

Uso rinnovabili e accumuli energetici

Ing. Massimo Rivarolo, PhD

massimo.rivarolo@unige.it

Sommario

- Le fonti primarie di energia
- Il mix produttivo di energia in Italia
- Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia
- Strategia Energetica Nazionale per il 2030
- Il ruolo degli accumuli energetici

Sommario

- Le fonti primarie di energia
- Il mix produttivo di energia in Italia
- Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia
- Strategia Energetica Nazionale per il 2030
- Il ruolo degli accumuli energetici

Fonti primarie di energia

Le fonti primarie di energia sono quelle fonti effettivamente utilizzabili presenti in natura prima di aver subito una qualunque trasformazione.

Si distinguono in fonti non rinnovabili, fonti rinnovabili e fonti quasi inesauribili.

Fonti rinnovabili

- idraulica
- eolica
- radiazione solare
- biomasse
- maree e moto ondoso

Fonti non rinnovabili

- Carbone
- Petrolio
- Gas naturale
- Uranio e combustibili nucleari

Fonti quasi inesauribili

- Calore endogeno (geotermia)

Fonti rinnovabili: cosa sono?

Si tratta di sorgenti virtualmente inesauribili in grado di produrre energia.
Tra queste le principali sono:

- le biomasse (di origine vegetale/animale)
- la geotermia
- il vento
- l'acqua
- il sole
- l'energia ricavabile dalle maree e dalle onde
- i rifiuti solidi urbani



Fonti rinnovabili: vantaggi

AMBIENTALI

- **Minore inquinamento**: l'energia elettrica prodotta dalle energie rinnovabili non produce inquinamento da CO₂ (gas serra) o polveri sottili.
- **Riduzione dell'utilizzo dei combustibili fossili**: indirettamente si riducono i rischi ed il numero dei grandi disastri ecologici (esempio: incendi a oleodotti, gasdotti, petroliere).

ENERGETICI

- **Minore dipendenza energetica**: l'Italia copre la maggior parte del proprio fabbisogno energetico con importazioni di fonti fossili dall'estero, uno sviluppo delle fonti rinnovabili consente di aumentare l'autosufficienza energetica.

SOCIALI

- **OCCUPAZIONE NEL SETTORE DELLE RINNOVABILI**: crescita dell'occupazione nel settore delle energie rinnovabili distribuita sul territorio nazionale (tanti piccoli impianti di generazione distribuita).

Fonti rinnovabili: svantaggi

- **Programmabilità:** alcune fonti (solare, eolica) sono non programmabili, altre fonti (idraulica) sono programmabili solo a livello stagionale. Questo comporta alcune criticità a livello di gestione.
- **Ore di disponibilità:** gli impianti alimentati da fonti rinnovabili sopra riportate, mediamente, hanno una possibilità di utilizzo minore rispetto agli impianti convenzionali, essendo la fonte non sempre disponibile.
- **Costi di investimento:** essi sono variabili in relazione alla tipologia di impianto. Per le tecnologie di più recente sviluppo (turbine eoliche, impianti solari fotovoltaici), i costi per kW installato sono piuttosto elevati, se paragonati alle tradizionali centrali termoelettriche. Per contro, va detto che i costi variabili di tali tipologie di impianto sono pressoché trascurabili.

Energia elettrica

E' una energia secondaria nobile.

Vantaggi

- ✓ facilmente trasportabile per lunghe distanze (fino a 1.500 – 2.000 km);
- ✓ facilmente distribuibile con una rete capillare;
- ✓ sicura;
- ✓ nel luogo di utilizzo non determina inquinamento.

Svantaggi

- ❖ non si può accumulare, se non in piccole quantità (occorre produrla quando serve);
- ❖ se prodotta per via termica, comporta un rendimento di produzione del 40 – 55%;
- ❖ se prodotta da combustibili fossili, comporta un impatto ambientale nel luogo in cui avviene la combustione.

Sommario

- Le fonti primarie di energia
- **Il mix produttivo di energia in Italia**
- Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia
- Strategia Energetica Nazionale per il 2030
- Il ruolo degli accumuli energetici

Potenza efficiente lorda installata in Italia dal 1931 a oggi

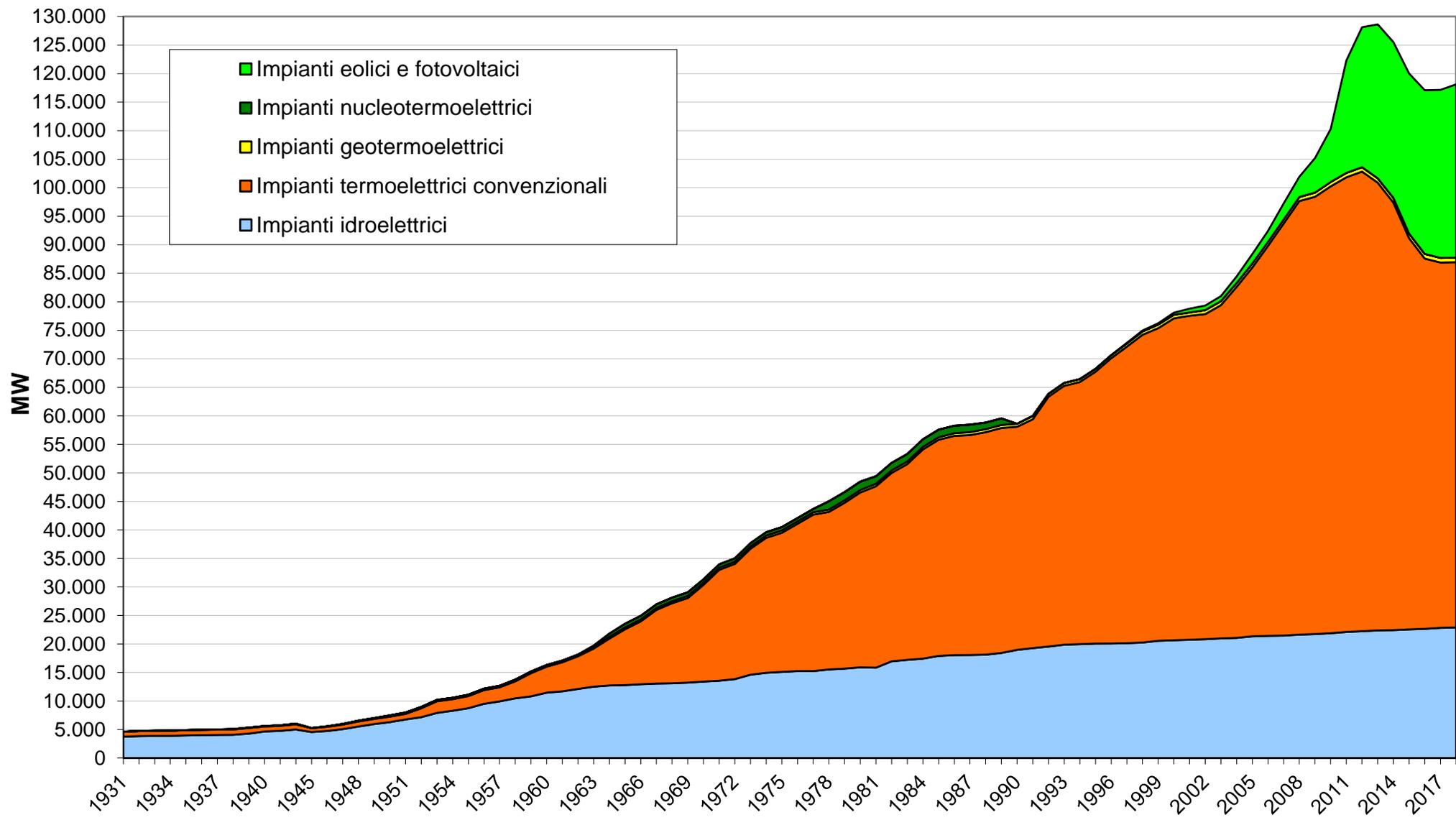


Grafico elaborato a partire da dati Terna

Corso di Energetica applicata

Potenza efficiente lorda in Italia

Potenza efficiente lorda installata in Italia nel 2018 (totale: 118,2 GW)

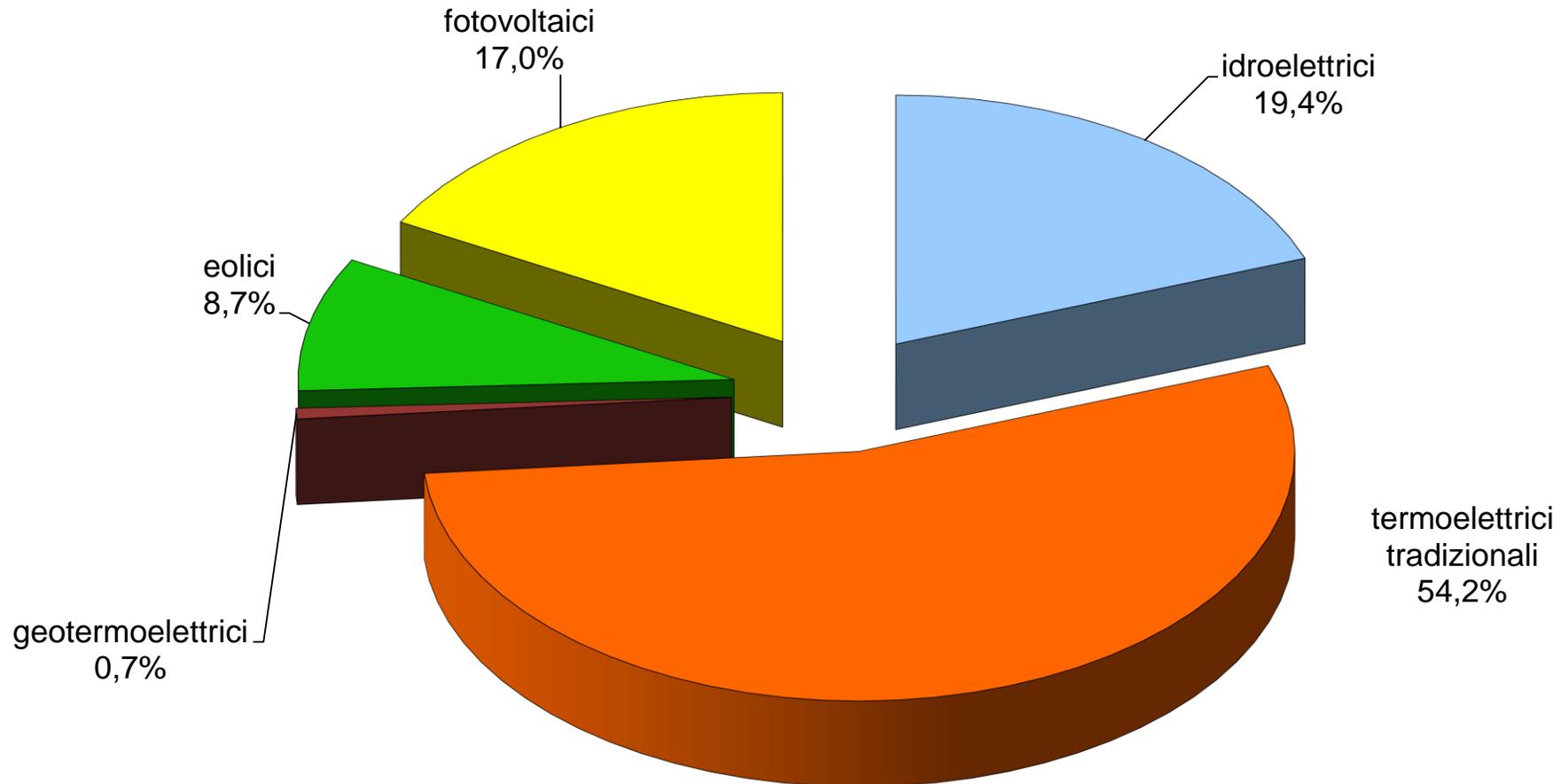


Grafico elaborato a partire da dati Terna

Corso di Energetica applicata

Evoluzione mix produttivo di energia elettrica (Italia)

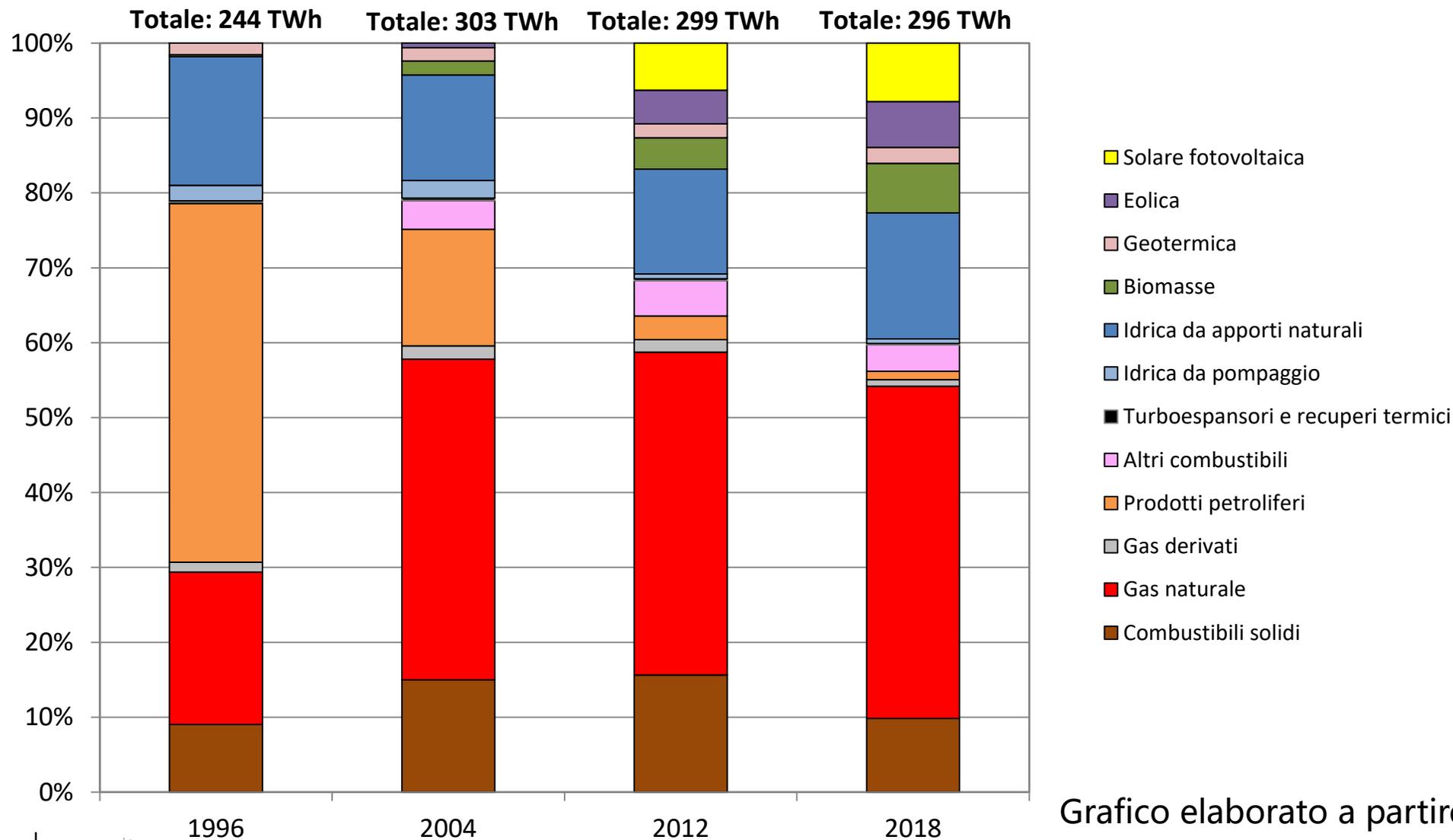


Grafico elaborato a partire da dati Terna

Confronto tra mix produttivo elettrico di alcuni Stati

Mix di produzione dell'energia elettrica in alcuni Paesi nel 2016

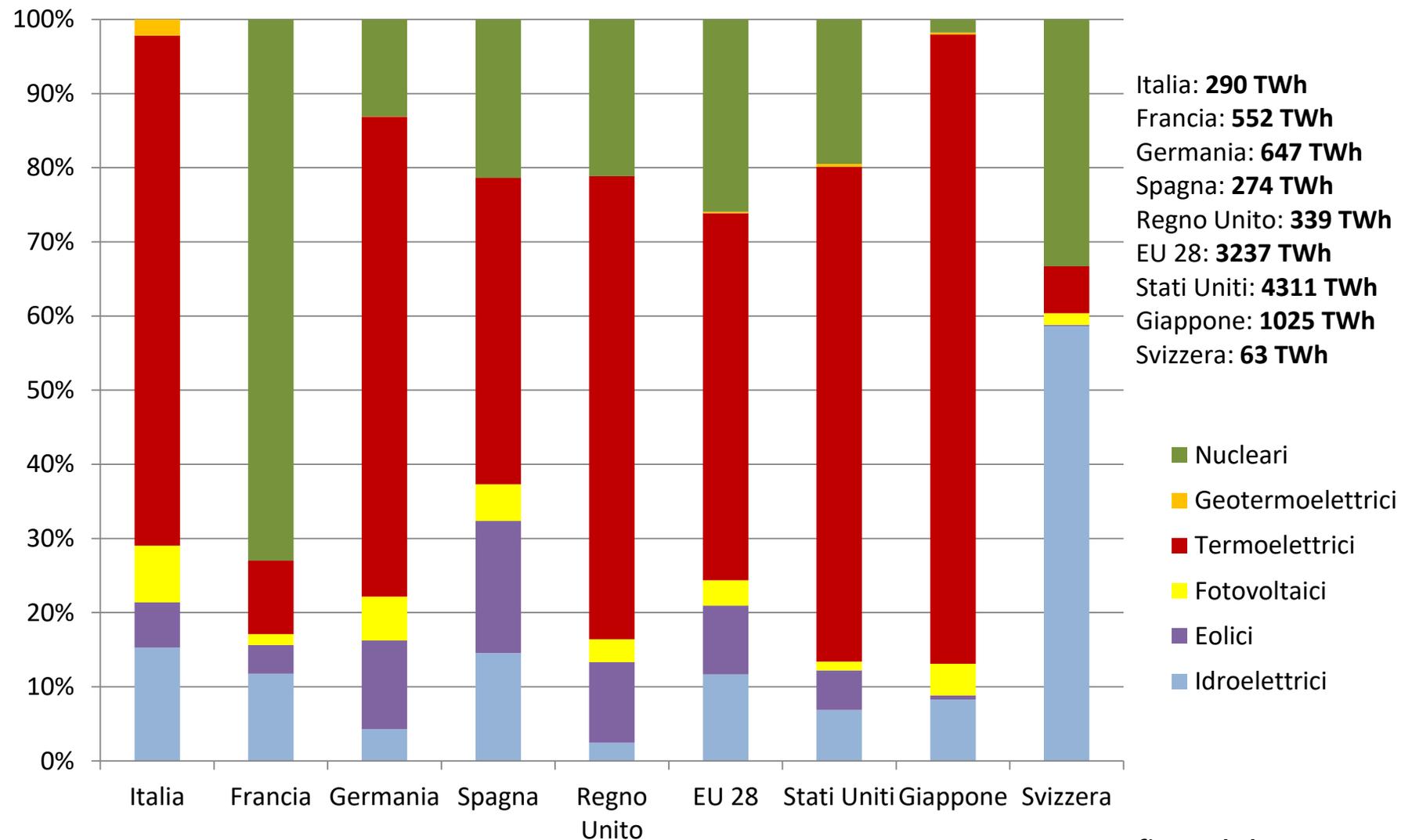


Grafico elaborato a partire da dati Terna

Evoluzione mix produttivo in Italia: elementi riassuntivi

- Un primo cambiamento nel mix produttivo è stato il passaggio dai prodotti petroliferi (impianti a vapore, rendimento medio 40%) al gas naturale (cicli combinati, rendimento medio 55%): si trattava comunque di pochi impianti di grande taglia (> 100MW).
- Un secondo cambiamento è stato dovuto alla diffusione delle fonti rinnovabili, soprattutto eolico, fotovoltaico e bioenergie. Questo cambiamento comporta l'installazione di tanti impianti distribuiti di piccola taglia (spesso <1 MW).
- Negli ultimi anni, si sta assistendo allo smantellamento di impianti fossili di grande taglia, con una conseguente lieve riduzione della potenza complessiva installata.
- Per quanto riguarda la produzione, si è lievemente ridotta a seguito della crisi economica (2008).

Ma quali sono le conseguenze della variazione del mix produttivo sul sistema elettrico nazionale?

