

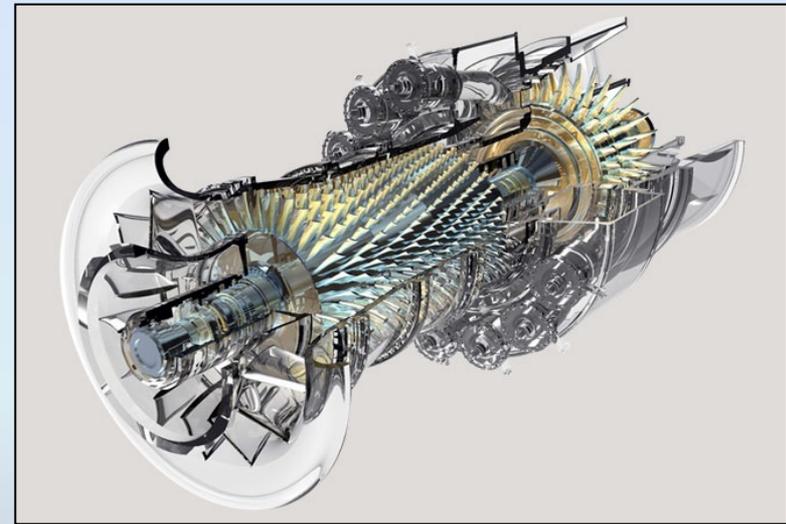


Università degli Studi di Napoli
"Parthenope"

