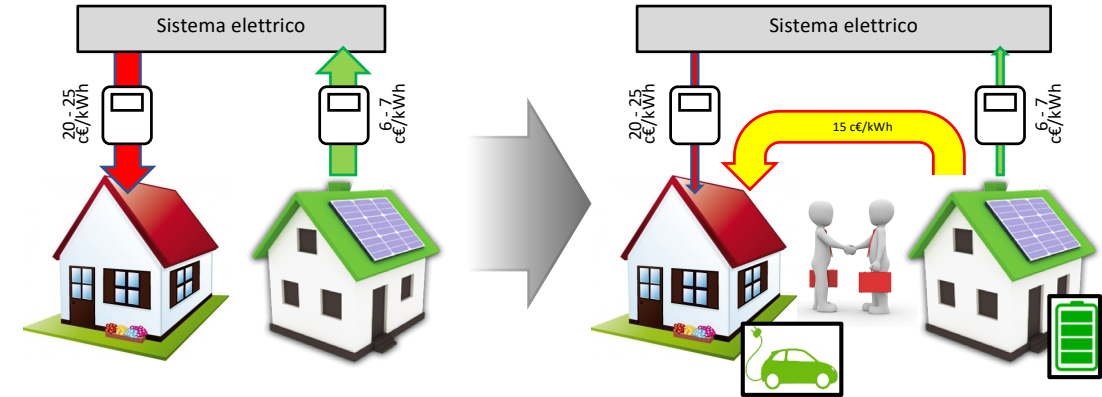
### ■ Stabilità normativa durante la vita dell'impianto (>25 anni)

### ■ Oggettiva valutazione dell'impatto ambientale

- Occupazione del suolo
- + Assenza di emissioni inquinanti, rumore ed altre interferenze

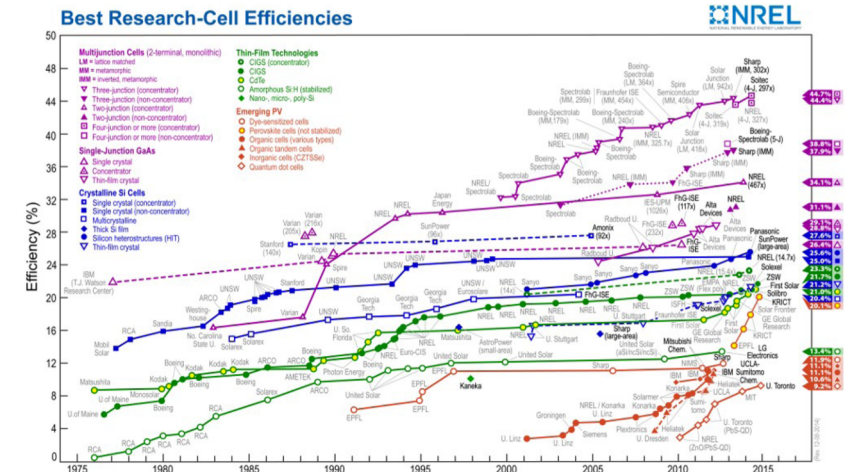
### ■ Evoluzione tecnologica

- Tecnologia matura in continua evoluzione (riduzione delle superfici richieste a parità di potenza, riduzione dei costi)