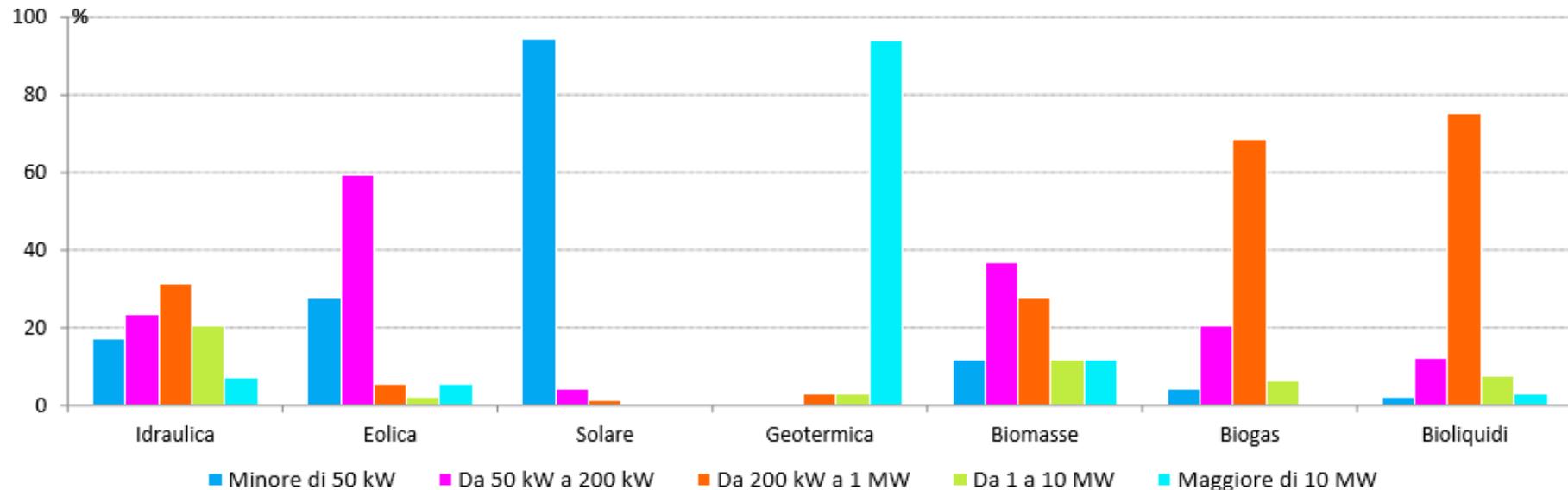
Sommario

- Le fonti primarie di energia
- Il mix produttivo di energia in Italia
- **Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia**
- Strategia Energetica Nazionale per il 2030
- Il ruolo degli accumuli energetici

Impianti rinnovabili installati

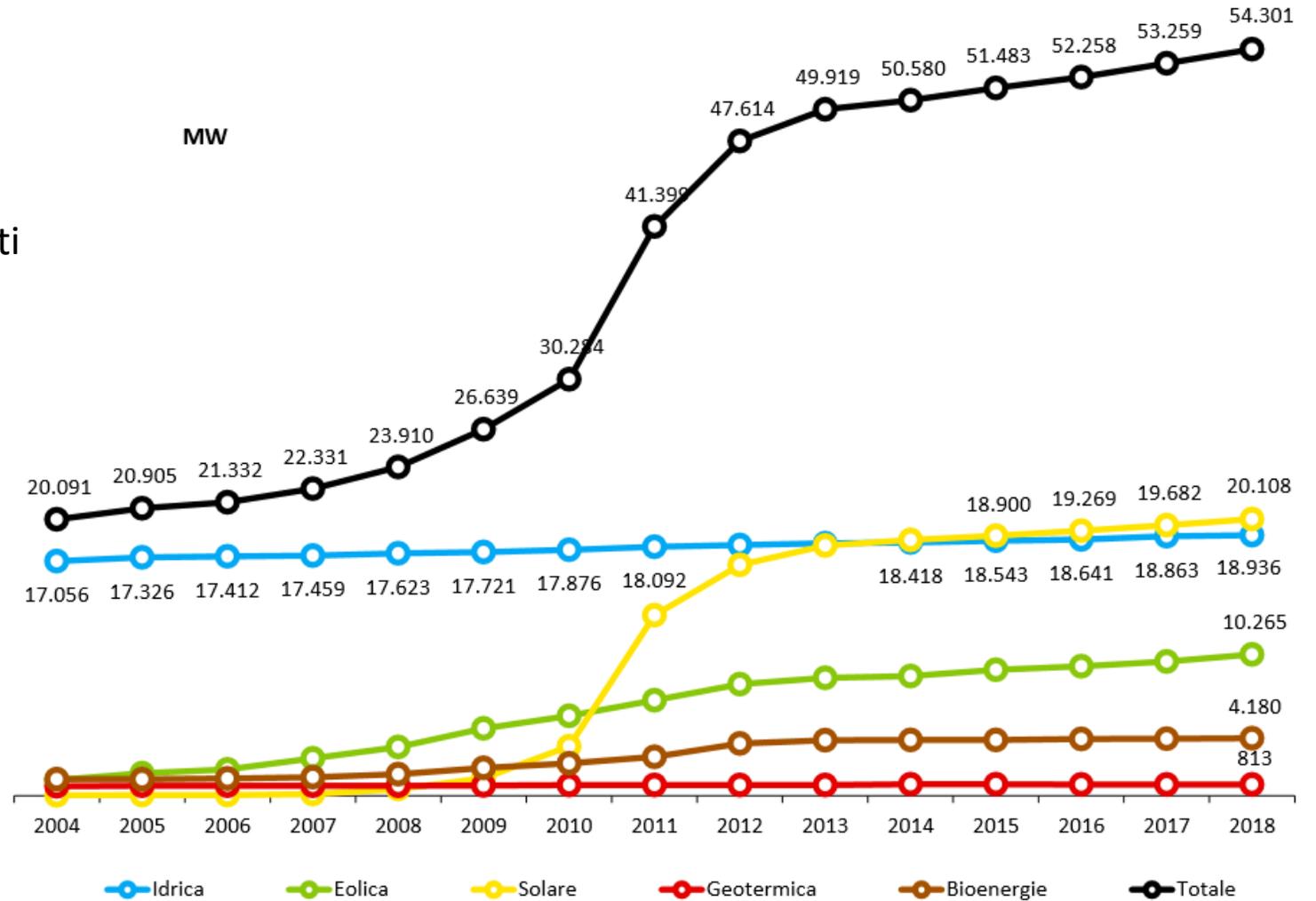
- In tutto in Italia sono installati circa 835.000 impianti: di questi, circa 822.000 sono solari fotovoltaici.
- Impianti solari: quasi tutti di taglia piccola (< 50 kW).
- Impianti geotermici: sono quasi tutti di grande taglia (> 10 MW)
- Impianti a biogas/bioliquidi: molti impianti di taglia < 1 MW
- Da un lato le taglie sono dettate da ragioni tecnologiche, dall'altra entrano in gioco ragioni economiche (ad esempio i meccanismi incentivanti)

Distribuzione % del numero degli impianti per fonte rinnovabile, secondo classe di potenza



Rinnovabili in Italia: Potenza installata

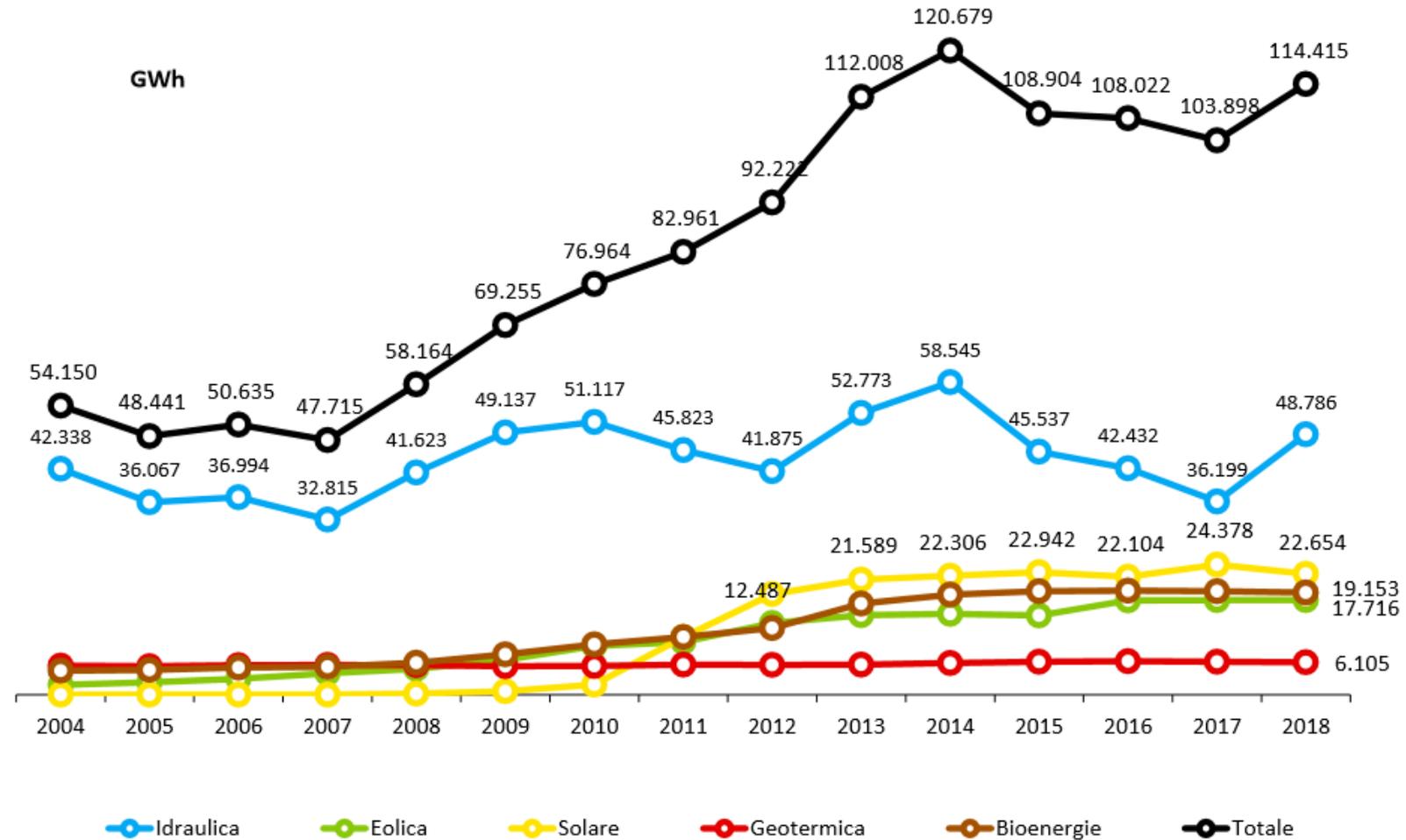
- Forte aumento della potenza installata
- Idro quasi costante
- Forti aumenti di solare (in soli 4 anni installati quasi 18 GW!) ed eolico (circa 10 GW, ma in modo più regolare)
- È interessante anche capire quali siano le taglie dei singoli impianti



Fonte: elaborazioni GSE su dati Terna e GSE

Rinnovabili in Italia: Produzione lorda di energia elettrica

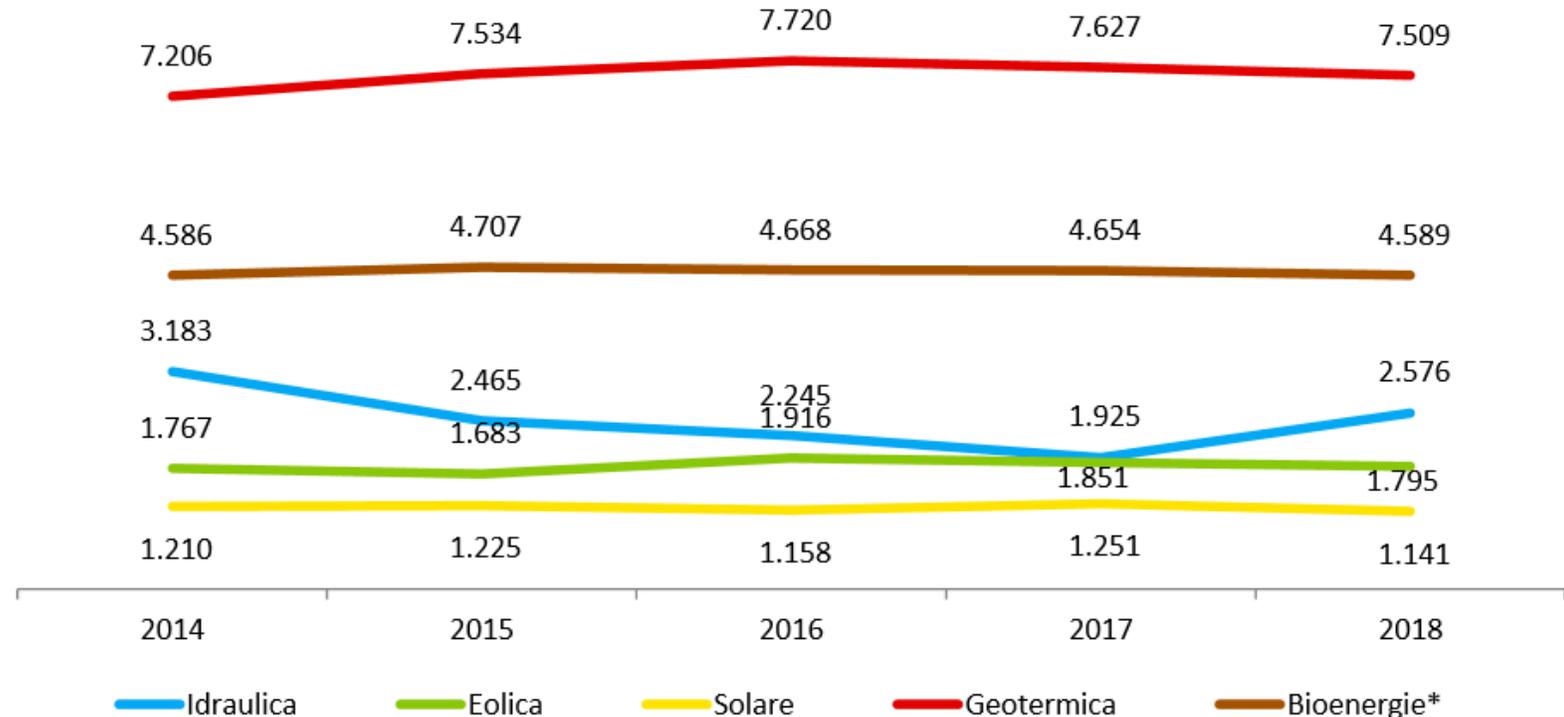
- Notevole incremento negli ultimi 15 anni
- La fonte idrica rimane la più importante, con variazioni stagionali non trascurabili.
- Il solare e l'eolico giocano ora un ruolo significativo.
- Il geotermico è costante ed ha raggiunto praticamente il suo massimo utilizzo.



Ore equivalenti

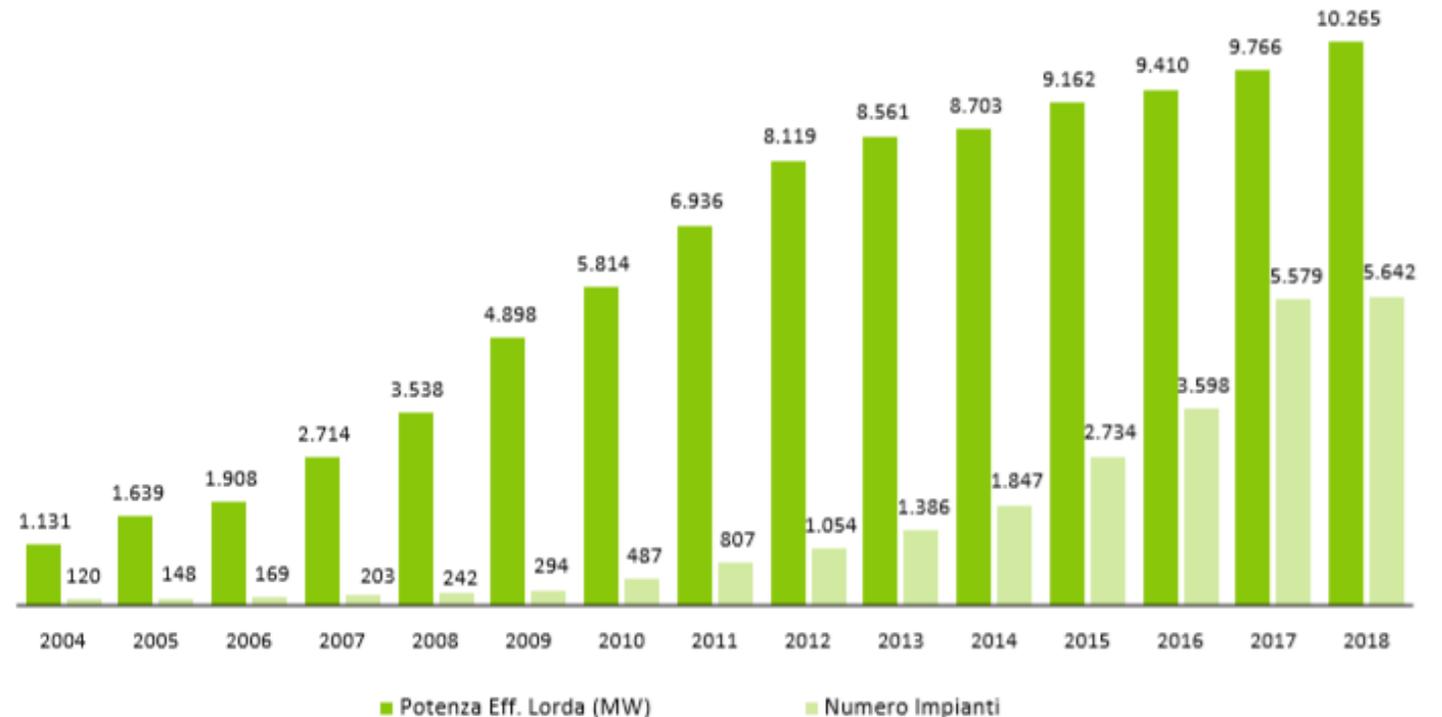
- Rappresenta un parametro fondamentale, in quanto misura le ore di produzione a parità di potenza installata
- Si notano grandi differenze tra diverse tipologie di impianto.
- La fonte idrica è quella che più risente della stagionalità.

$$\text{Ore equiv.} = \frac{\text{En. prodotta in un anno}}{\text{Potenza installata}}$$



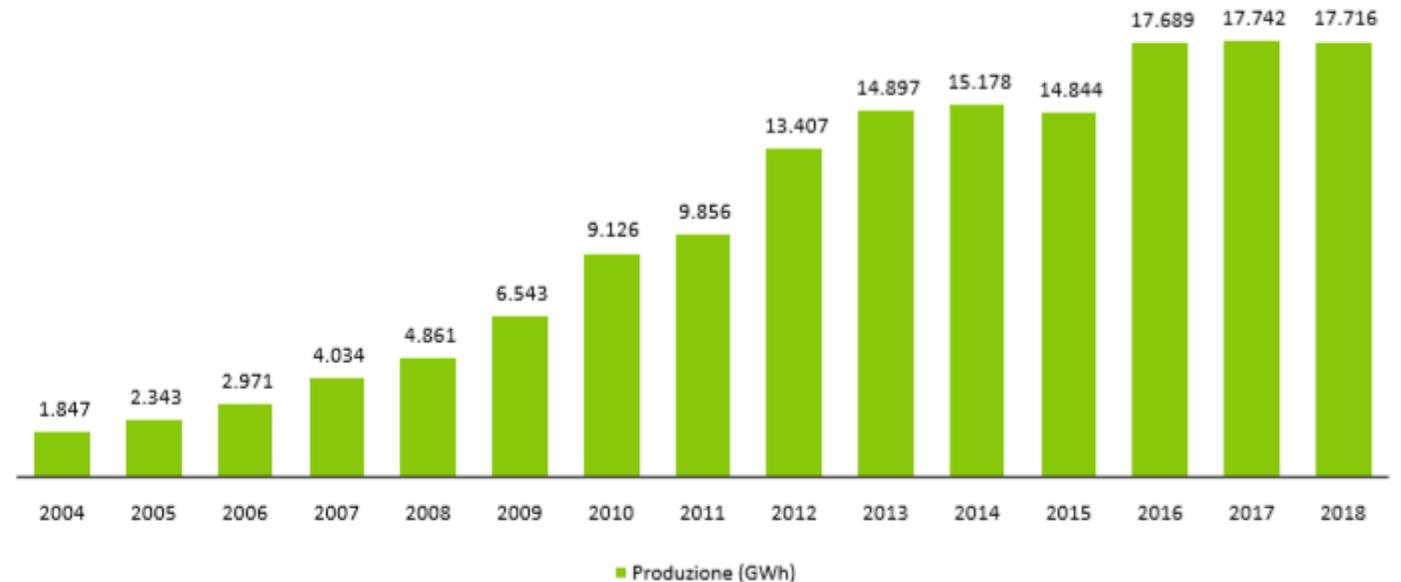
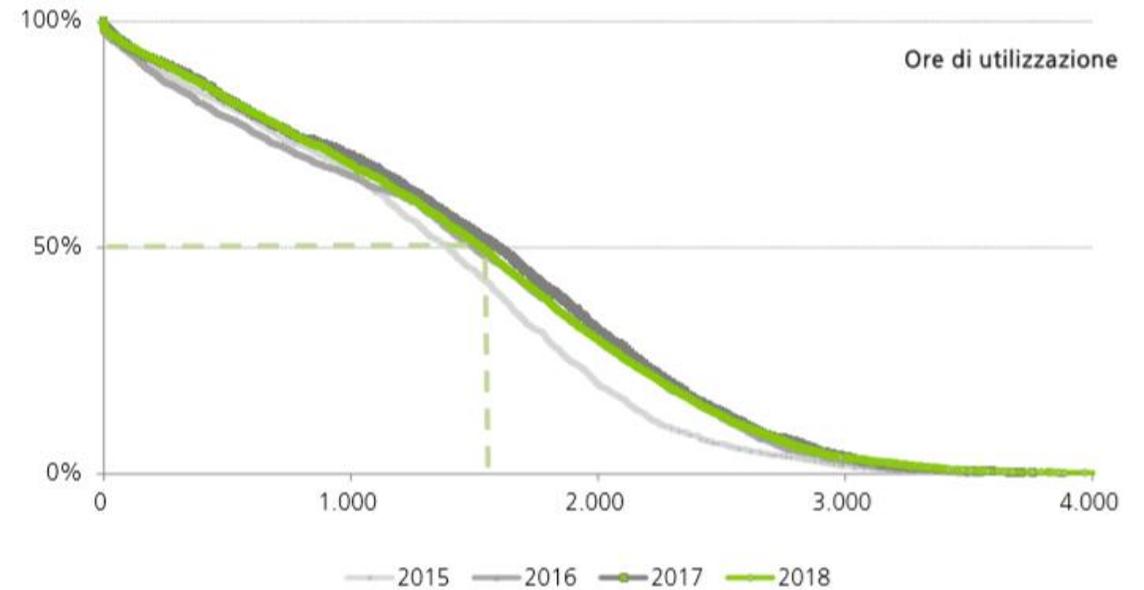
Evoluzione eolico (1)

- Aumento costante negli ultimi 15 anni.
- Ad oggi circa 5.600 impianti per un totale di 10 GW installati.
- Aumento degli impianti di piccola taglia dal 2015.
- Taglia media: **1,8 MW**.



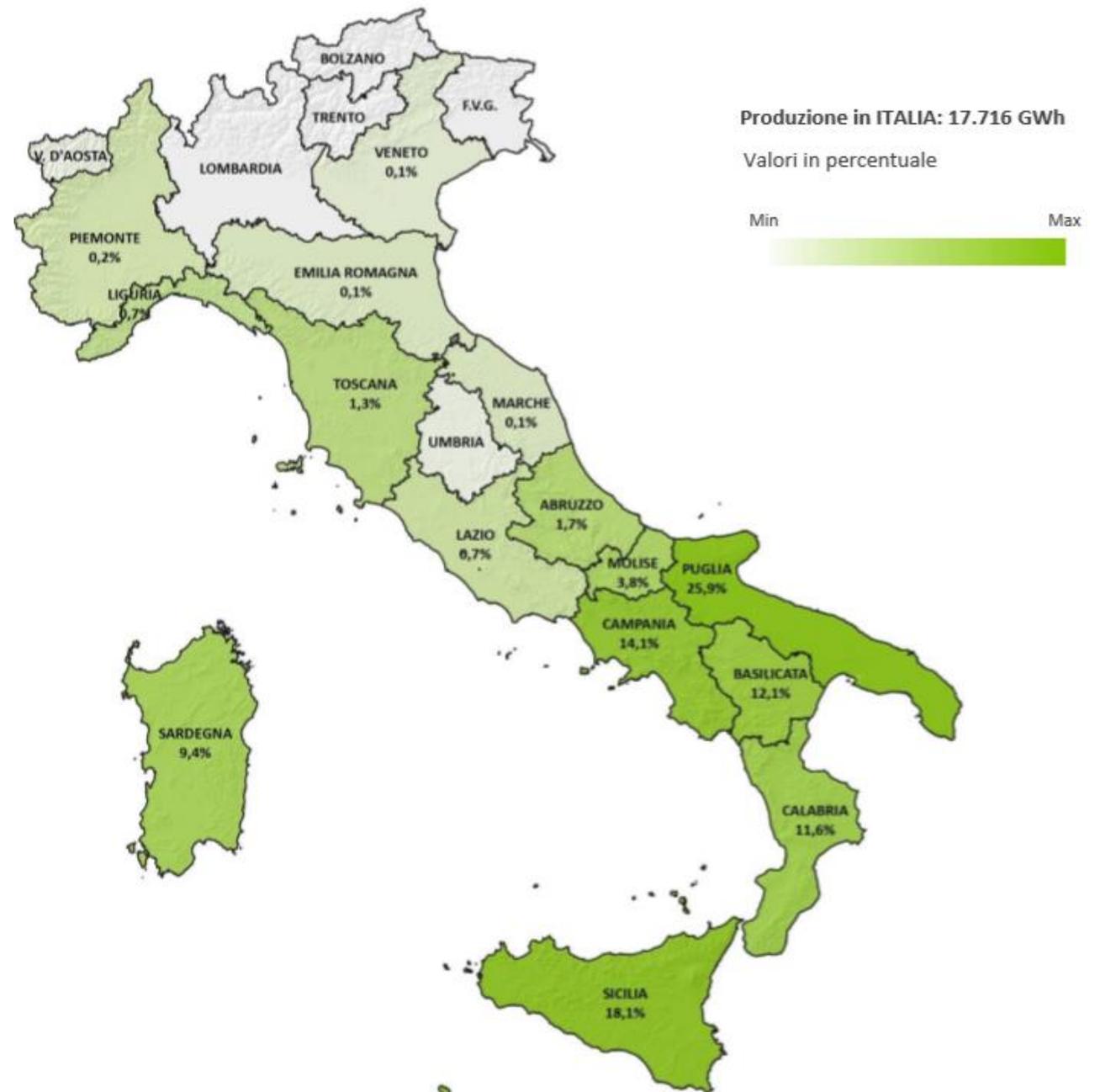
Evoluzione eolico (2)

- La produzione è aumentata progressivamente, sino ai valori attuali di circa 18 TWh.
- Il 50% degli impianti ha superato le 1500 ore equivalenti di produzione. Questo dato è circa costante negli ultimi anni.
- Ore equivalenti di utilizzo medie: **1750 ore**.