Dipartimento di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Corso di

**Tecnologie per la
generazione di energia e
la mobilità**



Proff. Ivan Arsie, Elio Jannelli

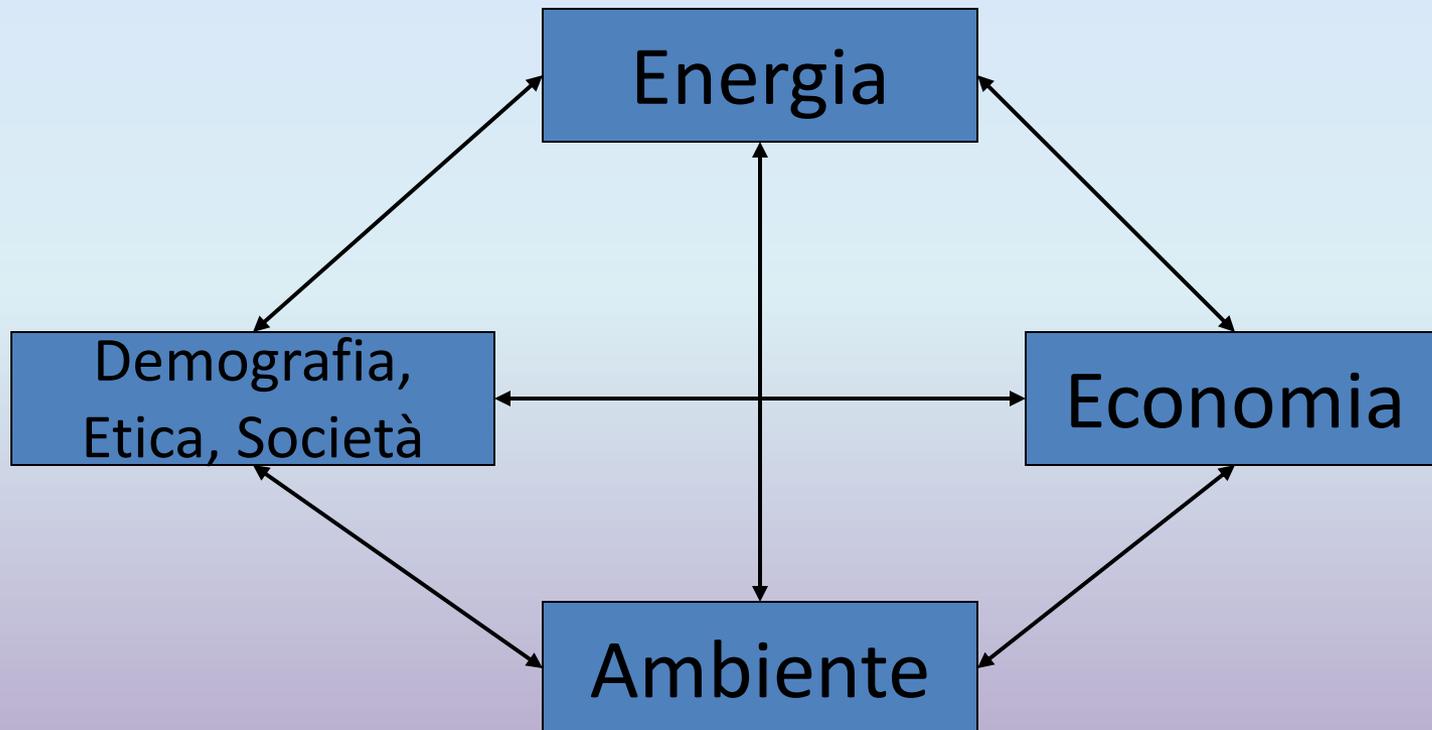


Energia e ambiente

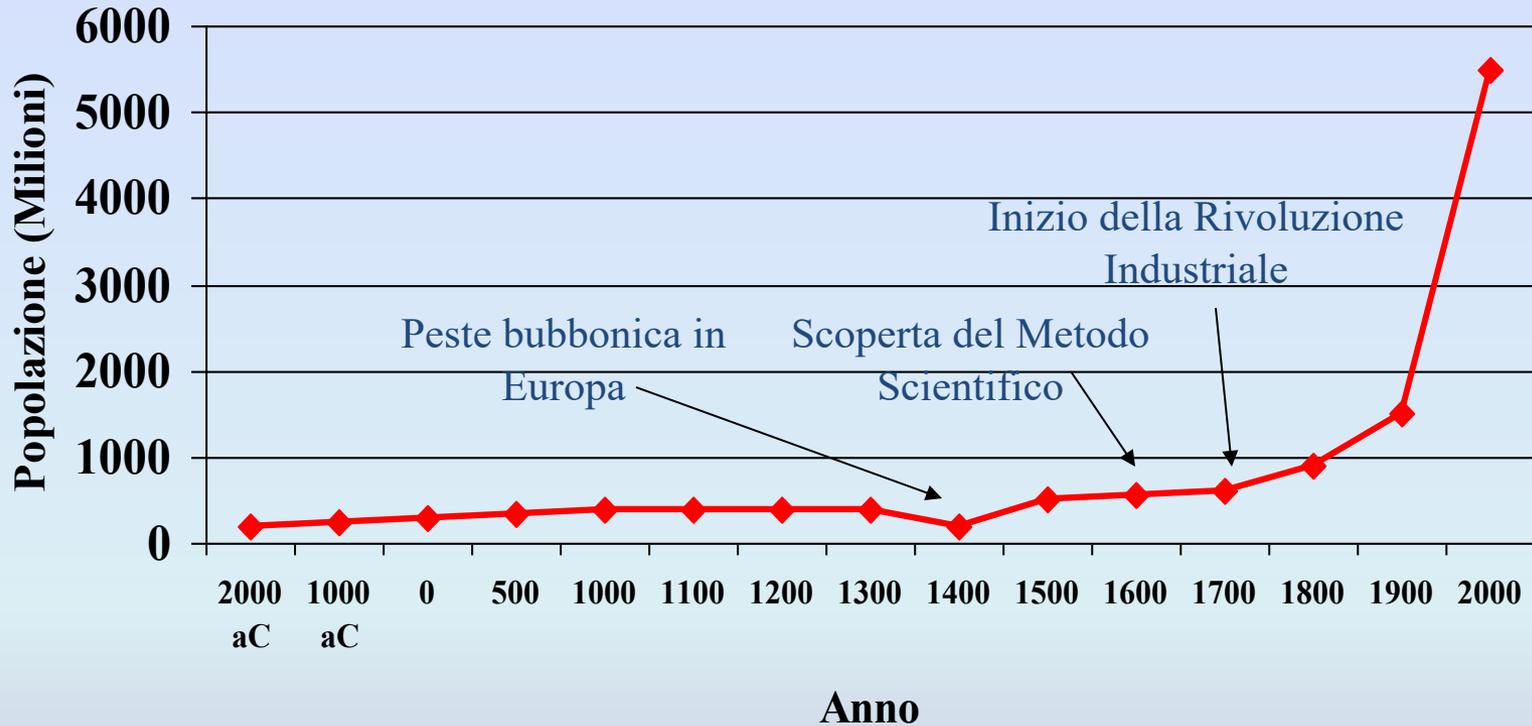


Energia, economia ed ambiente

Il tema dell'energia è direttamente collegato ai problemi demografici, economici ed ambientali, a loro volta strettamente interconnessi.