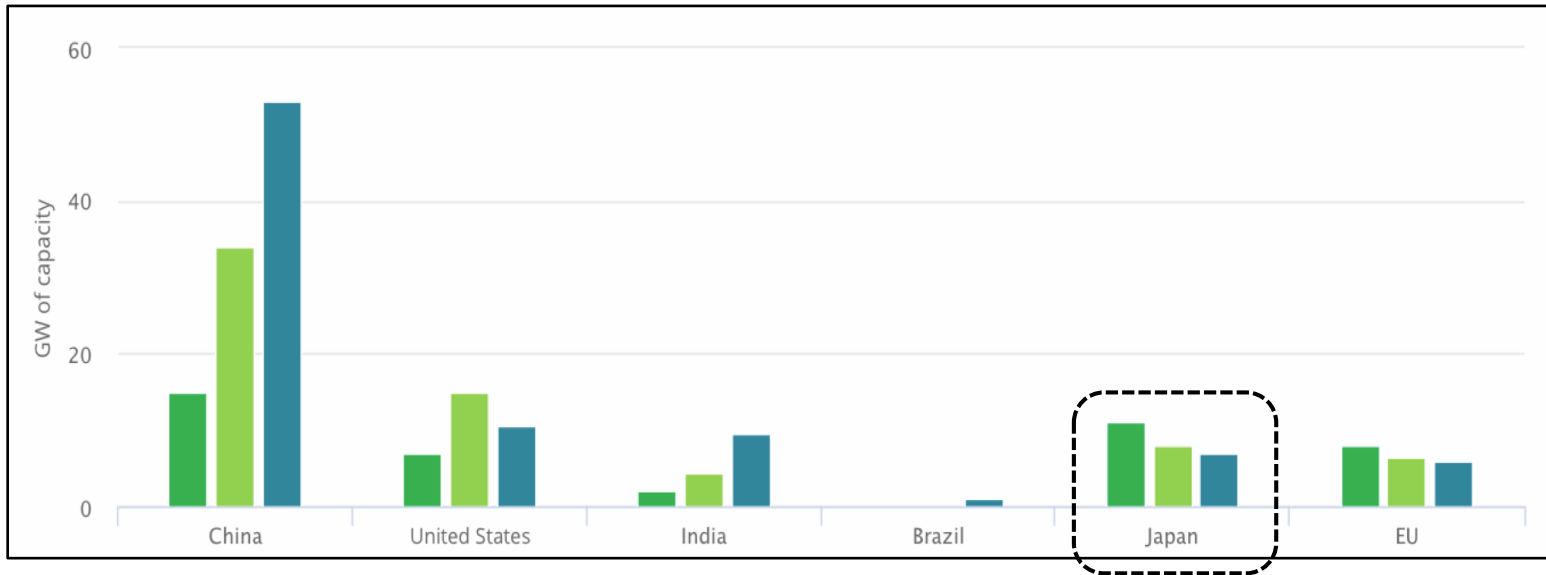
- A chi si può applicare (vincolo di prossimità):
  - Vicini – quartieri
  - Condomini
  - Distretti industriali

- Chi ne può trarre benefici:
  - Produttori (utenti con generazione)
  - Consumatori (utenti passivi)
  - Sistema elettrico (hosting capacity)



# Incrementare la produzione fotovoltaica

È possibile?



Stessa scala geografica di rappresentazione

- Un caso studio di riferimento – **Giappone**
  - 120% della superficie italiana
  - 200% della popolazione italiana
  - Disponibilità solare media simile a Nord Italia
  - Non ha grandi interconnessioni elettriche con altri stati
  - 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 negli ultimi 5 anni (più del doppio del fotovoltaico complessivo italiano)**

# Sintetizziamo...

- **La strada è segnata...**
  - ... ma serve avere il coraggio di percorrerla senza mandare avanti altri
- **Il 2030 non è domani, è questa sera, sperando che non sia già ieri**
  - Tempi di analisi (es. indagine anemometrica), progettazione, autorizzazione e costruzione centrali rinnovabili di grande taglia
  - Destinazione di risorse di terreno per impianti rinnovabili (che hanno bassa potenza specifica)
  - **Not In My Back Yard** syndrome (è davvero mio il cortile?)
  - Cambio di passo di amministrazioni ed enti
    - Da «*Perché non si può fare*» a «*Dove si può fare*», sapendo che un target minimo deve essere raggiunto → Riduzione del tasso di mortalità degli investimenti
  - Nuova mentalità verso tecnologie diverse (es. autonomia dell'auto elettrica è un finto problema per la maggior parte degli utenti, tolti gli aspetti emozionali)
- **Pianeta è una pianta che sta soffrendo il caldo**
  - Tirarsi su le maniche per innaffiarla oppure lasciarla andare, e noi con lei
- **Last call per non alterare eccessivamente il pianeta** (per contenere i danni, non per evitarli!)

Uso l'auto soprattutto in città. L'auto elettrica è fantastica

Uau! E cosa hai comprato?

Un SUV turbodiesel



# Grazie per l'attenzione!

**Fabio Bignucolo**

*Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale*

*Centro Studi di Economia e Tecnica dell'Energia Giorgio Levi Cases*

[fabio.bignucolo@unipd.it](mailto:fabio.bignucolo@unipd.it)

1222·2022  
800  
A N N I



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA INDUSTRIALE



*Convegno Ordine e Collegio Ingegneri Venezia sul Position Paper sul Climate Change  
Venezia, Scuola Grande di San Rocco, 23 luglio 2020*