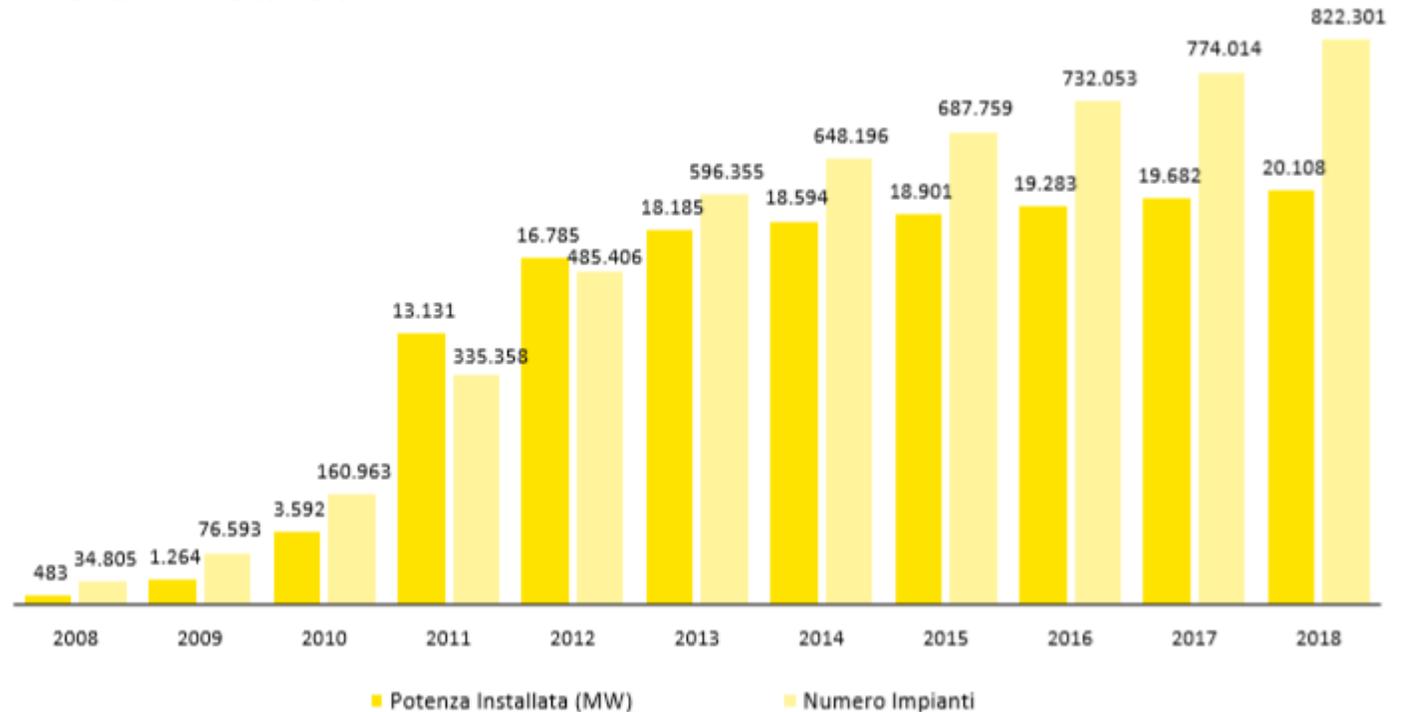
Distribuzione eolico

- Contributo più elevato in Puglia
- La produzione è concentrata al Sud e nelle isole, dove la risorsa è maggiormente disponibile.
- Nel Nord e nel Centro, produzione poco significativa.



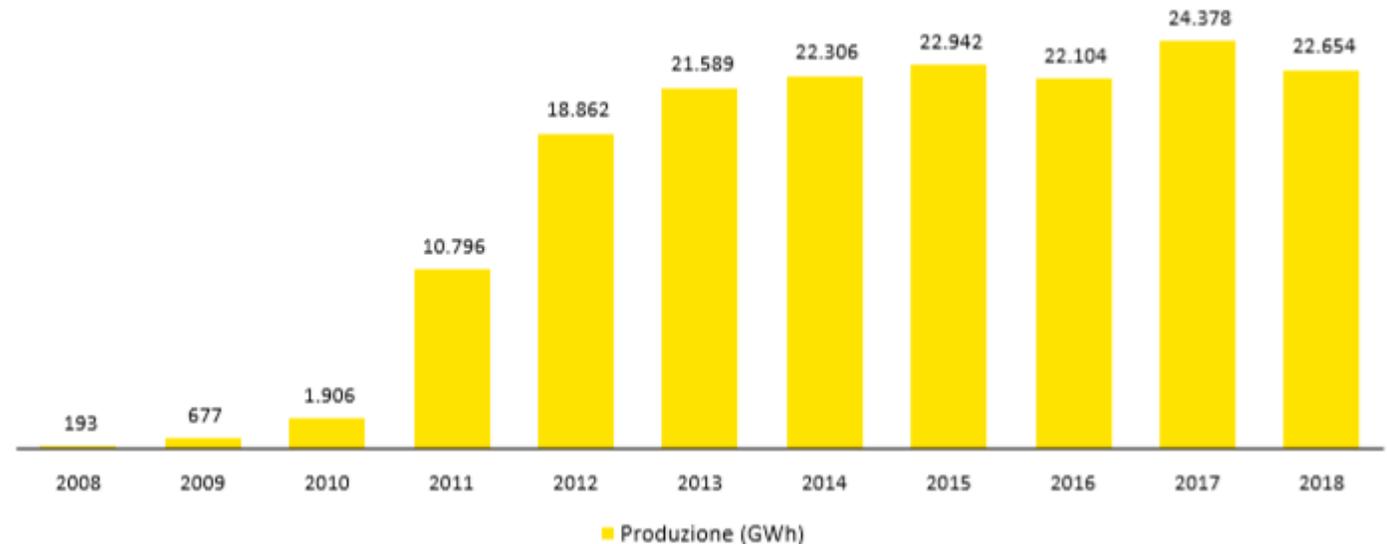
Evoluzione solare (1)

- Aumento vertiginoso delle installazioni dal 2009 al 2013.
- Ad oggi circa 822.000 impianti per un totale di 20 GW installati.
- Taglia media: **circa 40 kW**.



Evoluzione solare (2)

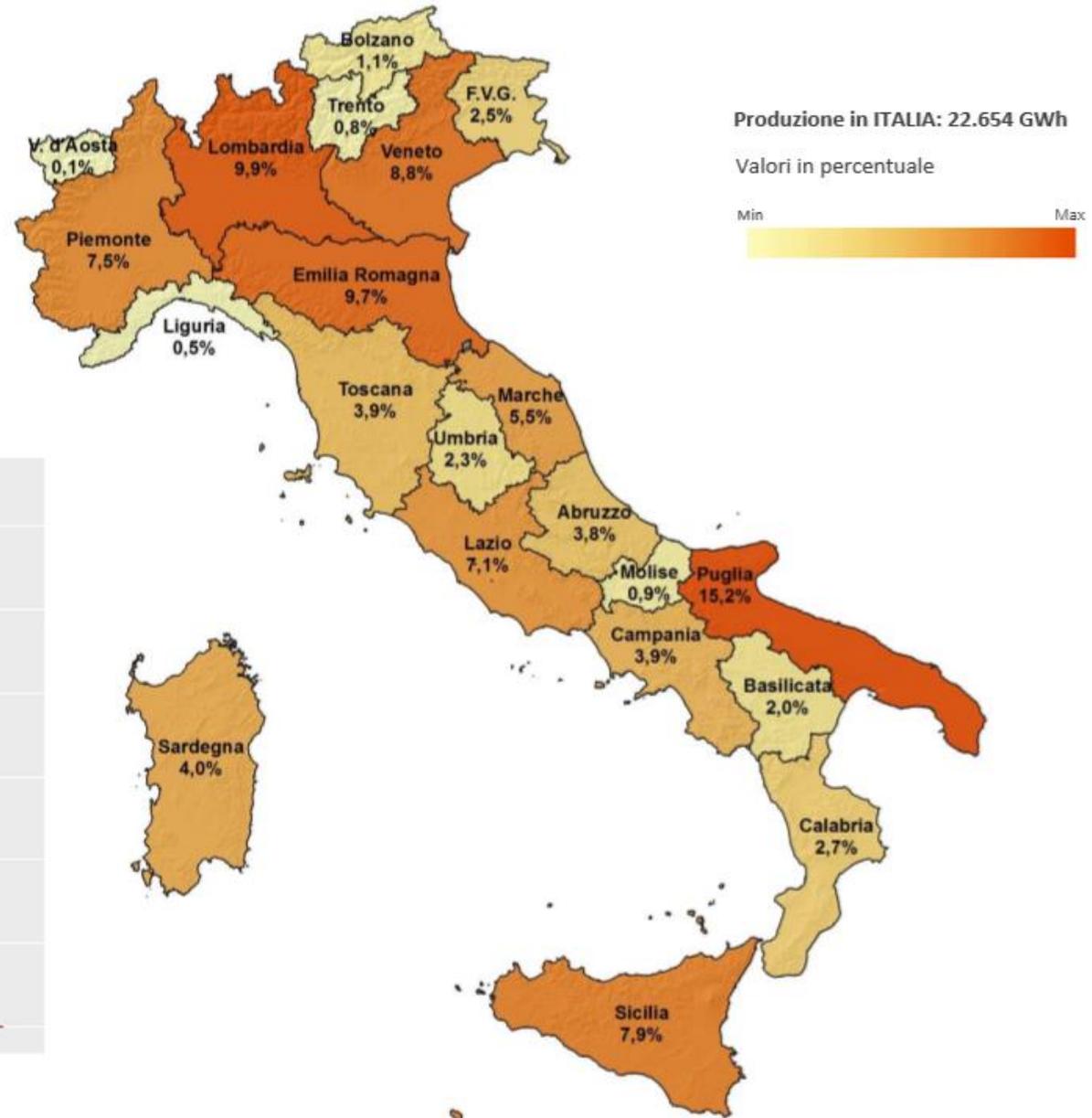
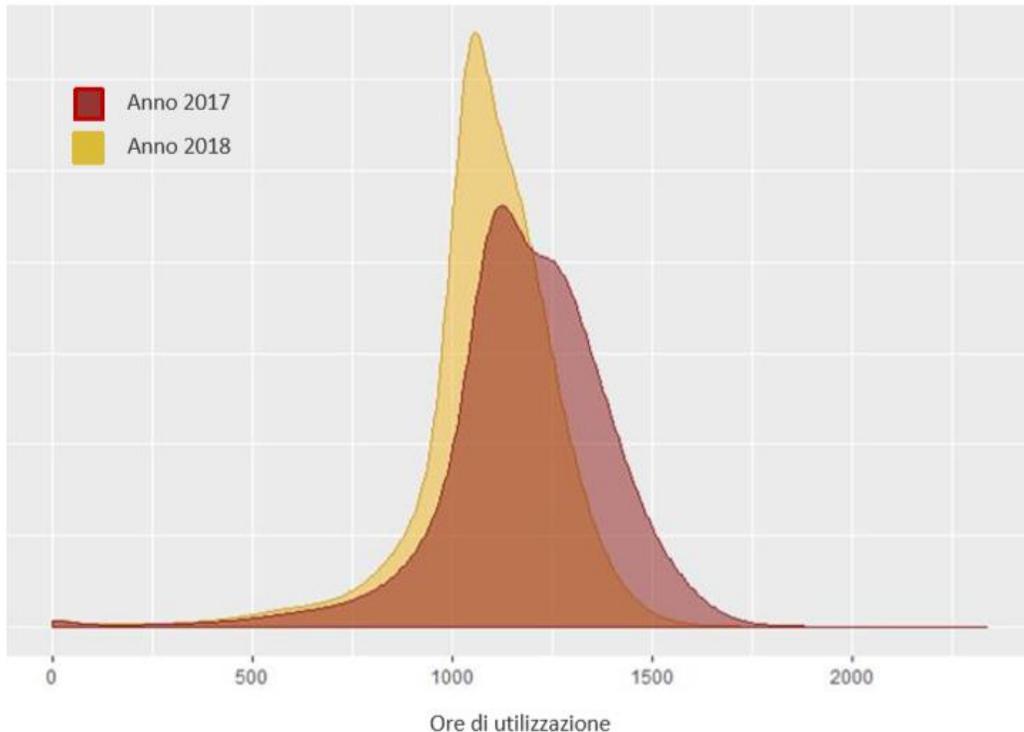
- La produzione era in pratica trascurabile sino al 2009.
- Dall'anno 2013 (anno in cui sono stati eliminati gli incentivi per impianti di nuova costruzione), la produzione si è circa stabilizzata.
- Il 2018 è stato un anno con minore irraggiamento, pertanto si è ridotta leggermente la produzione.
- Ore equivalenti di utilizzo medie: **1100 ore.**



Distribuzione solare

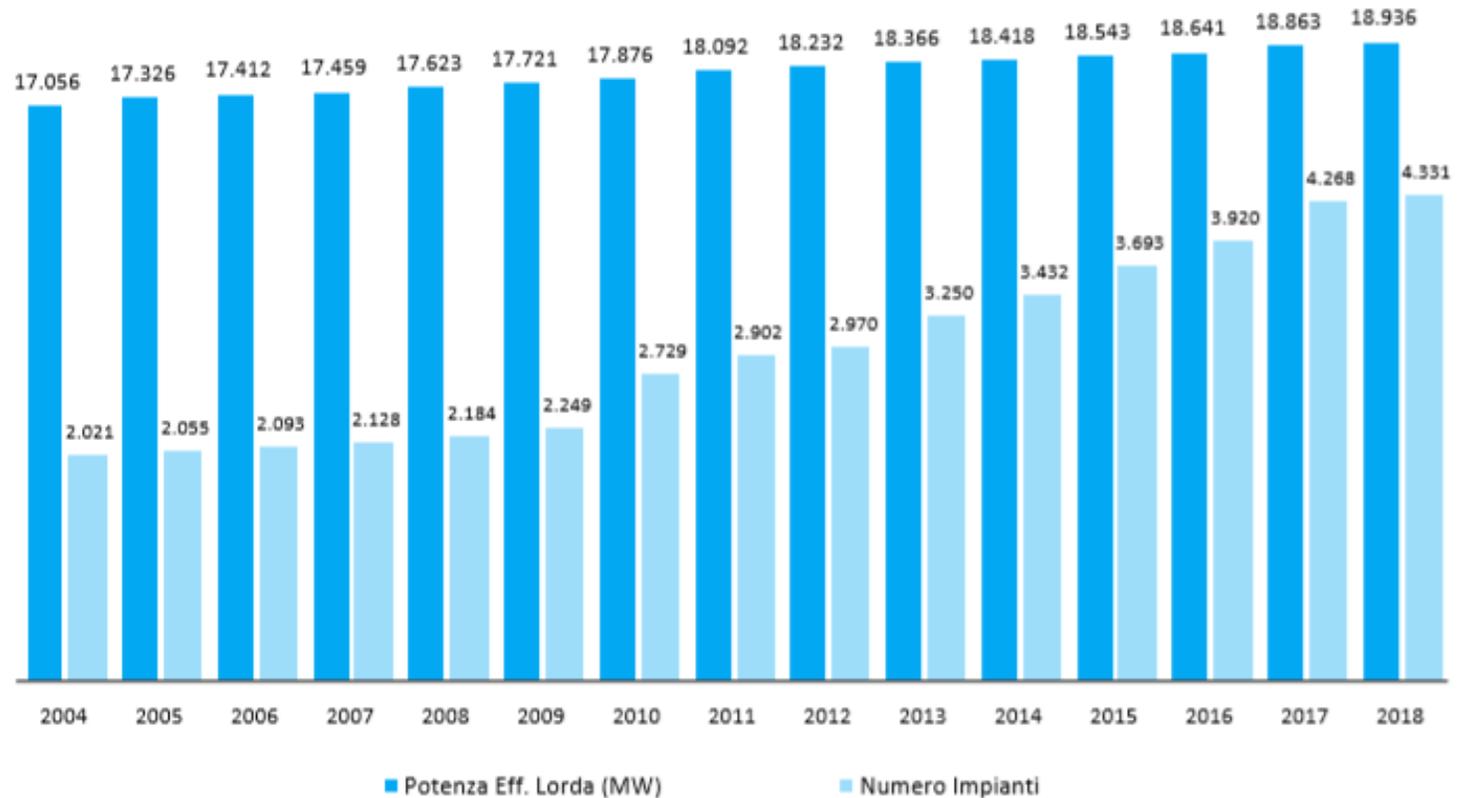
- Contributo più elevato in Puglia
- Produzione non trascurabile al Nord Italia, dove tuttavia le ore di produzione equivalenti sono minori.

Distribuzione delle ore di produzione degli impianti fotovoltaici nel 2017 e nel 2018



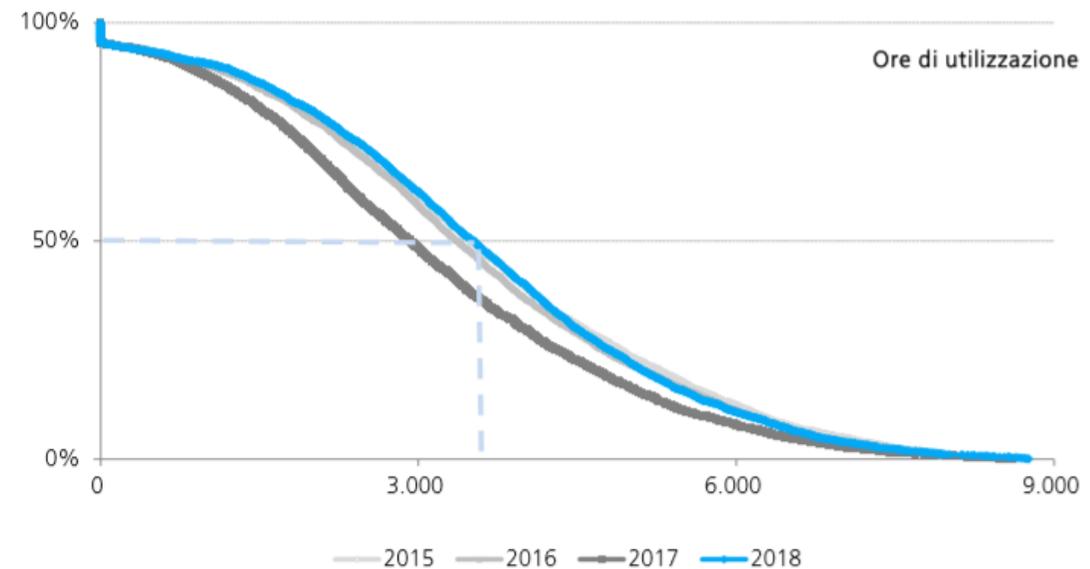
Evoluzione idroelettrico (1)

- Potenza installata in lieve crescita, gli impianti sono per la maggior parte installati da diversi decenni.
- Installazione di alcuni impianti di piccola taglia, incentivati.
- Taglia media: **circa 4,4 MW.**

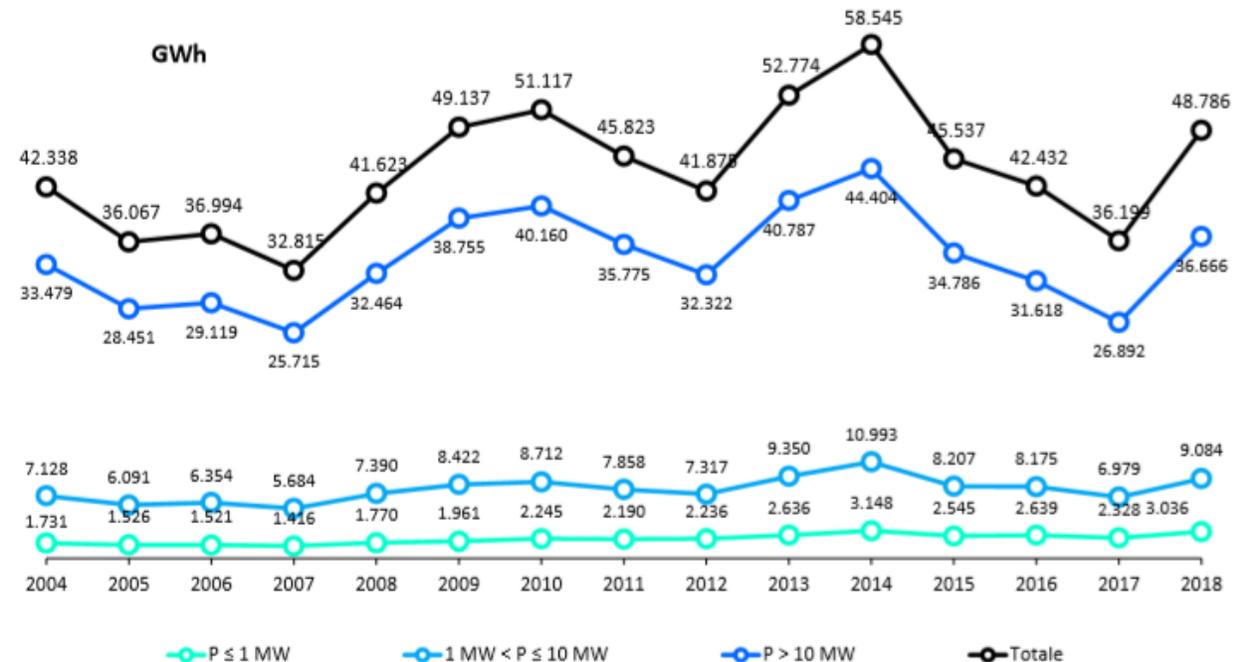


Evoluzione idroelettrico (2)

- La produzione risente molto della stagionalità e della disponibilità di acqua.
- Il record è stato raggiunto nel 2014, i valori minimi nel 2007 e nel 2017.
- Si nota come il contributo dei mini-idro (<1 MW) non sia così significativo.
- Il 50% degli impianti ha superato le 3500 ore di utilizzo nel 2018.
- Ore equivalenti di utilizzo medie: **2600 ore**.