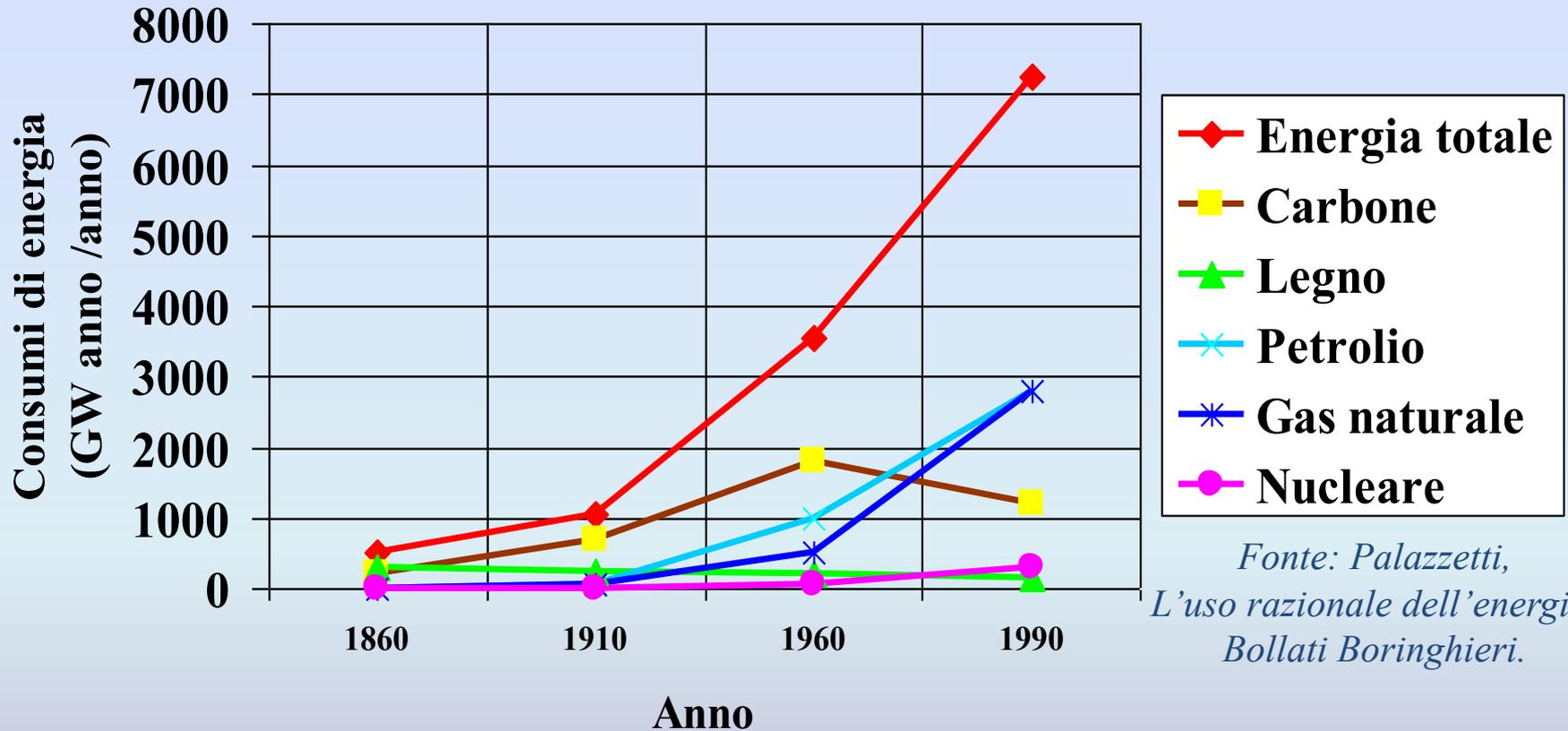


Crescita della Popolazione



- La popolazione mondiale, rimasta pressoché costante per molti secoli, a partire dal 1600 circa si è accresciuta con una legge di tipo esponenziale.
- Il progresso scientifico e la rivoluzione industriale hanno portato ad una riduzione della mortalità ed ad un crescente sviluppo economico e demografico.