Secondo classe di potenza



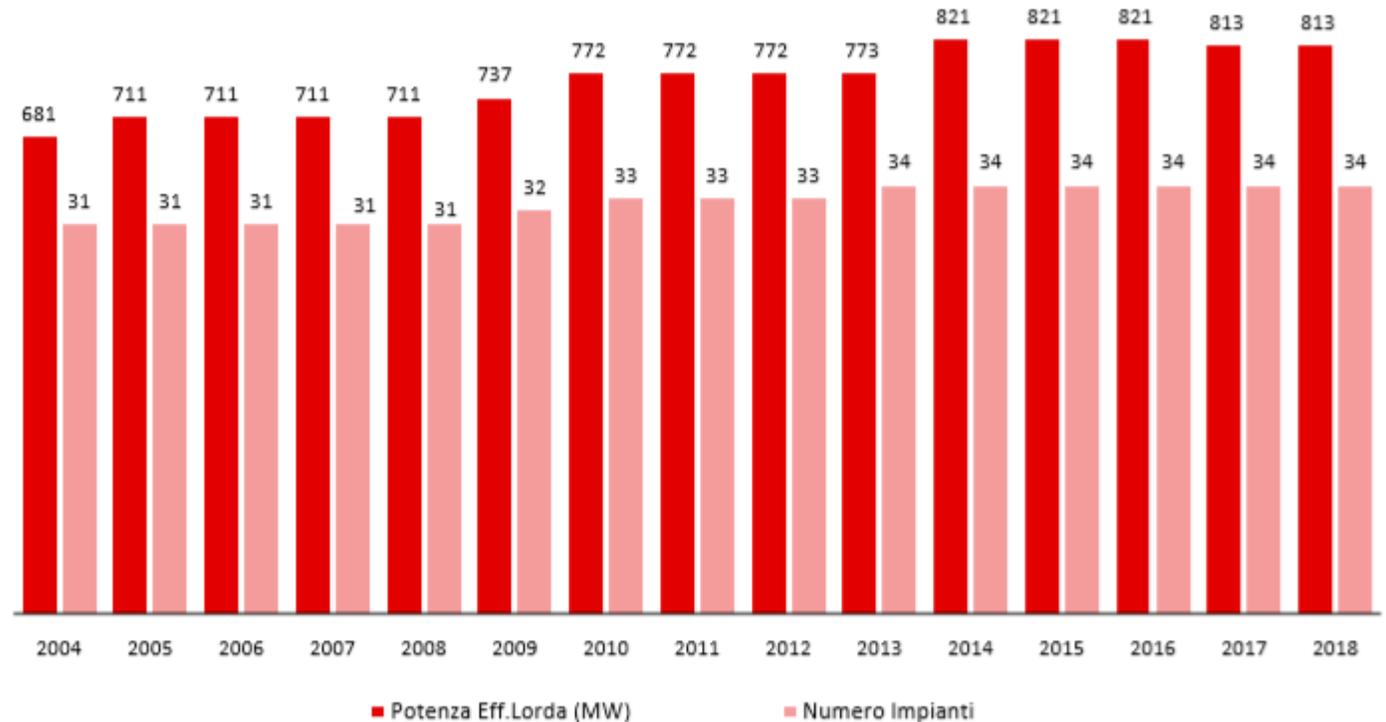
Distribuzione idroelettrica

- Contributo più elevato in Lombardia
- Produzione molto elevata al Nord Italia, lungo l'arco alpino.
- Si tratta soprattutto di impianti storici e di grande potenza, installati già da diversi decenni.



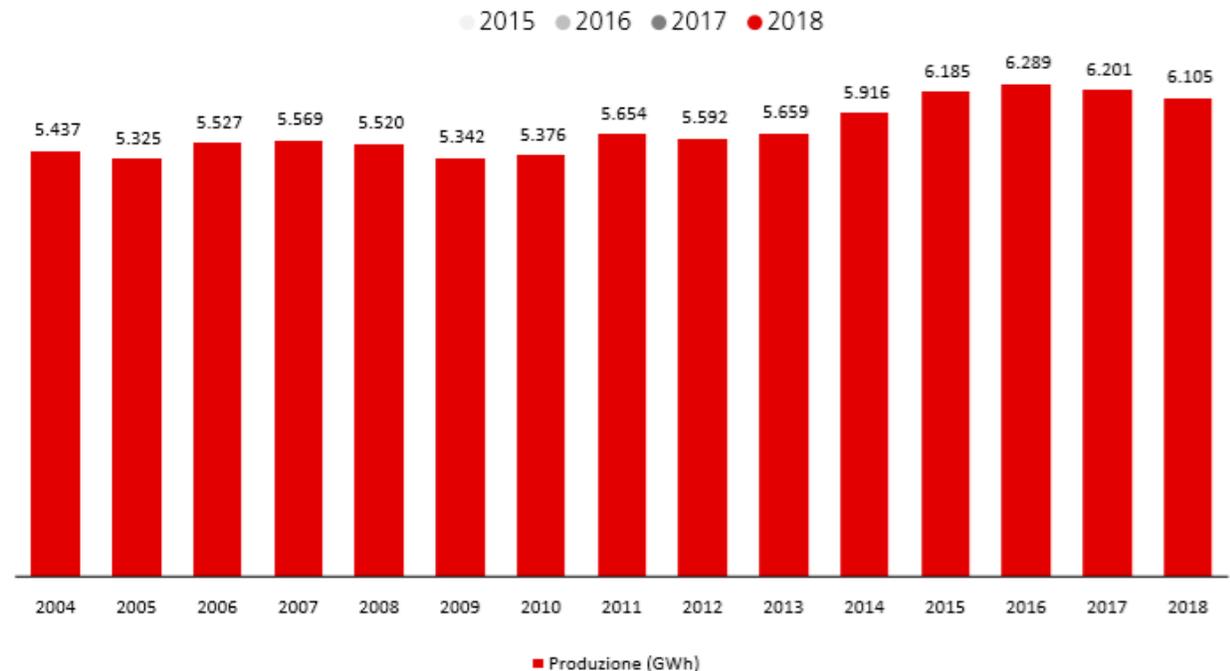
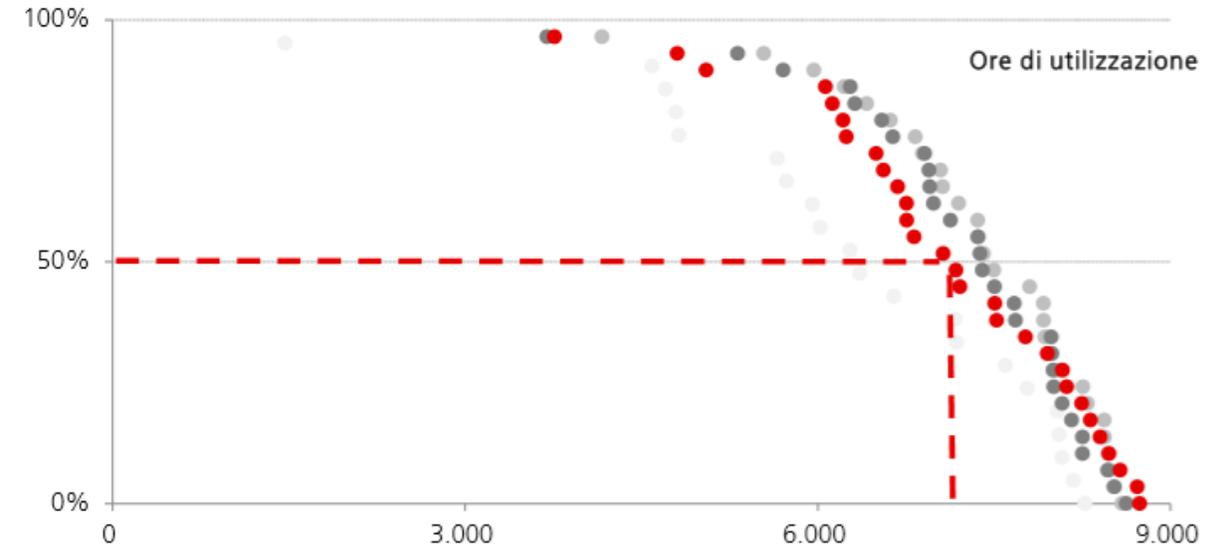
Evoluzione geotermico (1)

- Potenza installata in lieve crescita, gli impianti sono per la maggior parte installati da diversi decenni.
- Taglia media: **circa 24 MW.**



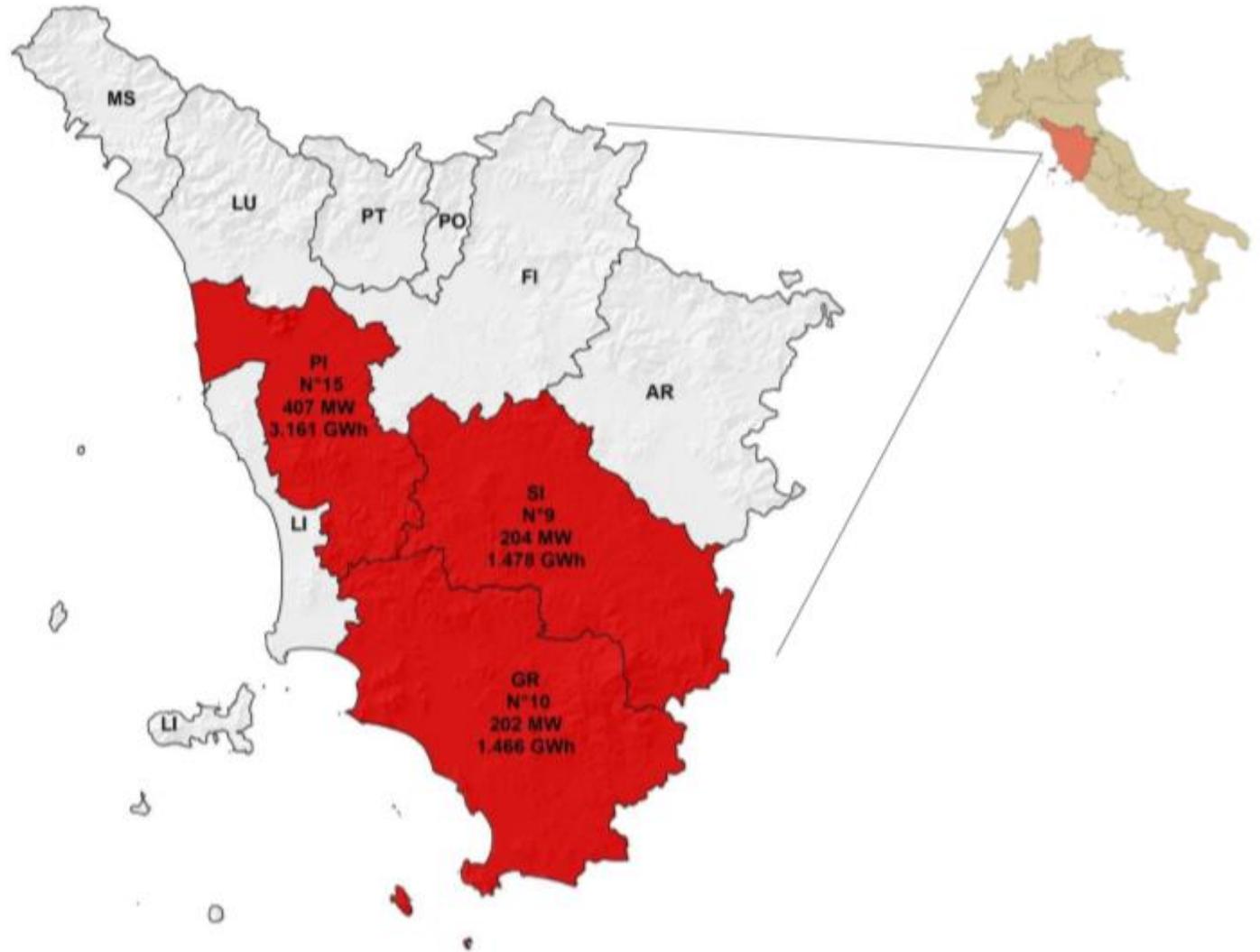
Evoluzione geotermico (2)

- La produzione è praticamente costante e si attesta su valori molto elevati di sfruttamento.
- Il 50% degli impianti ha superato le 7200 ore di utilizzo nel 2018.
- Ore equivalenti di utilizzo medie: **7500 ore**.



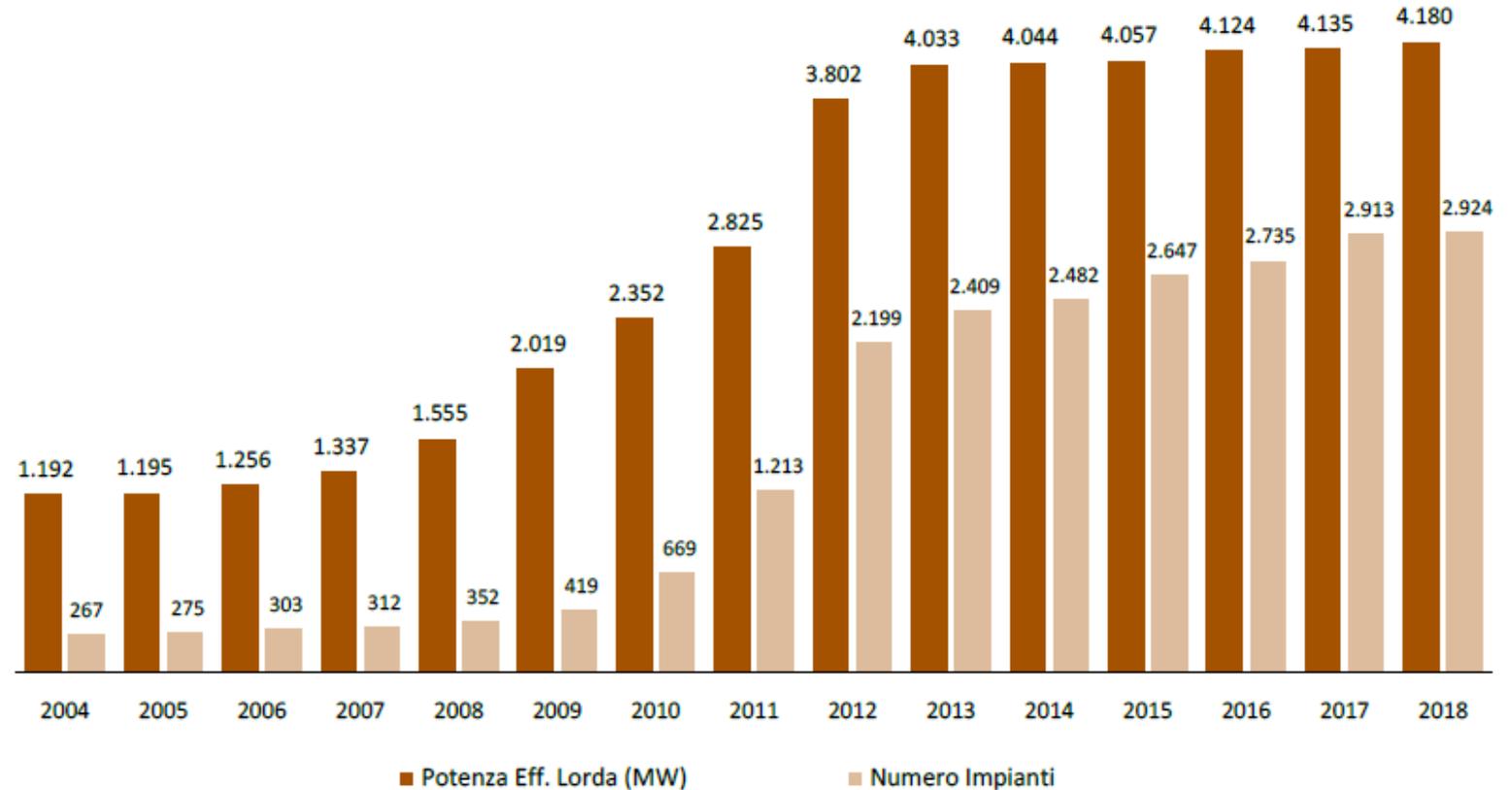
Distribuzione geotermico

- Tutto il contributo è concentrato nella regione Toscana, in tre province.
- A differenza di tutte le altre FER, il geotermico è molto localizzato.
- Di tutti i Paesi UE-28, l'Italia è l'unico ad avere un contributo significativo.
- Altri Paesi nel Mondo sono gli USA, l'Islanda, le Filippine e l'Indonesia.



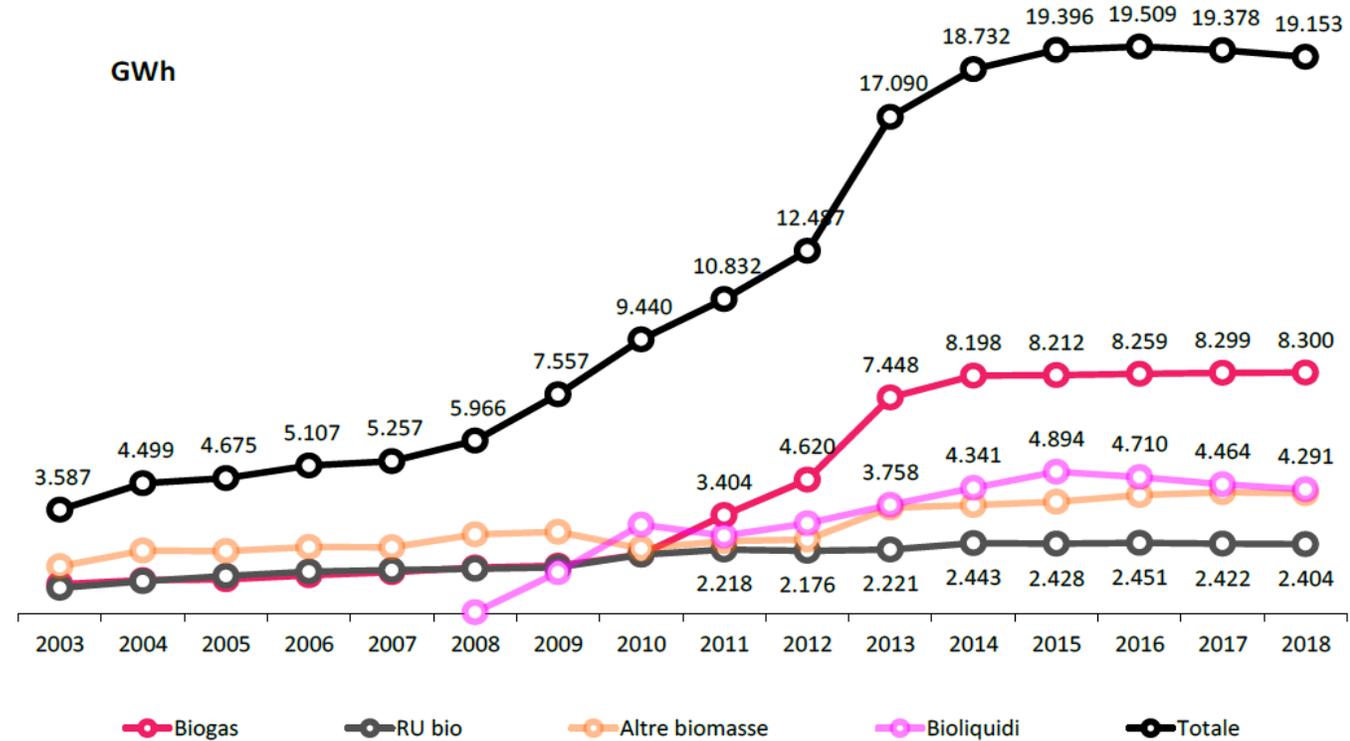
Evoluzione bioenergie (1)

- Potenza installata in crescita sino al 2013, in seguito si è stabilizzata.
- Installazione di alcuni impianti di piccola taglia, incentivati.
- Taglia media: **circa 1,3 MW.**



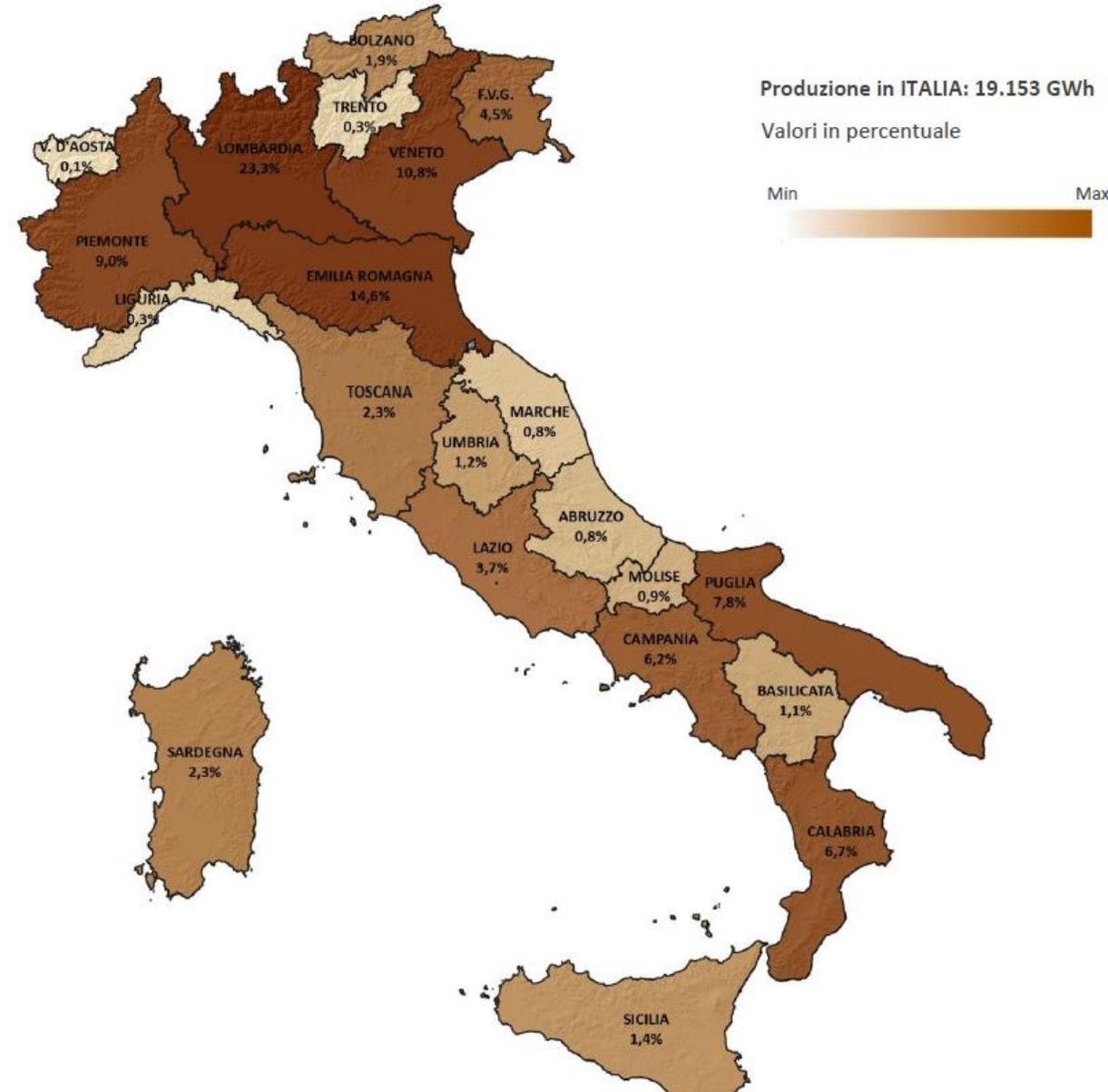
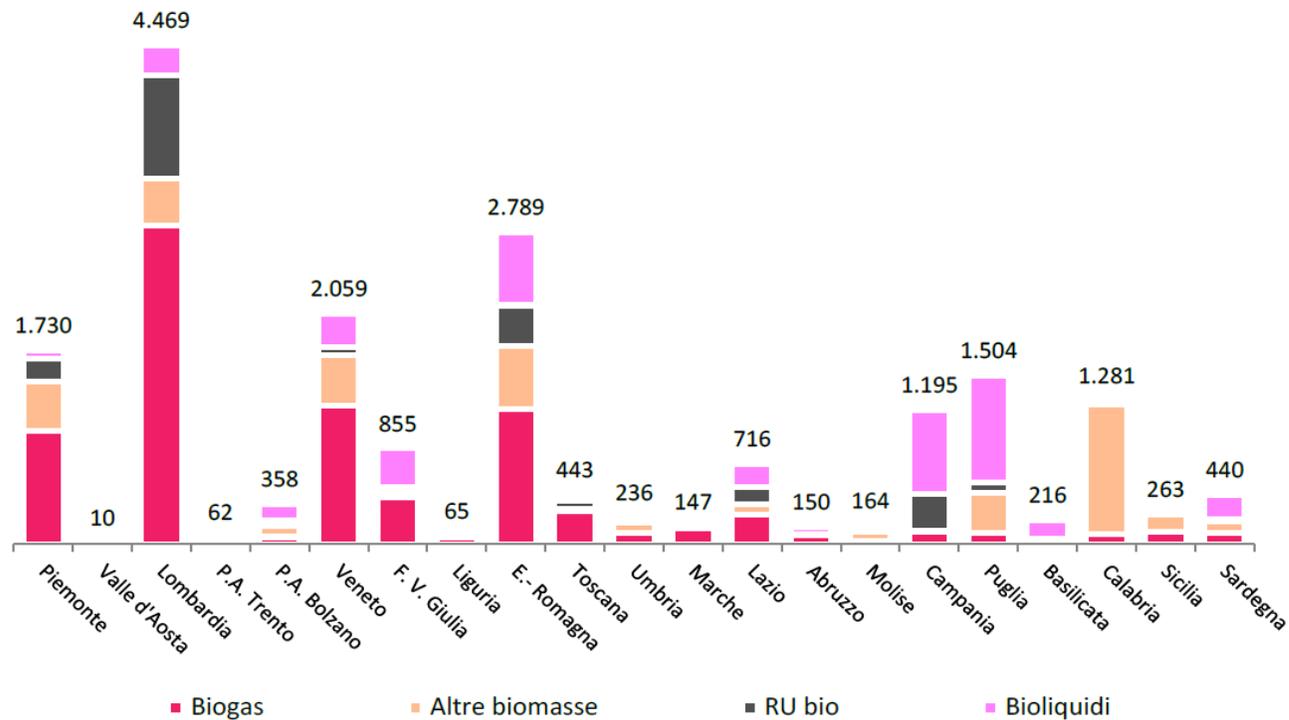
Evoluzione bioenergie (2)