Evoluzione dei consumi energetici



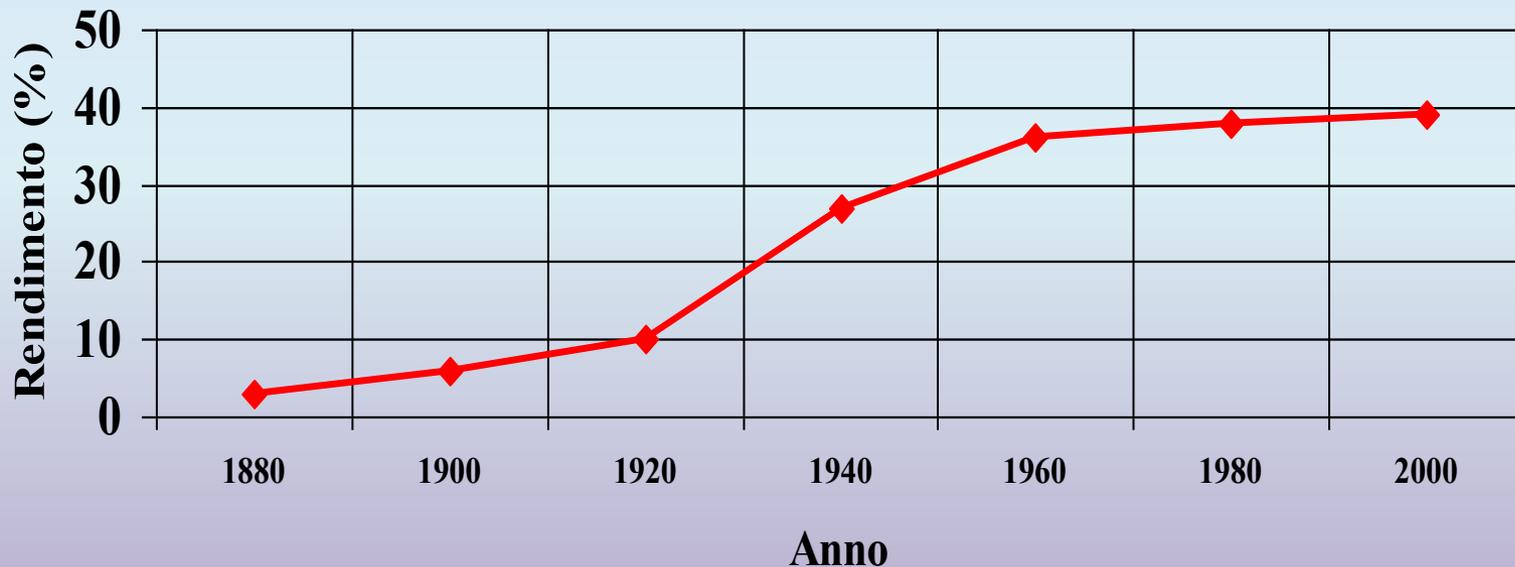
- Alla crescita demografica si è accompagnato un drastico aumento dei consumi di energia, che negli ultimi 150 anni sono cresciuti con legge di tipo quasi esponenziale.
- La crescita dei consumi totali è avvenuta con una graduale sostituzione delle fonti energetiche (legno - carbone - petrolio - gas naturale - nucleare), con scale di tempo dell'ordine del secolo.



Evoluzione dei rendimenti di conversione

Alla crescita dei consumi si è accompagnato un progressivo aumento dei rendimenti di conversione energetica.