- Tra tutti gli impianti a fonte rinnovabile sono i più programmabili, essendo alimentati da un combustibile.
- In questo caso si hanno diverse tipologie di impianti, con una diffusione diversa.
- Il contributo più significativo è rappresentato dagli impianti a biogas con taglie <1 MW.
- Trattandosi di impianti programmabili, hanno un numero di ore equivalenti maggiori, tuttavia presentano costi variabili non trascurabili.
- Ore equivalenti di utilizzo medie: **4600 ore.**

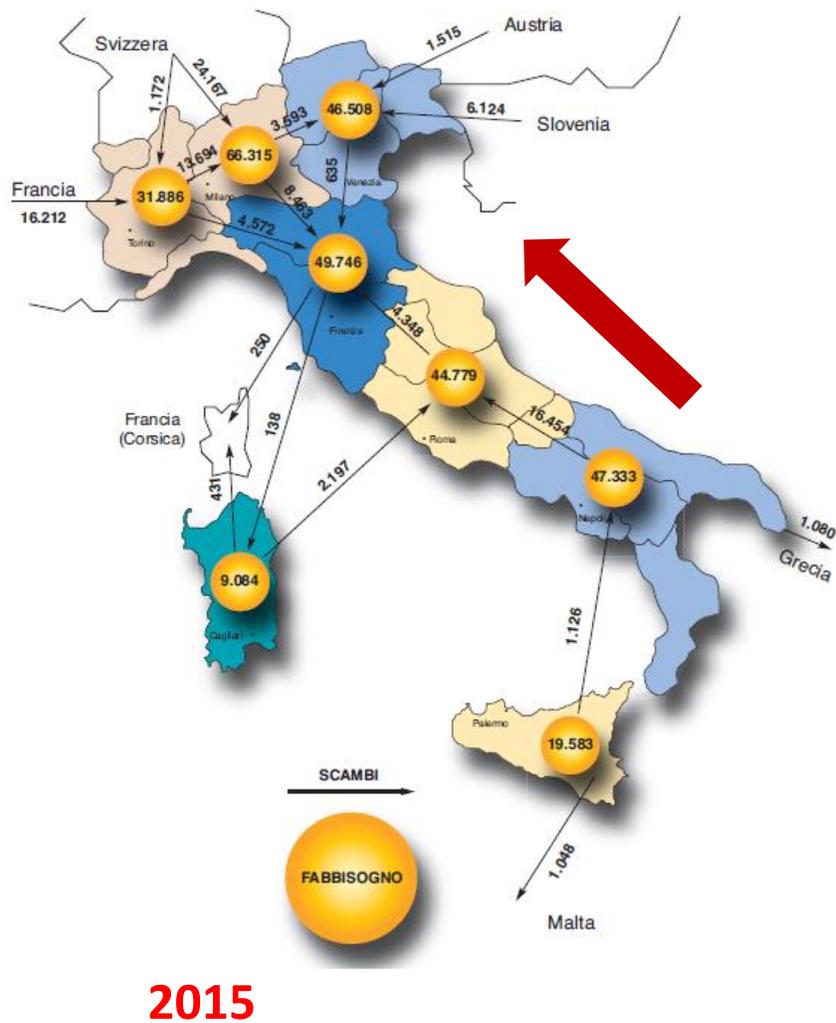
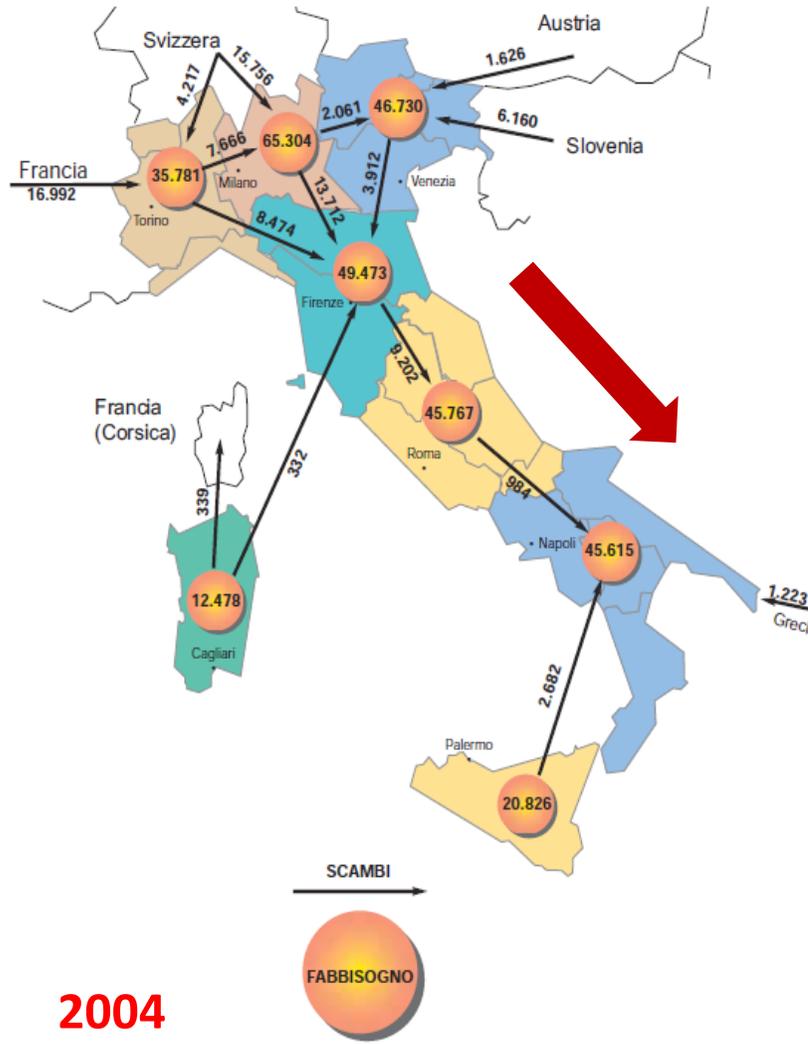


Distribuzione bioenergie

- Contributo più elevato nelle regioni del Nord Italia, prevalentemente per il biogas.
- In Lombardia si ha inoltre un contributo importante dei Rifiuti Solidi Urbani.



Effetti delle rinnovabili sulle reti elettriche

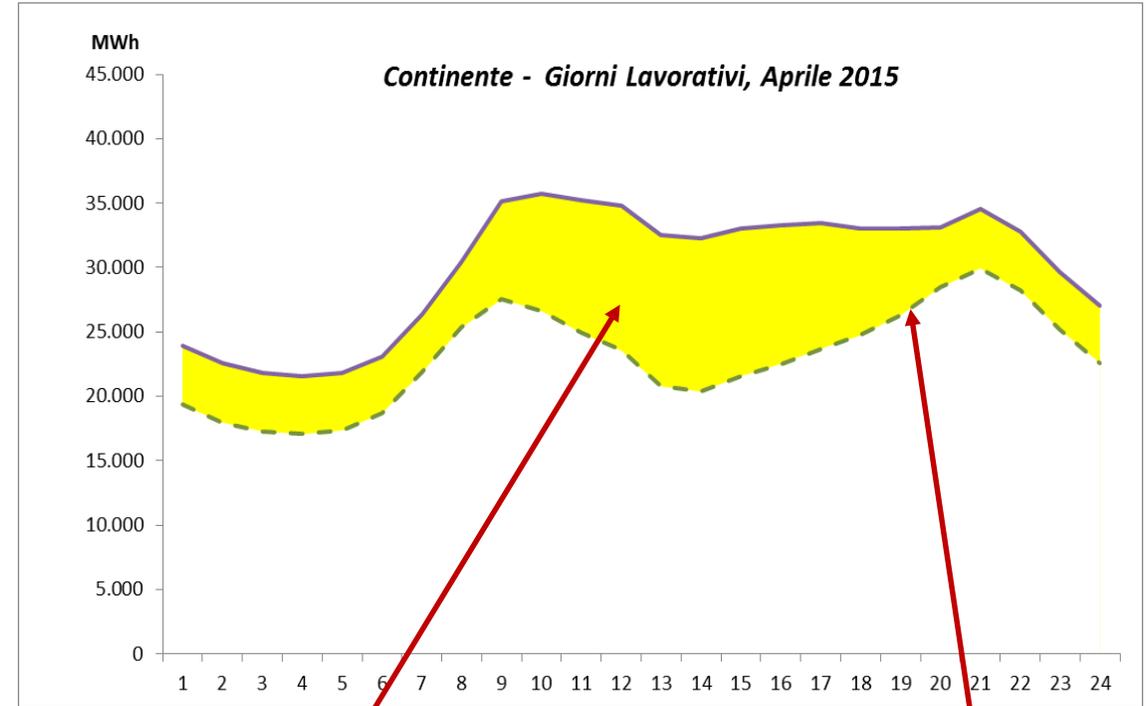
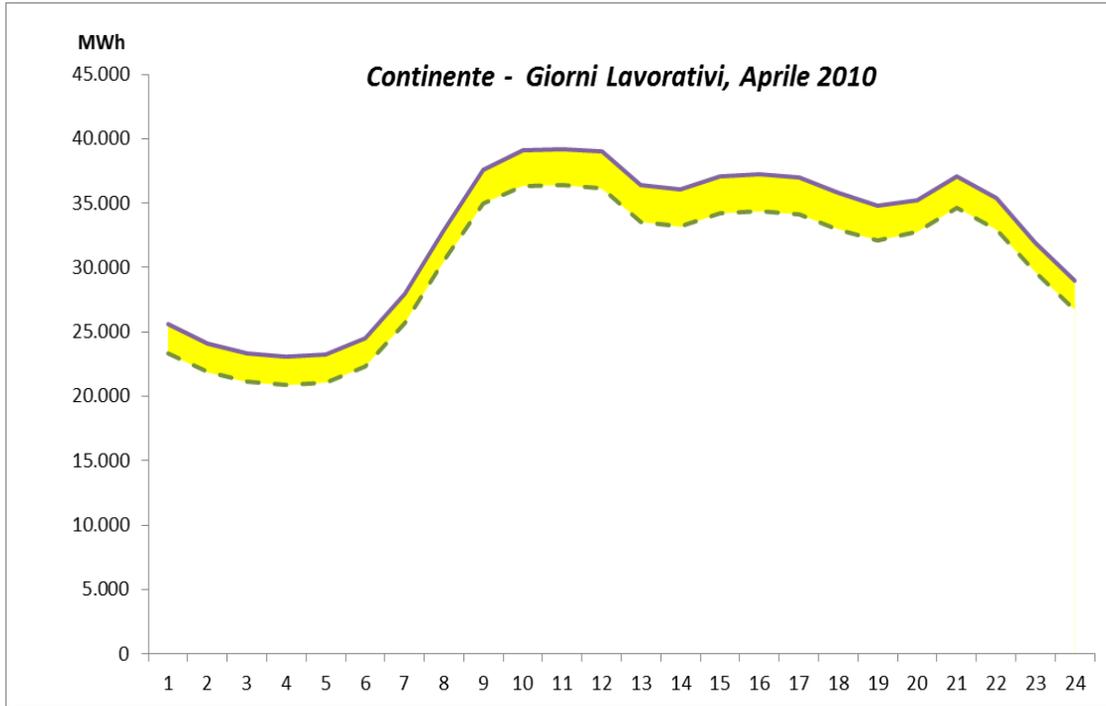


I maggiori consumi si hanno al Nord Italia, dove in passato era installati anche la maggior parte degli impianti di produzione.

In seguito all'elevata diffusione delle nuove fonti rinnovabili (eolico e solare) soprattutto al sud, dove il carico è minore, si è assistito ad una inversione delle direzioni dei flussi di energia sulle reti, con possibili congestioni.

Grafico tratto da Terna.

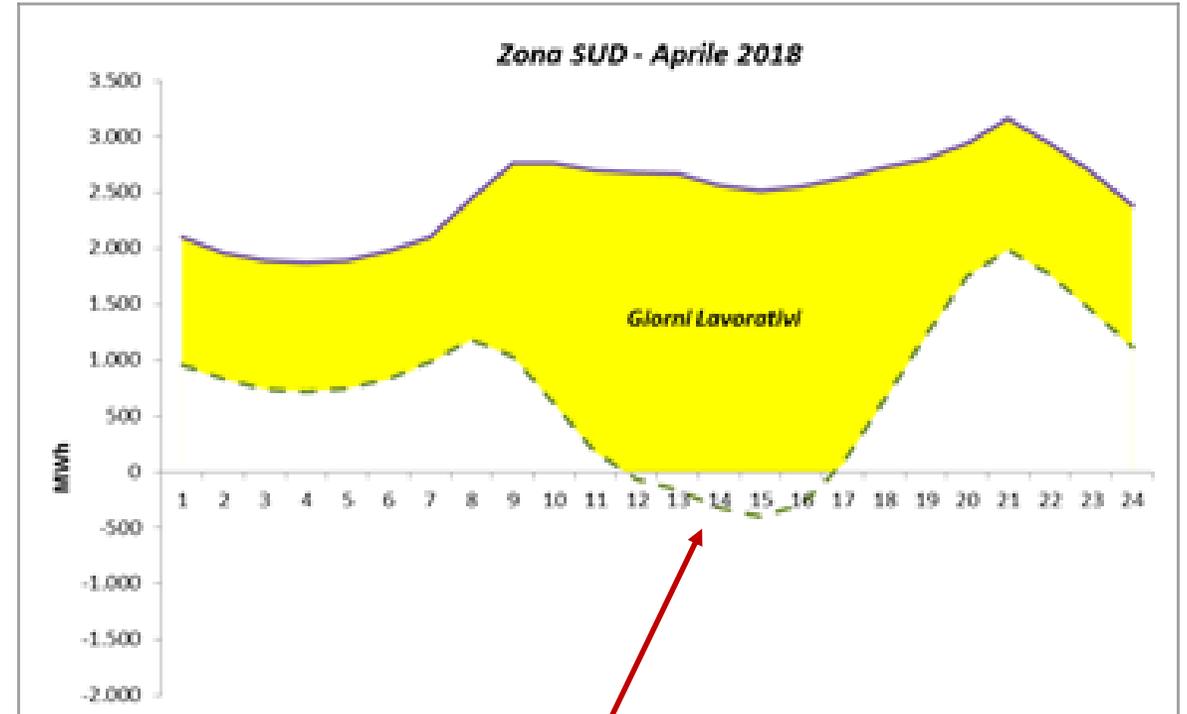
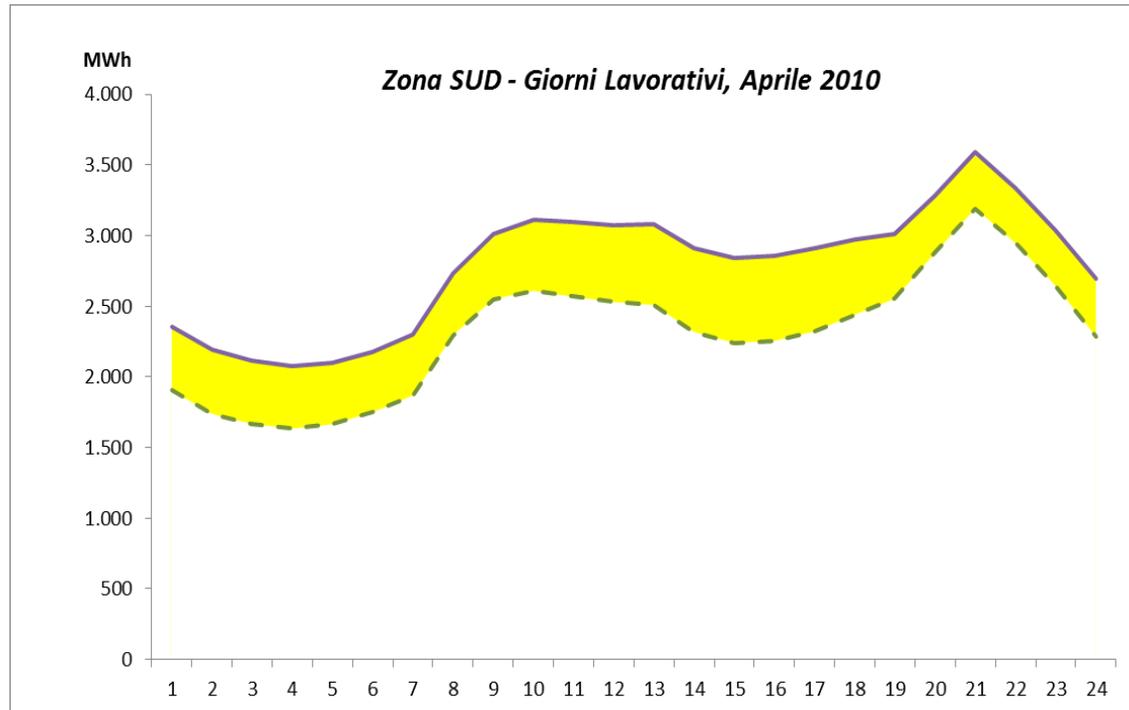
Effetti delle FER sulla copertura del carico



Carico soddisfatto da generazione non rilevante (eolico e solare)

Rampa

Effetti delle FER sulla copertura del carico (2)



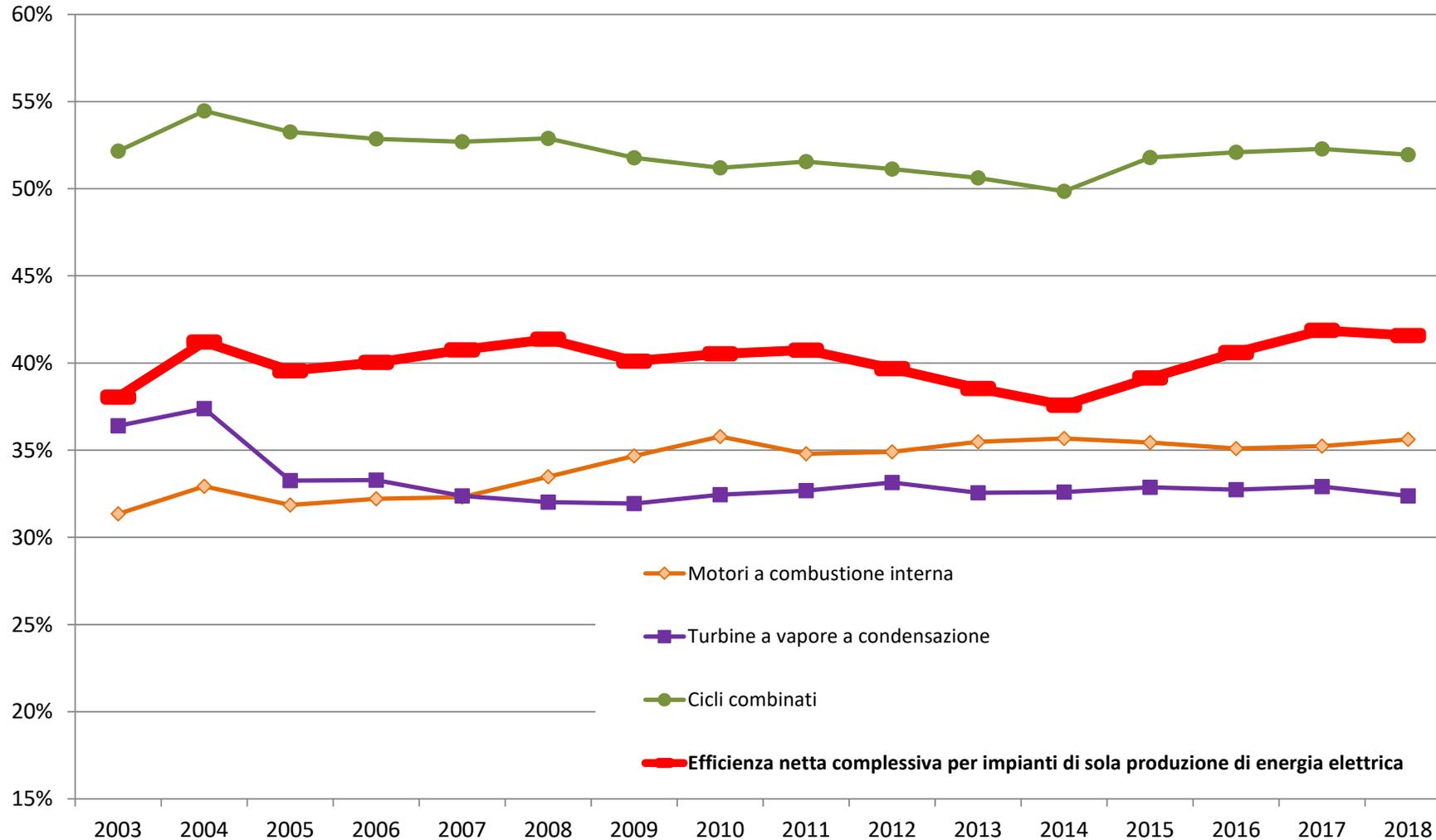
Rischio di taglio della produzione

Effetti delle FER sulla copertura del carico (3)

- Grande diffusione in pochi anni di impianti rinnovabili non programmabili (eolico e solare) che producono quando la fonte è disponibile (ore centrali del giorno): cambia quindi il profilo di carico da coprire con gli impianti tradizionali.
- Si assiste ad una notevole riduzione della domanda residua, in particolare al Sud (dove la richiesta è minore e la produzione da impianti rinnovabili non programmabili è massima).
- Si hanno quindi problemi nella gestione della domanda residua.
- Al fine di inseguire le rampe (serale e mattutina) risultano necessarie azioni rapide di bilanciamento (tra domanda e offerta di energia elettrica) realizzate da impianti programmabili con elevate capacità di modulazione, rapidi tempi di risposta e trascurabili vincoli di permanenza in servizio notte/giorno.
- Gli impianti eolici e solari dipendono dalla disponibilità della fonte, quindi non possono da soli sostenere la rete.