Andamento del rendimento della produzione di energia elettrica negli Stati Uniti

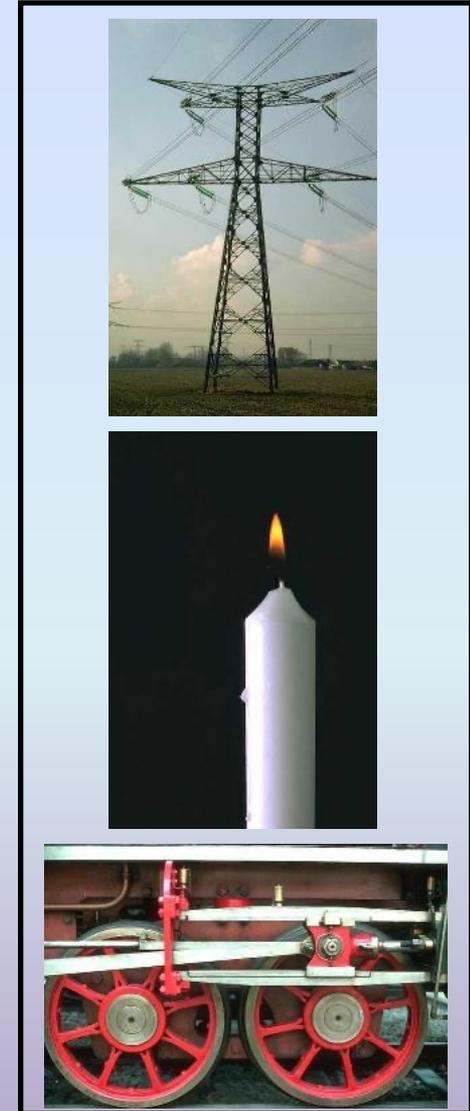


Fonte: Palazzetti, L'uso razionale dell'energia, Bollati Boringhieri.

Caratteristiche delle forme di energia

Le forme di energia **termica**, **meccanica** ed **elettrica** differiscono per:

- Meccanismi di conversione
- Disponibilità
- Tipologia di utilizzo
- Trasportabilità
- Capacità di stoccaggio
- Costi



Energia Termica

- L'energia termica è la parte della energia interna dei corpi trasferibile sotto forma di calore e rappresenta, a livello microscopico, la somma delle energie cinetiche e della energia di legame degli atomi e delle molecole.
- L'energia termica, le cui relazioni con le altre forme di energia sono studiate dalla termodinamica, è una forma di energia più disordinata o "degradata". Mentre è infatti possibile convertire interamente energia dalle altre forme in energia termica, non è possibile operare completamente la trasformazione inversa, come sancito dal Secondo Principio della Termodinamica.
- L'energia termica può essere facilmente accumulata, sia sotto forma di calore sensibile che di calore latente dei fluidi, ma non trasportata agevolmente a lunghe distanze.

Termica



Meccanica



Elettrica



Energia Meccanica

- L'energia meccanica è ampiamente utilizzata nei sistemi di trasporto, dove serve lavoro meccanico per muovere il mezzo. In questo caso, l'energia meccanica è in genere ottenuta dalla conversione della energia chimica di un combustibile attraverso un motore a combustione interna.
- La utilizzazione diretta dell'energia meccanica ottenuta da una macchina motrice per l'azionamento di macchinari nell'industria, a cui si faceva quasi esclusivo ricorso nel secolo passato, è oggi marginale, essendo stata sostituita dalla energia elettrica, che offre decisivi vantaggi in termini di facilità di trasporto.
- L'energia meccanica si presenta nelle forme di energia potenziale, legata alla posizione del corpo all'interno di un campo di forze conservativo, ed energia cinetica, che può essere di tipo traslazionale e rotazionale.

Termica



Meccanica



Elettrica



Energia Elettrica

- L'energia elettrica è una forma di energia che si manifesta a seguito delle forze dovute al movimento di cariche elettriche.
- L'energia elettrica presenta una grande versatilità, potendo essere trasportata a lunghe distanze e distribuita capillarmente. Una parte dell'energia viene in tal caso dissipata in energia termica, attraverso l'Effetto Joule. Buone prospettive per l'aumento della efficienza energetica nel trasporto sono offerte dagli studi sui fenomeni di superconduttività.
- L'energia elettrica non può essere facilmente accumulata: le batterie, che rappresentano la soluzione più diffusa, presentano ingombri, pesi e costi molto maggiori rispetto ad altre forme di accumulo energetico, quali quelle offerte dai combustibili (sotto forma di energia chimica) o dai bacini idroelettrici (come energia idraulica).