Effetti su impianti termoelettrici

Andamento dell'efficienza netta degli impianti di produzione di energia elettrica



Interventi necessari

- Come si è visto, il profondo cambiamento nel mix produttivo ha comportato una serie di cambiamenti, con possibili elementi critici nella gestione del sistema elettrico nazionale.
- Occorre pertanto agire per fare in modo che anche gli impianti alimentati dalle fonti rinnovabili non programmabili partecipino attivamente al funzionamento del sistema elettrico, sia attraverso la fornitura dei servizi di rete, sia attraverso la loro responsabilizzazione in termini di bilanciamento.
- Ciò consentirebbe l'integrazione e l'ulteriore diffusione delle fonti rinnovabili non programmabili e della generazione distribuita, garantendo allo stesso tempo la sicurezza del sistema elettrico.
- Inoltre, poiché quasi tutti questi impianti sono di piccola taglia, sarebbe importante accoppiarli ad utenze distribuite sul territorio, in modo da favorire un accoppiamento ottimo tra domanda e offerta di energia elettrica, impegnando così la rete elettrica in misura minore (riducendo cioè le congestioni di rete).
- Si deve inoltre favorire la flessibilità del sistema, lato domanda e lato offerta.

COSA SI PREVEDE PER IL FUTURO?

Sommario

- Le fonti primarie di energia
- Il mix produttivo di energia in Italia
- Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia
- **Strategia Energetica Nazionale per il 2030**
- Il ruolo degli accumuli energetici

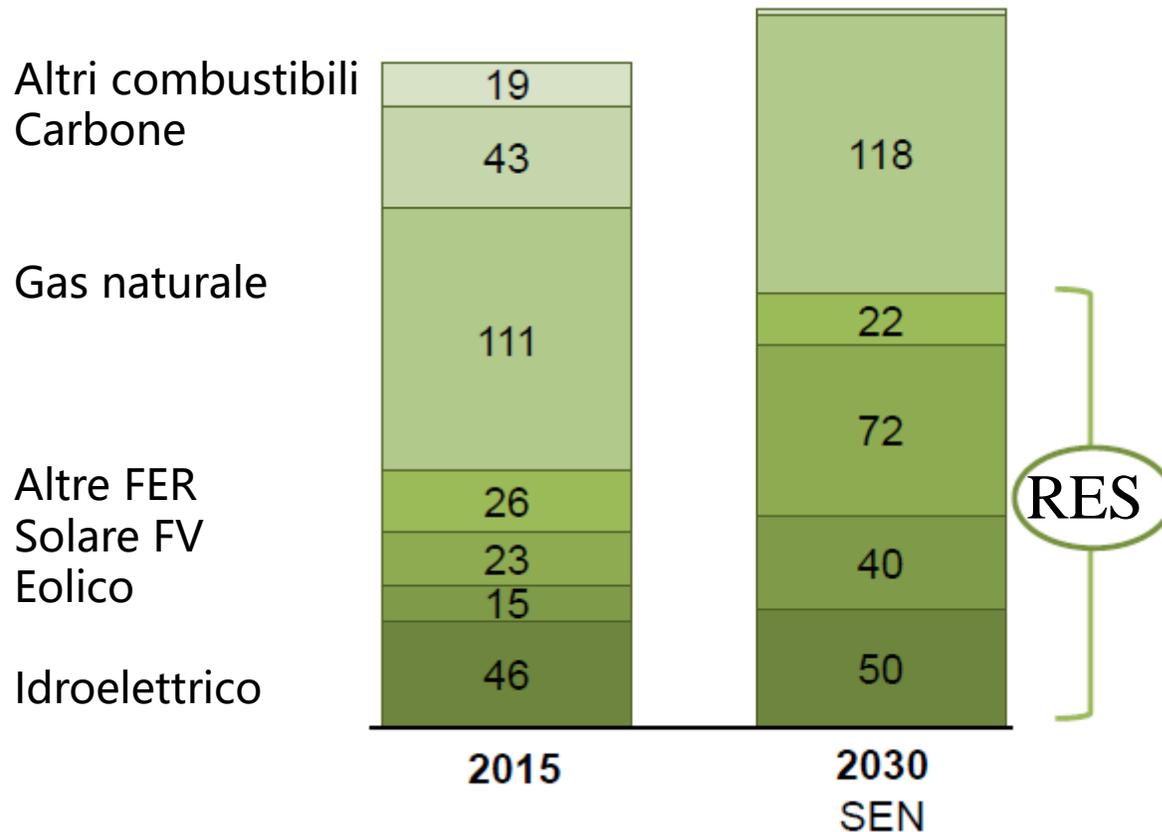
La Strategia Energetica Nazionale (SEN) 2017

➤ Nel 2017, l'Italia ha pubblicato la Strategia Energetica Nazionale (SEN), con obiettivi sino al 2030. La SEN include i seguenti obiettivi energetici:

- Riduzione della dipendenza energetica da altri Paesi, attraverso **l'incremento dell'efficienza energetica e della produzione da fonti rinnovabili di energia.**
- Sviluppo della rete elettrica per raggiungere maggiore flessibilità e adeguatezza.
- Creazione di un *capacity market* per assicurare l'adeguatezza del sistema elettrico.
- Maggiore integrazione dei mercati dell'energia con quelli degli altri Paesi UE.

La Strategia Energetica Nazionale (SEN)

Produzione lorda di energia elettrica [TWh]



- Forte incremento delle FER, in particolare eolico e solare fotovoltaico.
- Dismissione impianti a carbone (2025)
- Scomparsa definitiva prodotti petroliferi
- Ruolo del gas naturale
- Lieve aumento della produzione totale

Il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)

➤ Il 31 dicembre 2018, l'Italia ha pubblicato il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC). Ogni Stato membro della UE, in seguito all'approvazione del ***Clean Energy for All Europeans Package*** (che riporta gli obiettivi energetici a livello di UE), ha approvato il proprio piano Nazionale, con obiettivi specifici. Anche in questo caso, gli obiettivi sono traluardati al 2030. Il PNIEC tocca diverse aree, ponendo i seguenti obiettivi:

- Decarbonizzazione
- Efficienza
- Sicurezza energetica
- Sviluppo del mercato interno dell'energia
- Ricerca, innovazione e competitività

Obiettivi del PNIEC

- Lieve riduzione dei consumi finali di energia grazie all'efficienza energetica
- L'obiettivo complessivo del 30% di contributo FER sui consumi totali finali al 2030, si divide come segue:
 1. 55,4% su FER elettriche
 2. 33% su FER termiche
 3. 21,6% su FER trasporti RES

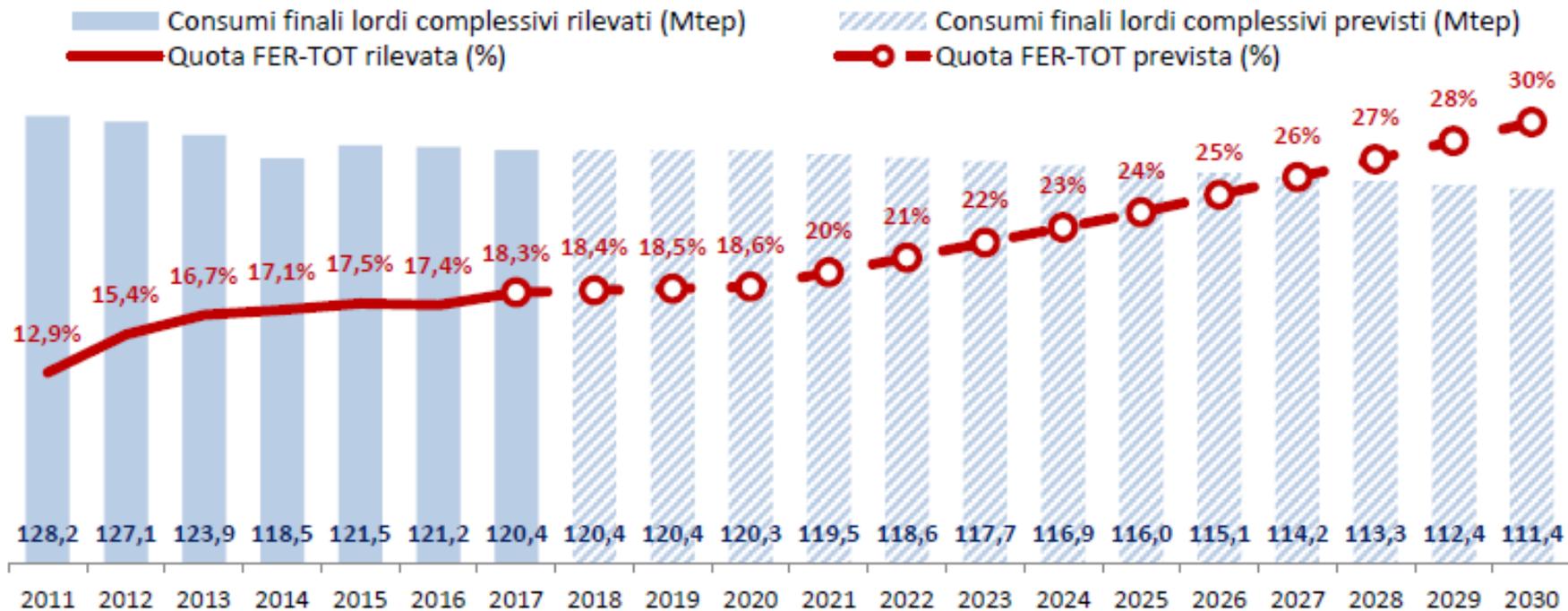


Immagine tratta da www.mise.gov.it

Corso di Energetica applicata

Sviluppo FER elettriche

- Il livello attuale è di circa 34% dei consumi interni lordi (anno 2017)
- I consumi sono previsti circa costanti nei prossimi anni
- È necessario un forte aumento, sino ad arrivare a circa 55%

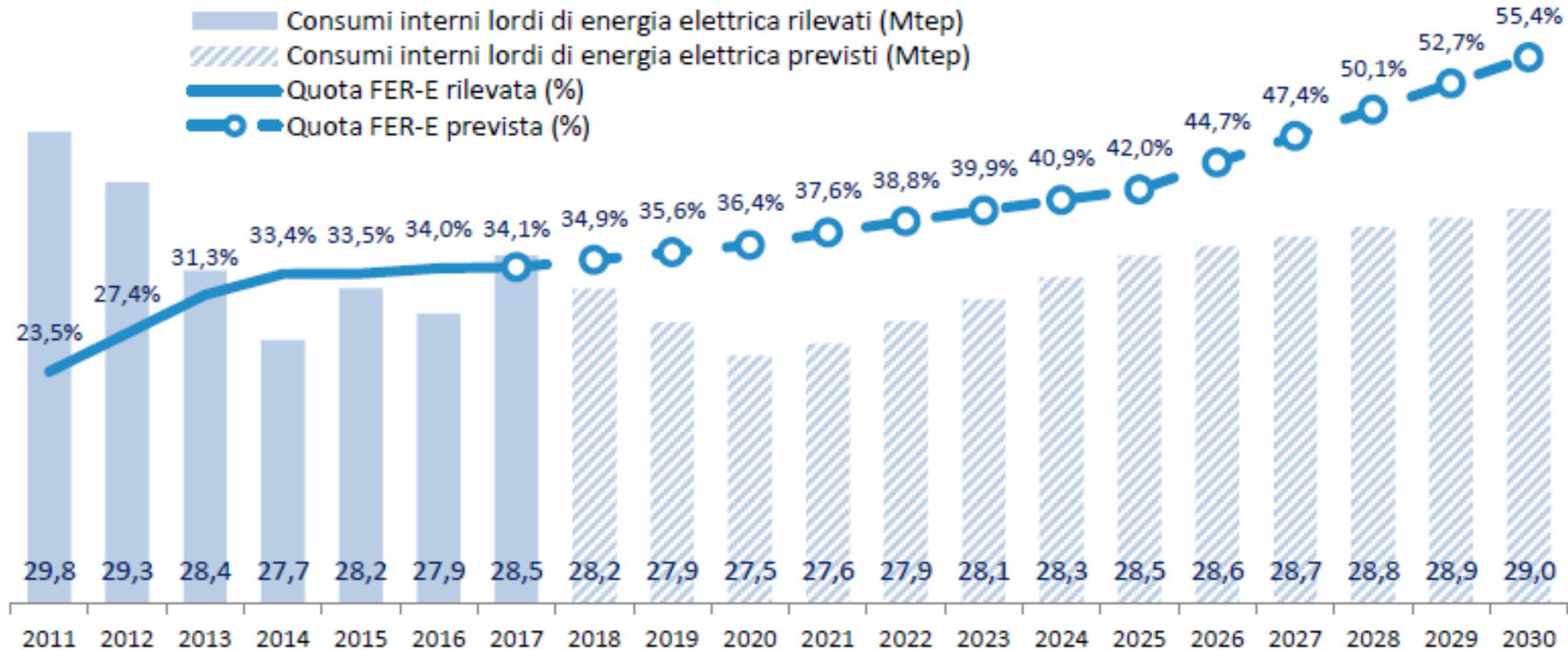


Immagine tratta da www.mise.gov.it

Sviluppo FER elettriche

- Idrica e geotermica non possono crescere, sono alla massima capacità.
- Forte installazione di impianti eolici (9 GW) e di impianti solari FV (31 GW).
- Nel 2030, si prevede una produzione da FER pari a 187 TWh, così divisi:
 - ❑ 75 TWh solare
 - ❑ 50 TWh idrica
 - ❑ 40 TWh eolica
 - ❑ 22 TWh altre FER

Tabella 10 - Obiettivi di crescita della potenza (MW) da fonte rinnovabile al 2030

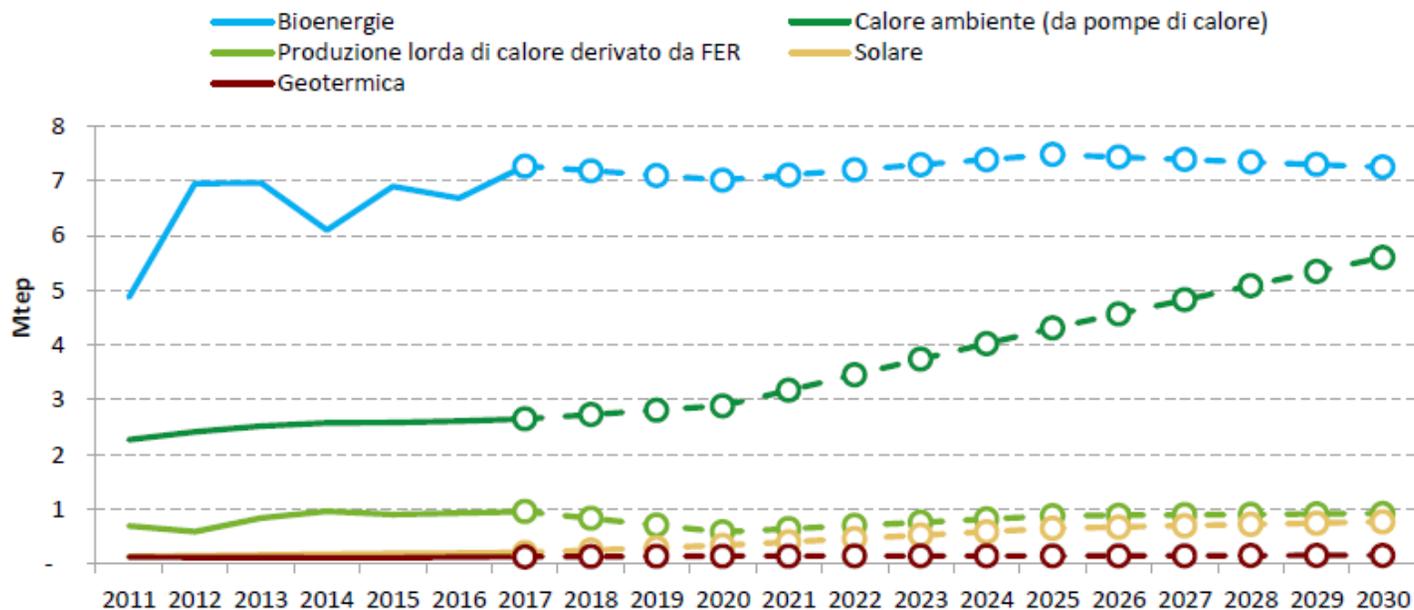
Fonte	2016	2017	2025	2030
Idrica	18.641	18.863	19.140	19.200
Geotermica	815	813	919	950
Eolica	9.410	9.766	15.690	18.400
<i>di cui off-shore</i>	0	0	300	900
Bioenergie	4.124	4.135	3.570	3.764
Solare	19.269	19.682	26.840	50.880
<i>di cui CSP</i>	0	0	250	880
Totale	52.258	53.259	66.159	93.194

Tabella 11 – Obiettivi e traiettorie di crescita al 2030 della quota rinnovabile nel settore elettrico (TWh)

	2016	2017	2025	2030
Produzione rinnovabile	110,5	113,1	139,3	186,8
Idrica (effettiva)	42,4	36,2		
Idrica (normalizzata)	46,2	46,0	49,0	49,3
Eolica (effettiva)	17,7	17,7		
Eolica (normalizzata)	16,5	17,2	31,0	40,1
Geotermica	6,3	6,2	6,9	7,1
Bioenergie*	19,4	19,3	16,0	15,7
Solare	22,1	24,4	36,4	74,5
Denominatore - Consumi Interni Lordi di energia elettrica	325,0	331,8	331,8	337,3
Quota FER-E (%)	34,0%	34,1%	42,0%	55,4%

Immagine tratta da www.mise.gov.it

Sviluppo FER termiche



[ktep]

	2016	2017	2025	2030
Numeratore	10.538	11.211	13.467	14.701
Produzione lorda di calore derivato da FER*	928	957	881	923
Consumi finali FER per riscaldamento	9.611	10.254	12.586	13.778
<i>di cui bioenergie*</i>	6.677	7.265	7.478	7.250
<i>di cui solare</i>	200	209	650	771
<i>di cui geotermico</i>	125	131	148	158
<i>di cui energia ambiente da PDC</i>	2.609	2.650	4.310	5.599
Denominatore - Consumi finali lordi nel settore termico	55.796	55.823	47.026	44.420
Quota FER-C (%)	18,9%	20,1%	28,6%	33,1%

*Per i bioliquidi (inclusi nelle bioenergie insieme alle biomasse solide e al biogas) si riporta solo il contributo dei bioliquidi sostenibili.

Immagine tratta da www.mise.gov.it

Corso di Energetica applicata

Sviluppo FER trasporti

- Contributo del biometano
- Comparsa dei veicoli elettrici dopo il 2020

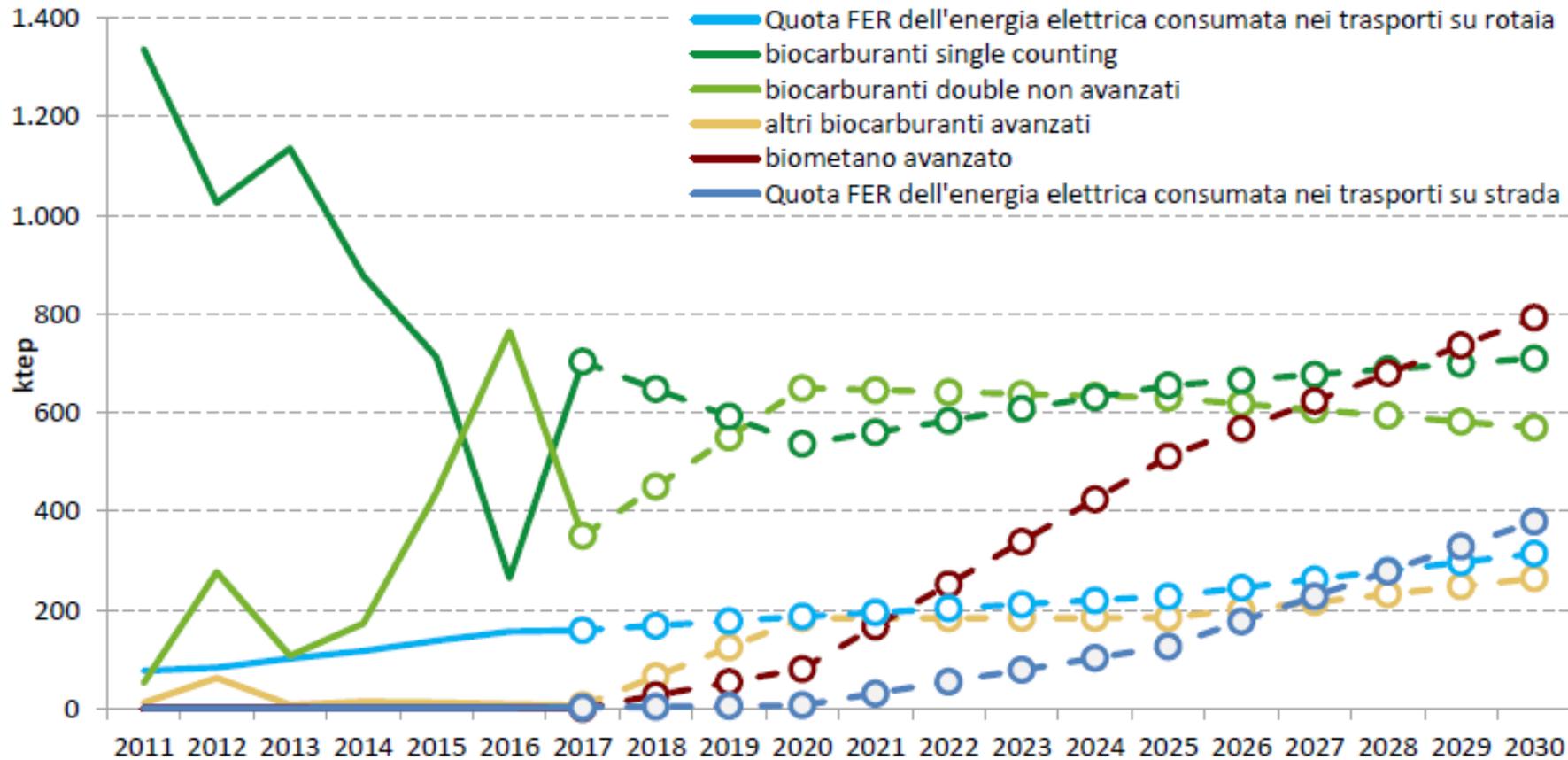


Immagine tratta da www.mise.gov.it

Corso di Energetica applicata

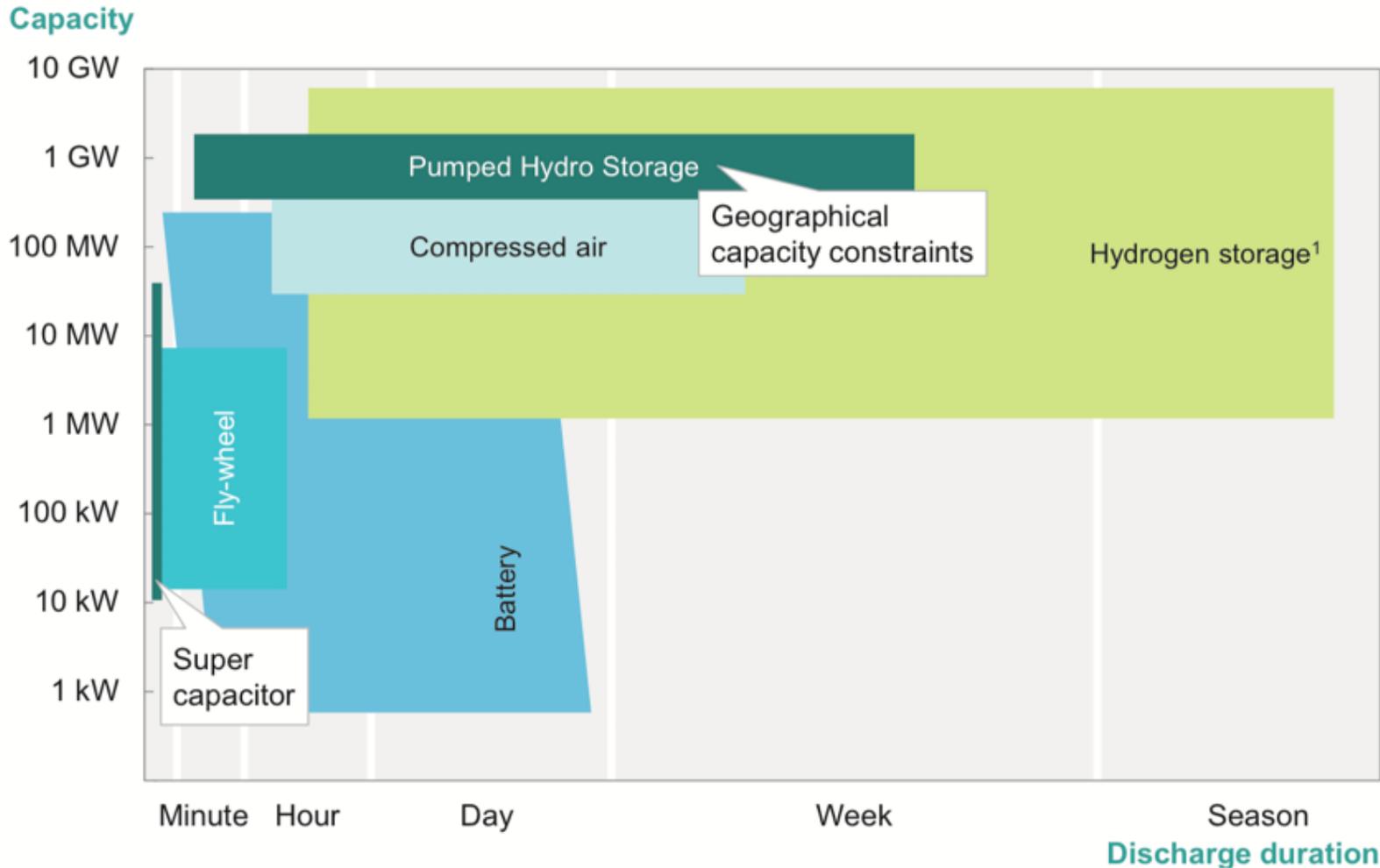
Scenari futuri PNIEC

- Scomparsa dei prodotti petroliferi (nel settore elettrico) e loro generale riduzione
- Smantellamento degli impianti a carbone ancora esistenti
- Sviluppo di nuove tecnologie in modo da permettere una maggiore flessibilità dei cicli combinati
- Diffusione ulteriore di impianti di generazione distribuita (piccola taglia)
- Diffusione ulteriore di **impianti rinnovabili non programmabili** (solare, eolico)
- In questo scenario, diventa fondamentale disporre di sistemi di accumulo energetico, da accoppiare agli impianti a fonte rinnovabile**