Termica



Meccanica

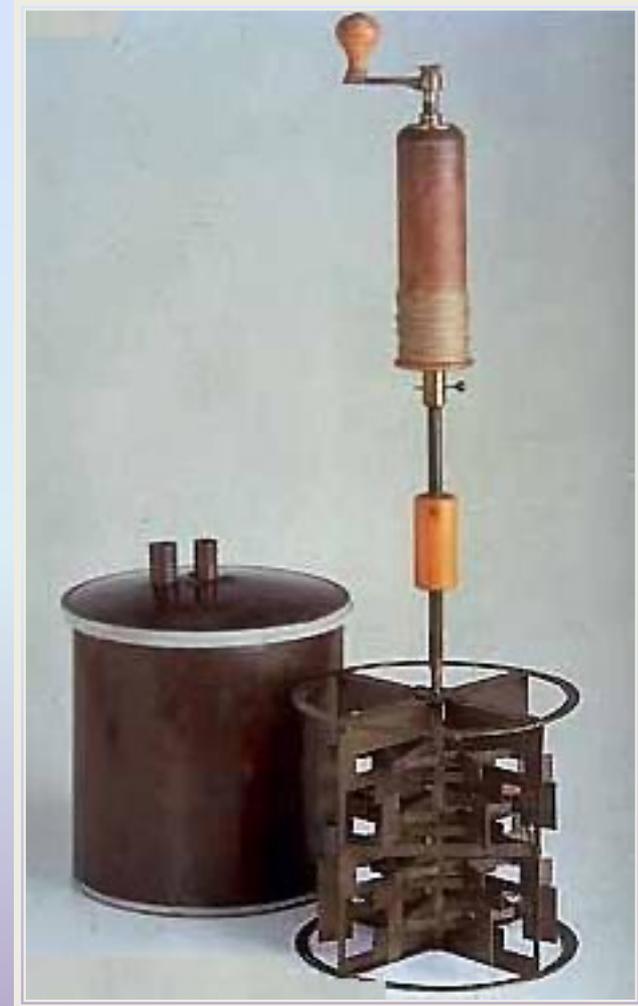


Elettrica

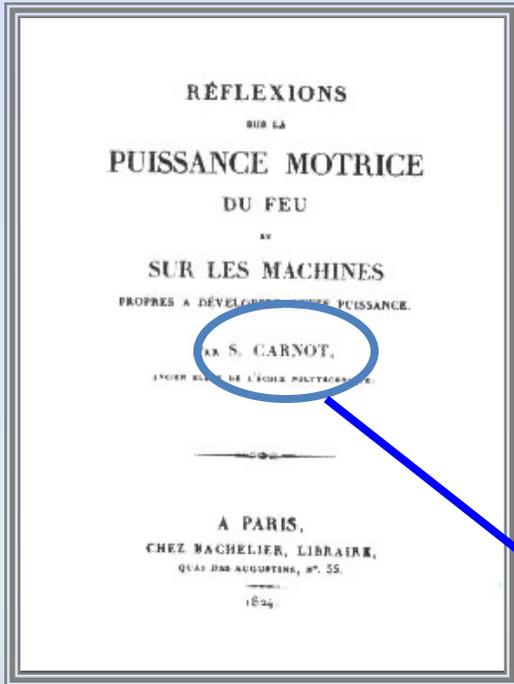


Equivalenza tra calore e lavoro

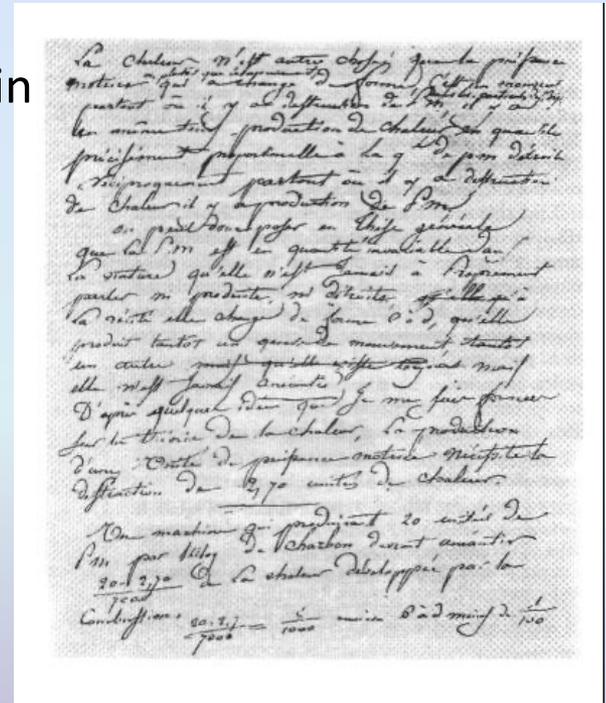
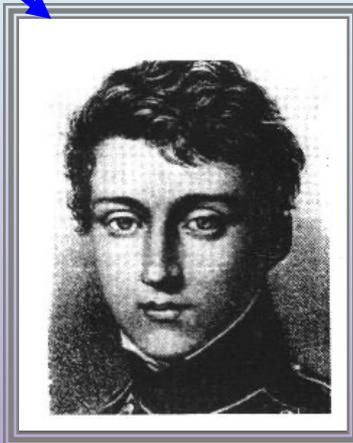
- Questa è la macchina con cui James Joule dimostrò la equivalenza tra calore e lavoro meccanico, nel 1854 (Primo principio della Termodinamica).
- Il Primo Principio sancisce la equivalenza tra calore e lavoro in quanto forme di energia, ma non stabilisce i criteri in base ai quali possono avvenire le trasformazioni spontanee.
- $1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ J} = 427 \text{ Kg}_f \text{ m}$