Sommario

- Le fonti primarie di energia
- Il mix produttivo di energia in Italia
- Il ruolo e l'evoluzione delle fonti rinnovabili in Italia
- Strategia Energetica Nazionale per il 2030
- **Il ruolo degli accumuli energetici**

Accumuli energetici



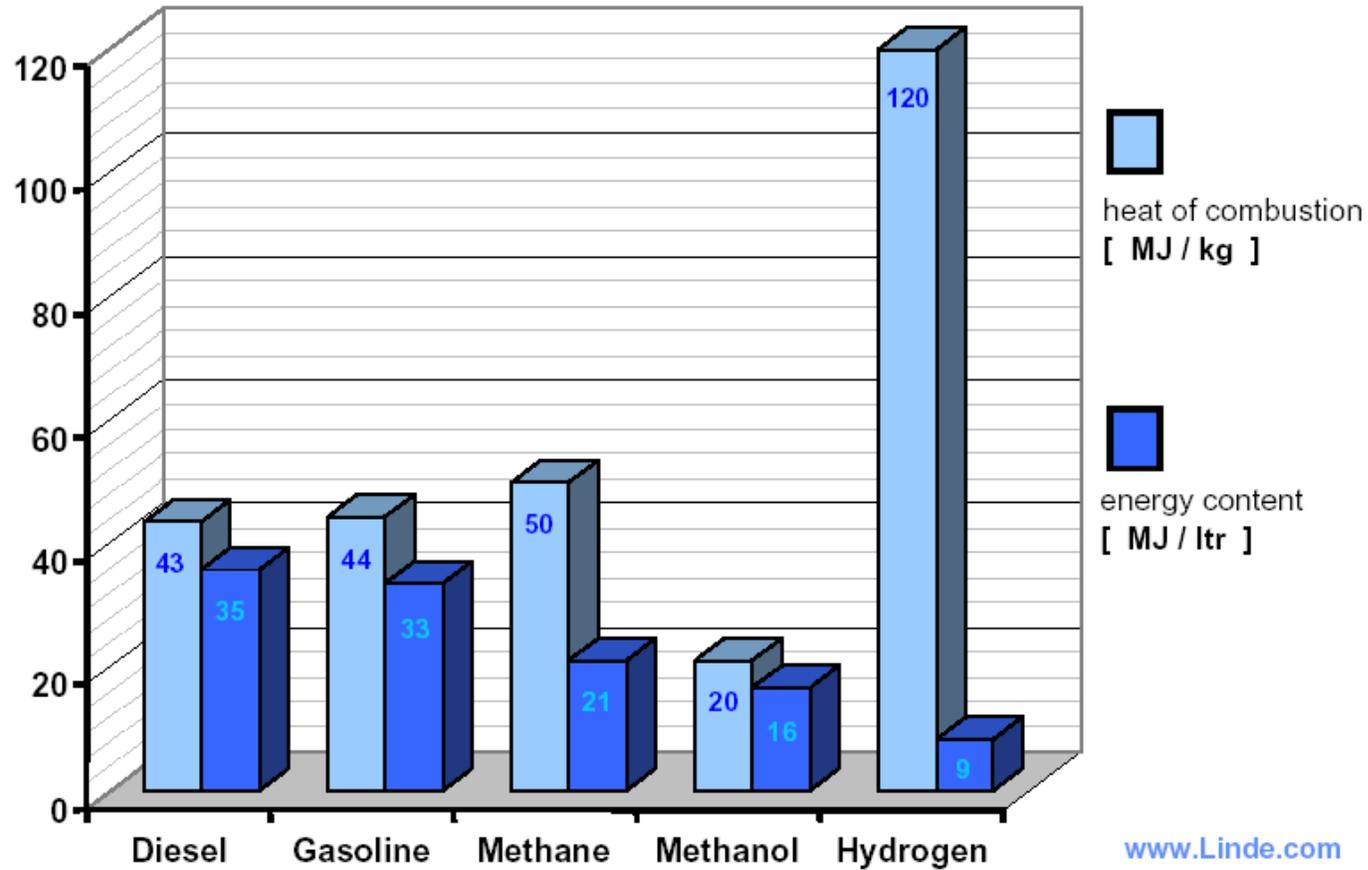
Si distinguono in base alla loro capacità e al tempo di carica/scarica.

A seconda del contesto, una forma di accumulo può essere vincente rispetto alle altre.

Idrogeno vs altri combustibili

Hydrogen as Alternative Fuel

comparison of fuels - heat of combustion / energy content -



heat of combustion
[MJ / kg]

energy content
[MJ / ltr]

www.Linde.com

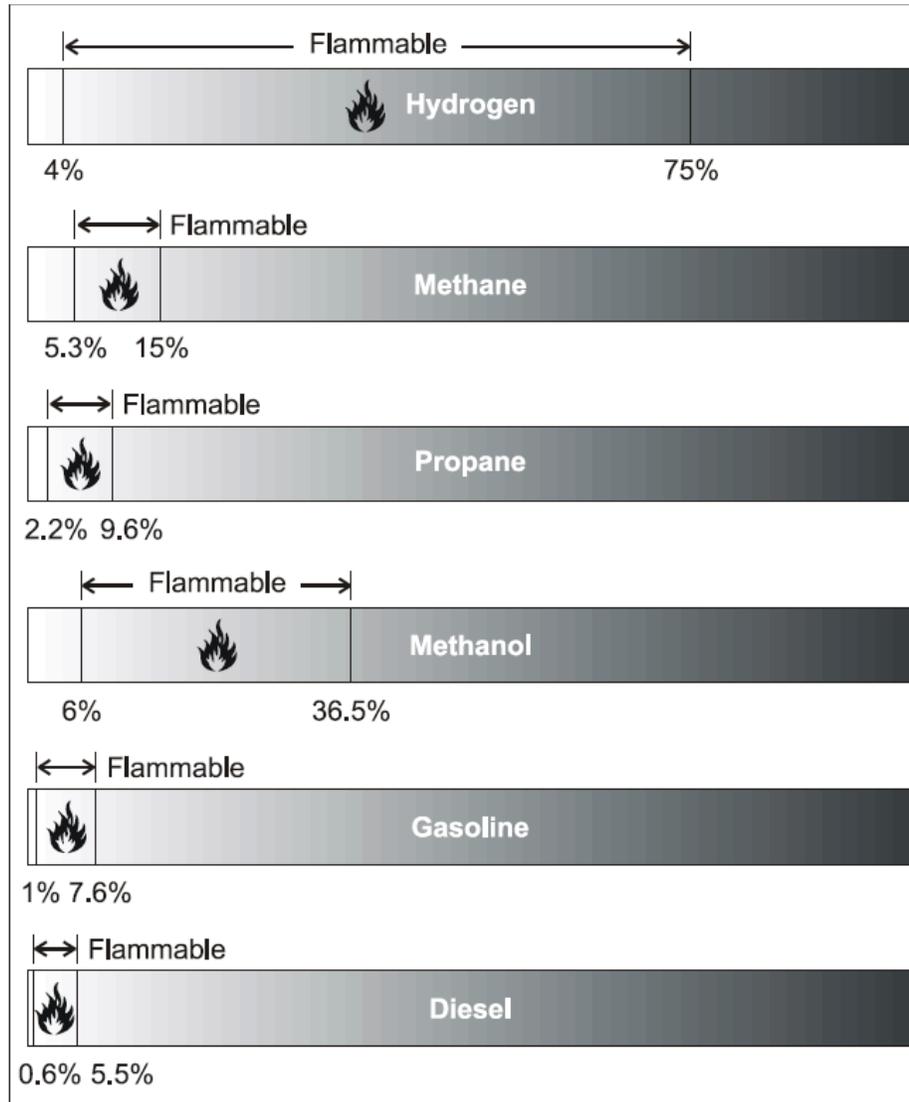
L'idrogeno ha un contenuto energetico per unità di massa molto elevato.

Tuttavia, a causa della sua bassa densità, il suo contenuto energetico riferito all'unità di volume è ridotto.

Idrogeno vs altri combustibili

	H2	CH4	Benzina
Massa molecolare	2	16	100-105
Pressione critica (bar)	13	46.4	/
Temperatura critica (°C)	-240	-82.1	/
Punto di ebollizione (°C)	-252.8	-161.5	27-225
Temperatura di fiamma (°C)	2045	1875	2030
Potere calorifico inferiore LHV (MJ/Kg)	120.0	50.0	42.5
Potere calorifico superiore HHV (MJ/Kg)	142.0	55.5	46.7
Densità del gas (Kg/m ³) (a 1.01325 bar e 15° C)	0.085	0.677	/
Densità media del liquido (Kg/m ³)	71	420-460	730
ρ LHV (KJ/m ³) (a 1.01325 bar e 15 °C)	10234	37560	3102500
Range di infiammabilità in aria (% in volume)	4-75%	5.3-15%	1-3%
Energia di attivazione (mJ)	0.02	0.29	0.24
Coefficiente di diffusione, fugacità (cm ³ / s)	0.61	0.15	0.05

Idrogeno vs altri combustibili: sicurezza

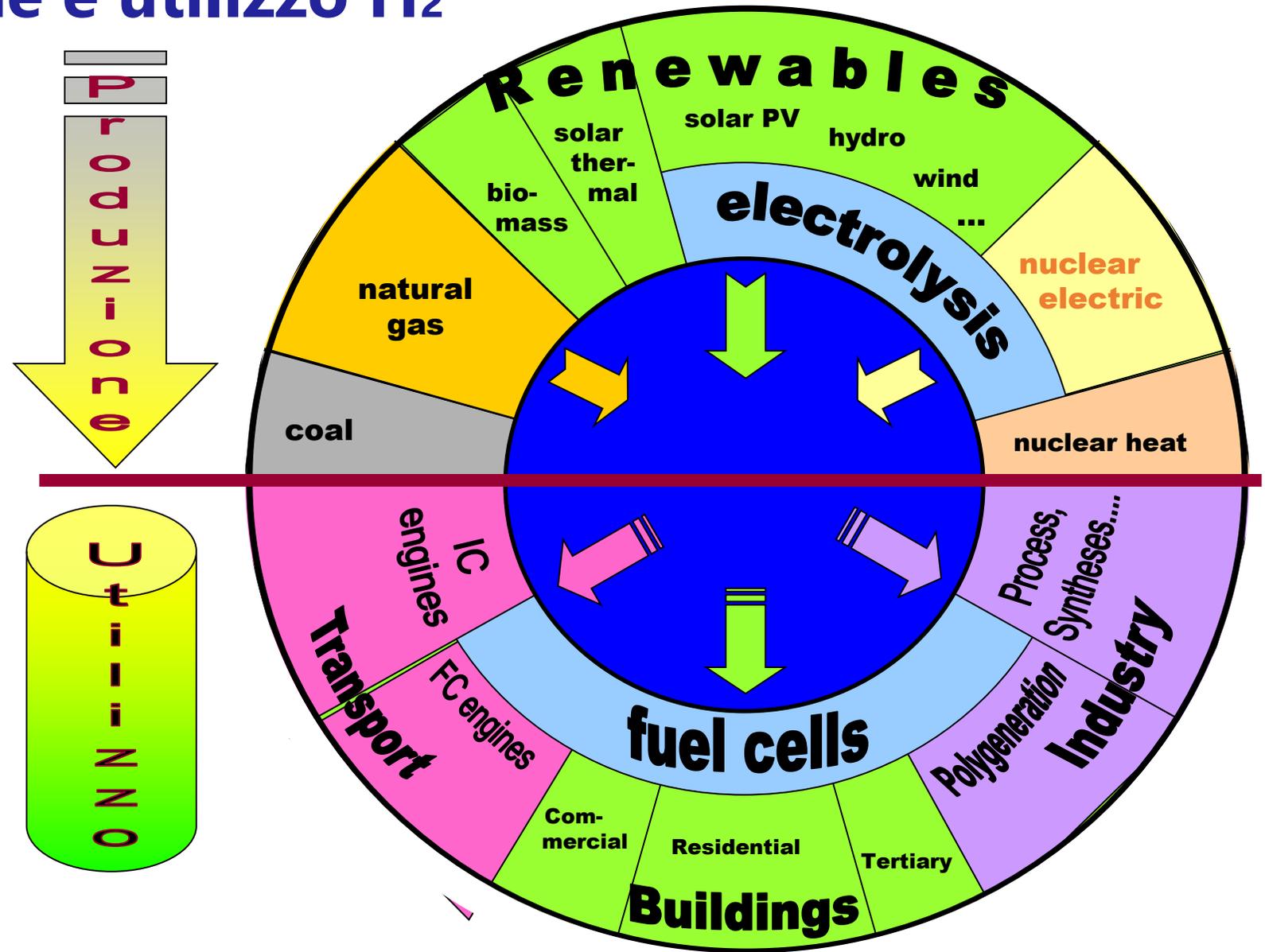


Intervallo di infiammabilità molto più elevato di quello di tutti gli altri combustibili.

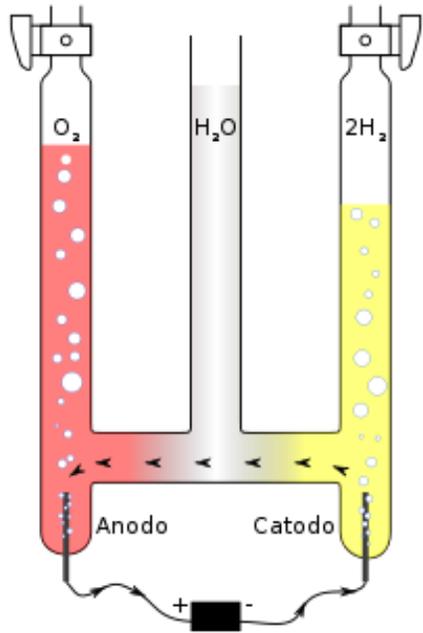
Inoltre, ha un'energia richiesta molto basso per attivare la combustione, pertanto è molto facile innescarlo.

La fiamma di idrogeno è invisibile alla luce del giorno: il fatto che la velocità della propagazione di fiamma sia molto alta comporta una combustione molto veloce.

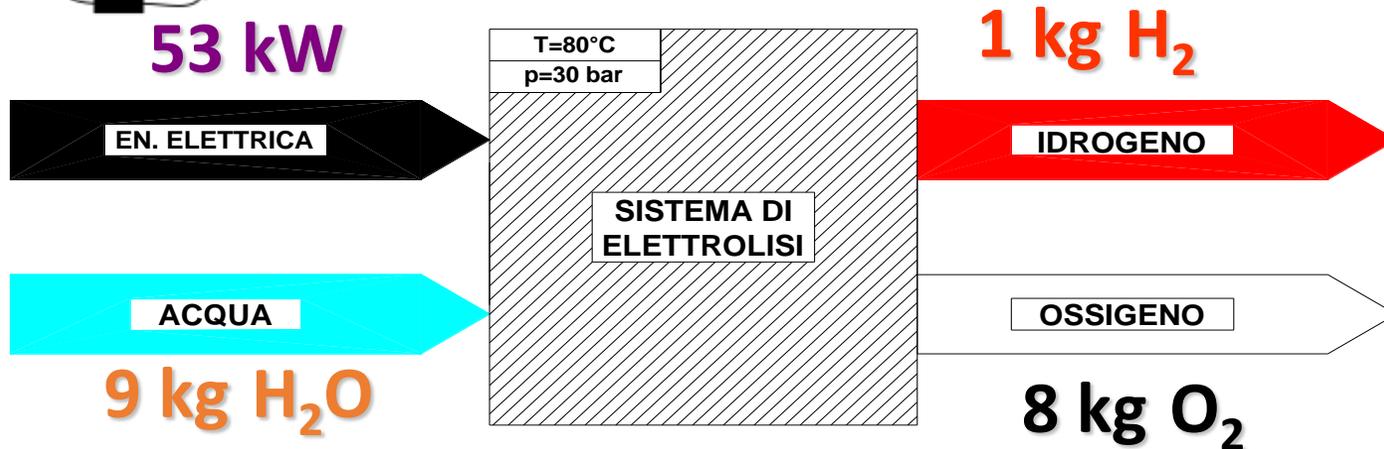
Metodi di produzione e utilizzo H₂



Produzione H₂ da energia elettrica (elettrolisi)



- En. elettrica per scindere la molecola di H₂O
- Si generano H₂ e O₂ **puri**
- 53 kWh per produrre 1 kg/h H₂ ($\eta=75\%$)



Produzione H₂ da energia elettrica (elettrolisi)

Caratteristiche di alcuni elettrolizzatori commerciali

Costruttore		Tecnologia	Produzione H ₂ [Nm ³ /h]	Consumo energia [kW/Nm ³]
Hydrogenics	HySTAT IMET serie 300	Membrana inorganica	1-3	4,2
	HySTAT IMET serie 1000	Membrana inorganica	4-60	4,2
Norsk Hydro Electrolysers	Inergon	PEM	10	4,4
	HPE*	Alcalina	10-60	4,8
	P atmosferica	Alcalina	60- 485	4,2
Distributed Energy Systems**	Hogen S40	PEM	1,05	6,7
	Hogen 6H	PEM	6	6,8
Teledyne Energy Systems	TITAN EC-1000	Alcalina	56	5,6
Avalence H ₂ Energy Systems	Hydrofiller 175	Alcalina	4,6	5,4

* Elettrolizzatori ad alta pressione

** In precedenza Proton Energy Systems



Hydrogenics (HySTAT)



Distributed Energy Systems
(Hogen Serie H e S)

Tutto l'impianto può essere
contenuto in una stanza!

Vantaggi e svantaggi produzione H₂ da elettrolisi

VANTAGGI

1. H₂ e O₂ prodotti sono *puri* al 99,99%
2. Produzione pulita di H₂, zero emissioni di CO₂ nel processo
3. O₂ prodotto può essere impiegato in applicazioni mediche e/o industriali, essendo puro.

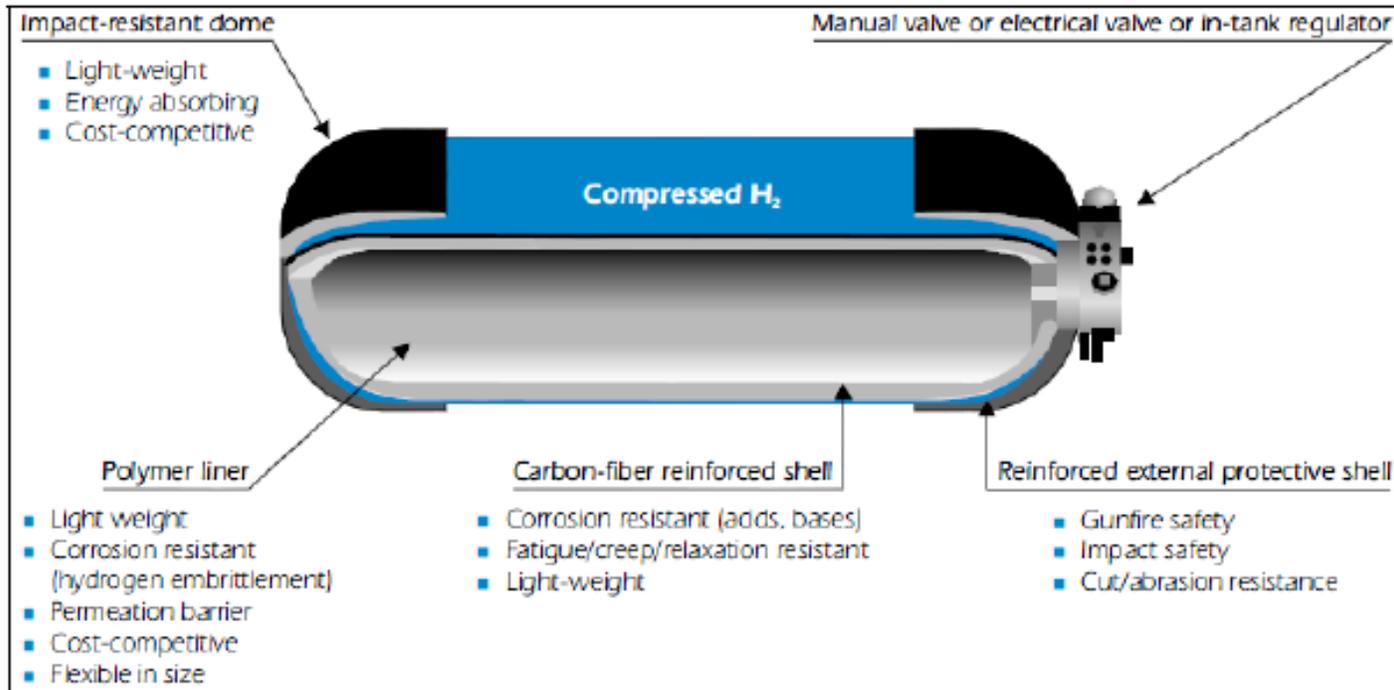
SVANTAGGI

1. Costi di investimento
2. Il costo di produzione di H₂ è fortemente influenzato dal prezzo dell'energia elettrica!
3. Il prezzo dell'energia elettrica in alcuni paesi è troppo elevato.

Soluzione interessante per la produzione di H₂ in paesi in via di sviluppo, dove impianti rinnovabili di grande taglia (es. idroelettrico) siano installati e dove il costo dell'energia elettrica sia ridotto.

Può essere anche interessante in Italia/Europa, in uno scenario con molte FER (2030?).

Stoccaggio H₂ come gas compresso



Pressioni di accumulo da un minimo di 200 bar sino a 700 bar. È una soluzione commerciale e diffusa.

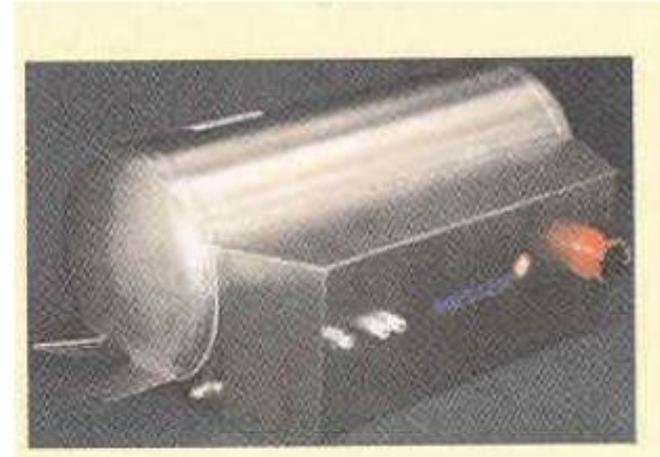
La compressione dell'idrogeno richiede tuttavia una certa quantità di energia, 10-15% dell'idrogeno contenuto nelle bombole.

Inoltre, la densità di stoccaggio in termini di volumi è piuttosto ridotta.

Stoccaggio H₂ in forma liquida

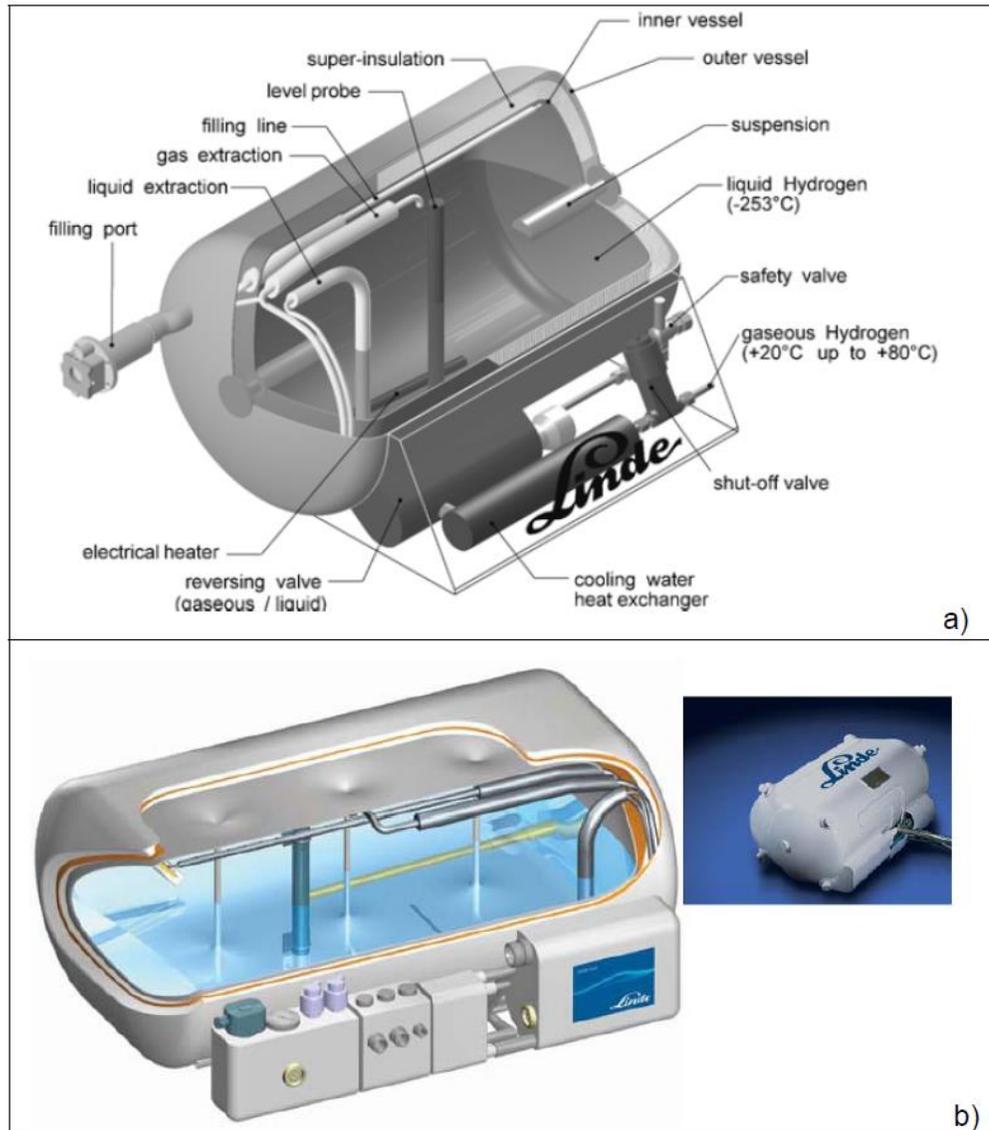
Tecniche di accumulo dell'Idrogeno (II)

Stoccaggio in forma
liquida a -253°C



E' possibile immagazzinare, a parità di volume, una quantità superiore di Idrogeno rispetto all'accumulo allo stato gassoso, a pressioni relativamente basse (2÷3 bar). I problemi di isolamento termico oggi sono stati completamente superati. Un esempio di estrema funzionalità è il serbatoio della BMW 750h, realizzato dalla casa Bavarese e dalla LINDE, azienda tedesca molto importante nel settore dei gas tecnici.

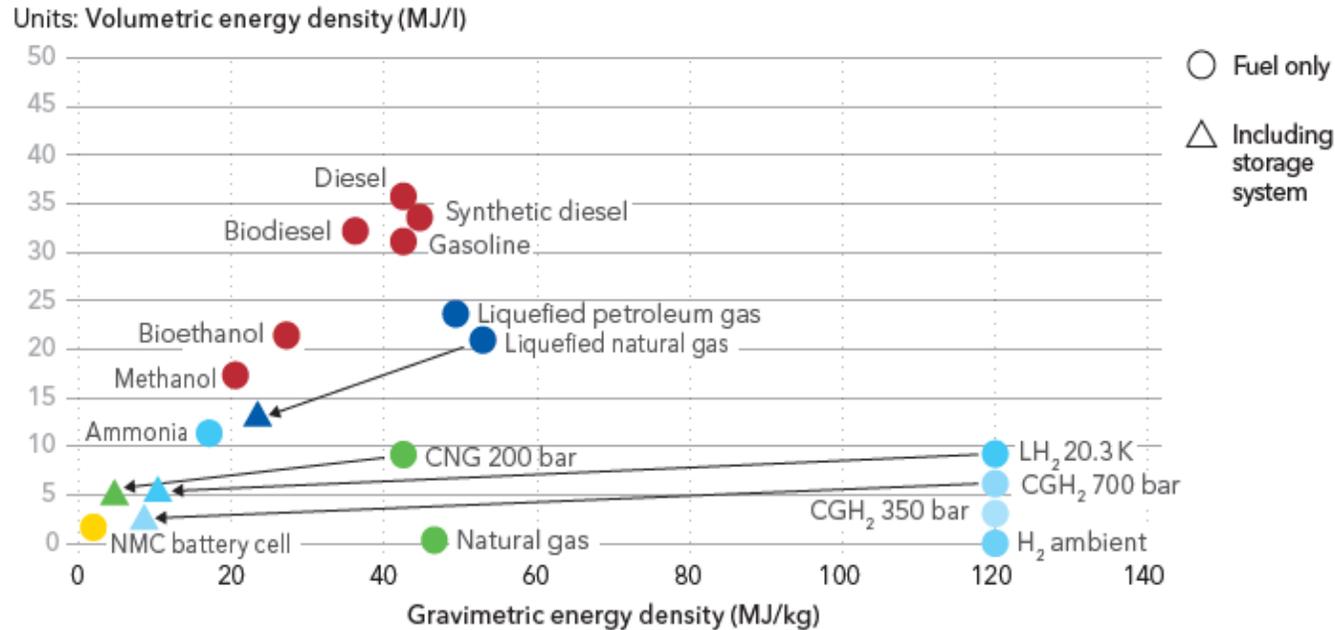
Stoccaggio H₂ in forma liquida



Lo stoccaggio in forma liquida in serbatoi è una soluzione esistente in commercio e consolidata.

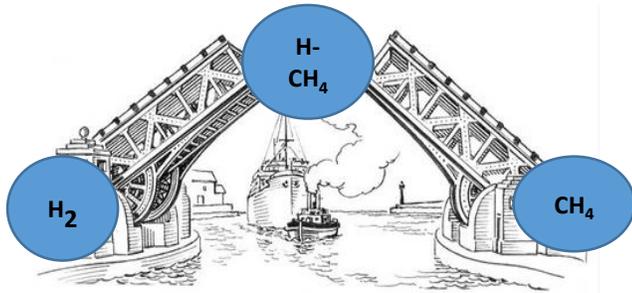
I principali problemi sono legati alla necessità di portare l'idrogeno a una temperatura molto bassa (-253 °C) e mantenerlo a quella temperatura. Il processo consuma una quantità ingente di energia, circa il 30% del contenuto energetico dell'idrogeno contenuto nel serbatoio.

Stoccaggio H₂



- Risulta evidente che lo stoccaggio di idrogeno, sia esso in forma liquida che in forma di gas compresso, risulta poco competitivo rispetto ai combustibili liquidi (diesel, benzina).
- Rispetto al gas naturale, la differenza è meno evidente.
- Una soluzione alternativa potrebbe essere produrre idrogeno ma avere come prodotto finale un altro combustibile, più facile da immagazzinare.

Miscela idrogeno-metano: l'idrometano



È un'invenzione recente ed è considerato il "ponte" tra economia a metano ed economia a idrogeno

Che cos'è?



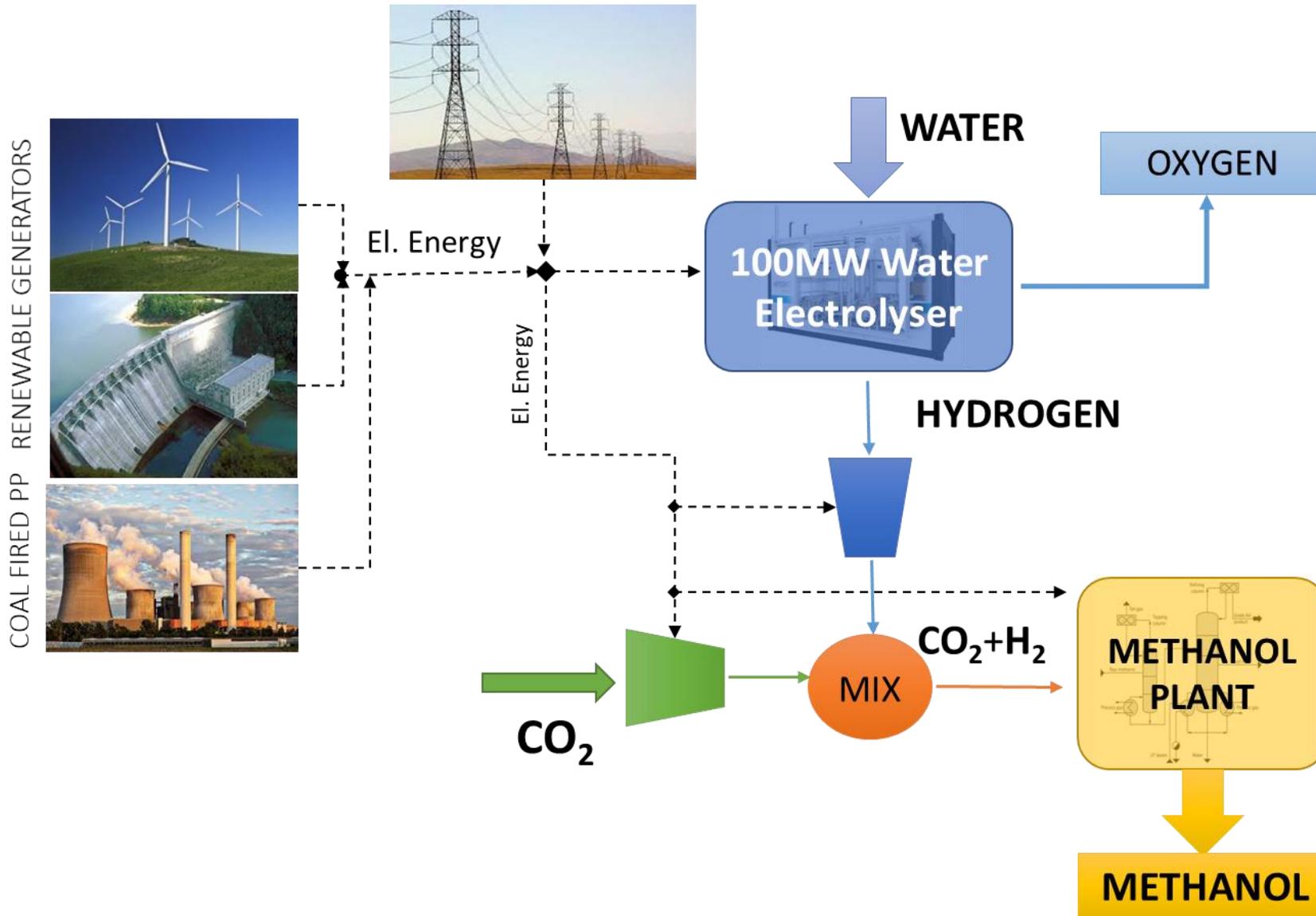
È una miscela di idrogeno e metano, contenente dal 5% al 30% di H₂ in volume

Quali vantaggi presenta?



- 1) Trasportabile con le stesse strutture del CH₄
- 2) Impiegabile in auto a CH₄ tradizionali
- 3) H₂ nella miscela migliora l'efficienza di combustione

Produzione di metanolo da idrogeno rinnovabile



Stoccaggio di idrogeno in forma di ammoniaca

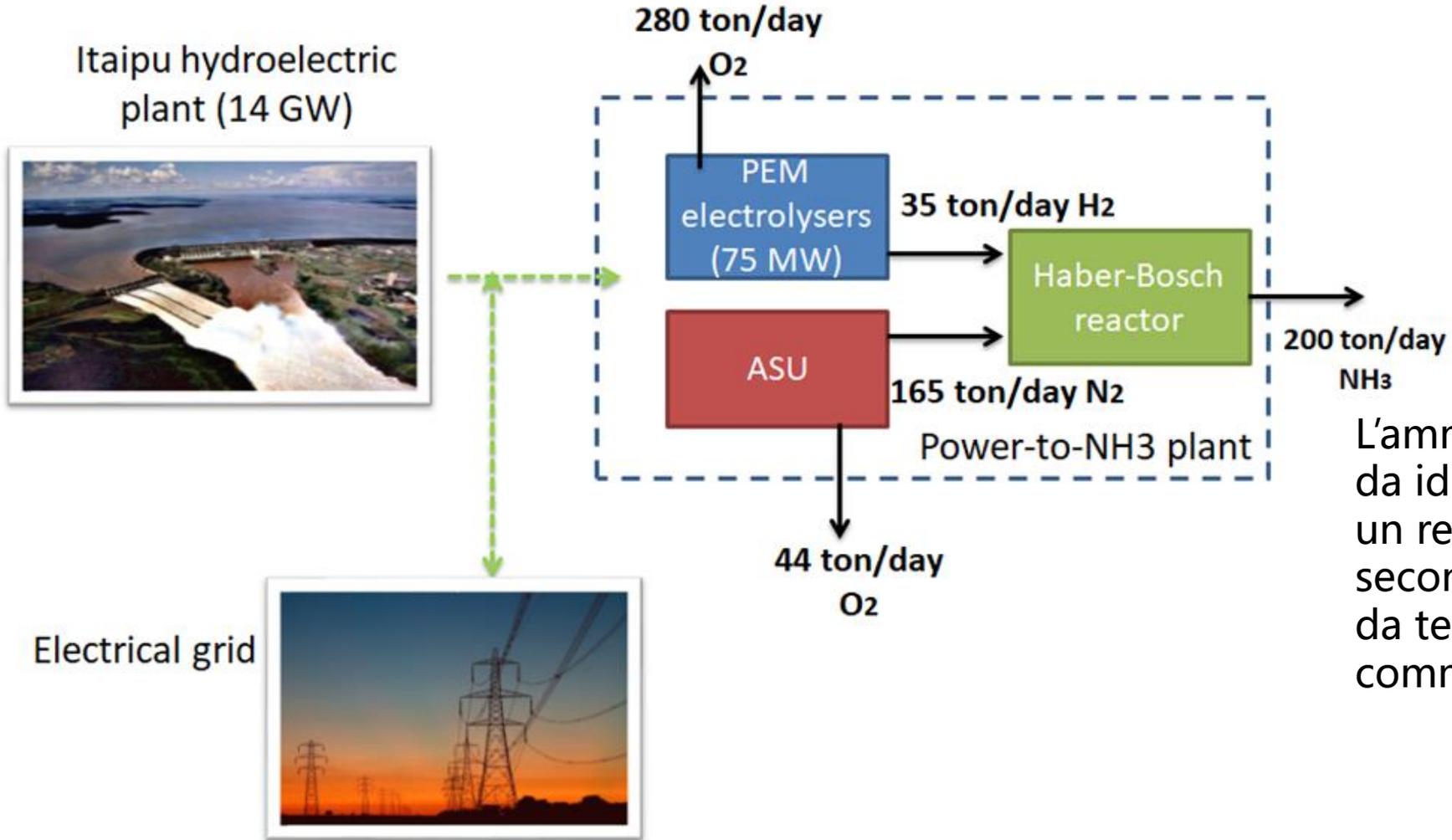
L'Ammoniaca (NH_3) è prodotta su larga scala nel mondo. Le tecnologie legate alla sua produzione, trasporto e distribuzione è molto sviluppata.

Il vantaggio dell'ammoniaca è che è facilmente trasportabile in forma liquida, cosa che diminuisce gli ingombri.

Confrontata con molti altri combustibili, l'ammoniaca non emette CO_2 durante la sua combustione.

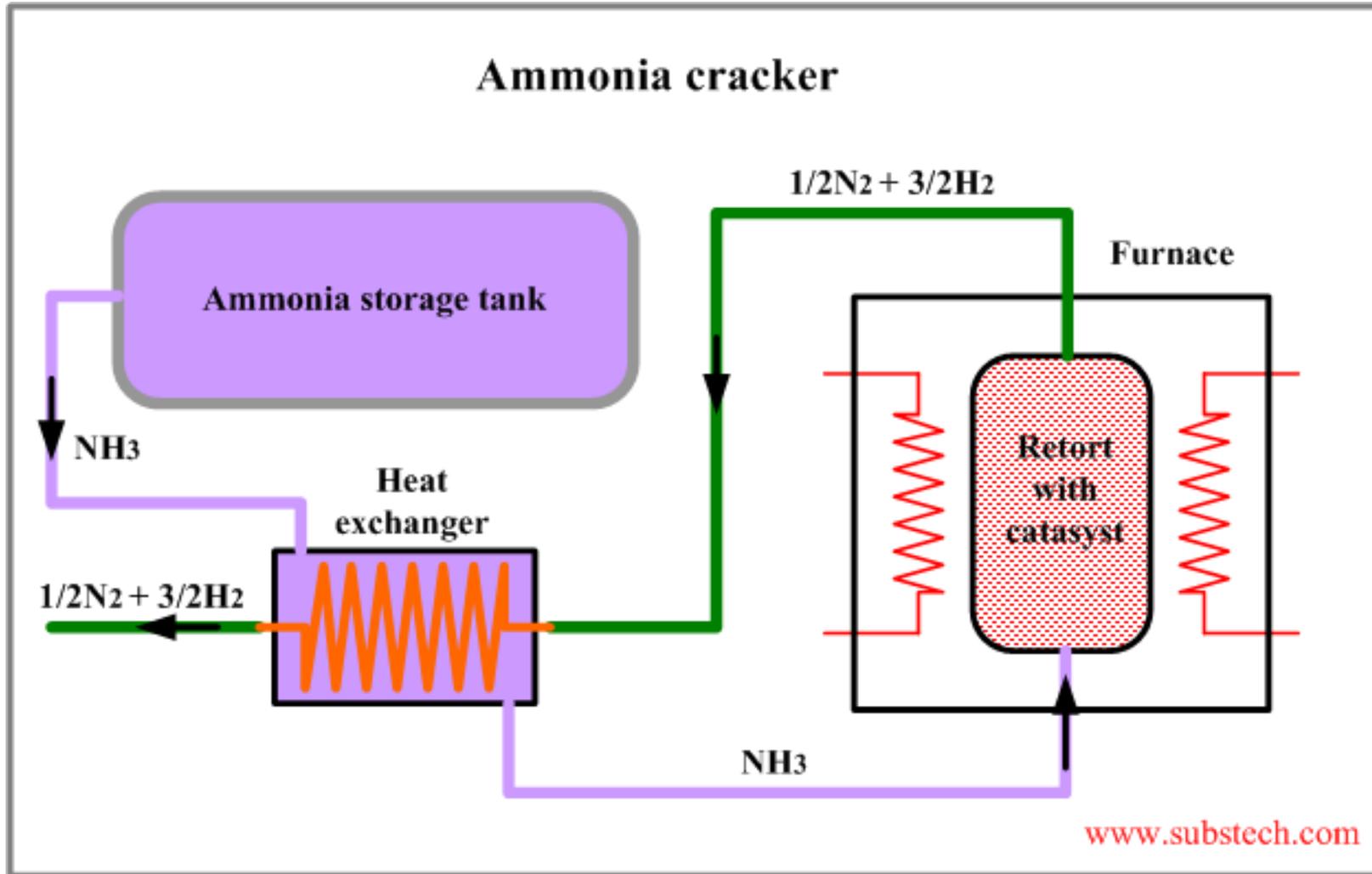
È un gas tossico in condizioni normali di temperatura e pressione.

Produzione di ammoniaca da energia rinnovabile



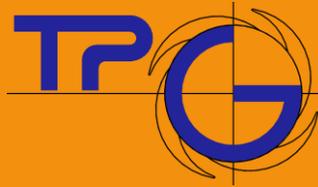
L'ammoniaca viene prodotta da idrogeno e da azoto in un reattore chimico, secondo un processo noto da tempo e commercialmente utilizzato.

Stoccaggio di idrogeno in forma di ammoniaca



L'ammoniaca, stoccata in serbatoi in forma liquida, viene poi inviata a un reattore di cracking, da cui si ricava idrogeno.

UniGe



Uso rinnovabili e accumuli energetici

Ing. Massimo Rivarolo, PhD

massimo.rivarolo@unige.it