Il secondo principio della Termodinamica

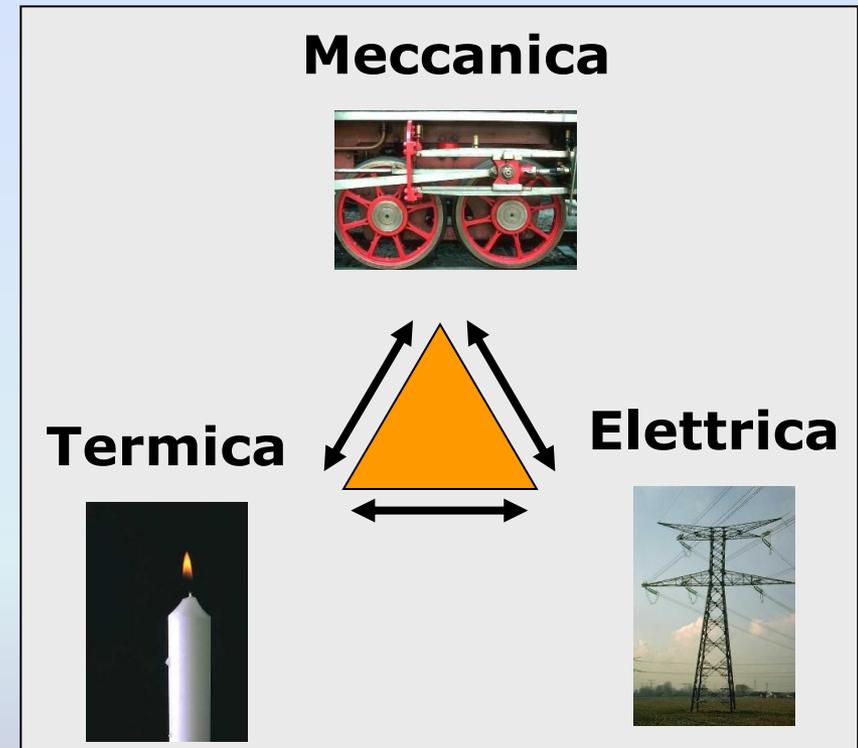


Nel 1824 Sadi Carnot scrisse le "Réflexions sur la Puissance Motrice du feu", in cui delineò le modalità di conversione del calore in lavoro nelle macchine termiche.



Conversioni tra diverse forme di energia

- In quanto forme di energia, l'energia termica, meccanica ed elettrica possono essere **convertite** da una forma all'altra.
- Le modalità di conversione sono regolate dal **Principio di conservazione dell'Energia** (generalizzazione del primo principio della Termodinamica) e dal **Secondo Principio della Termodinamica**.

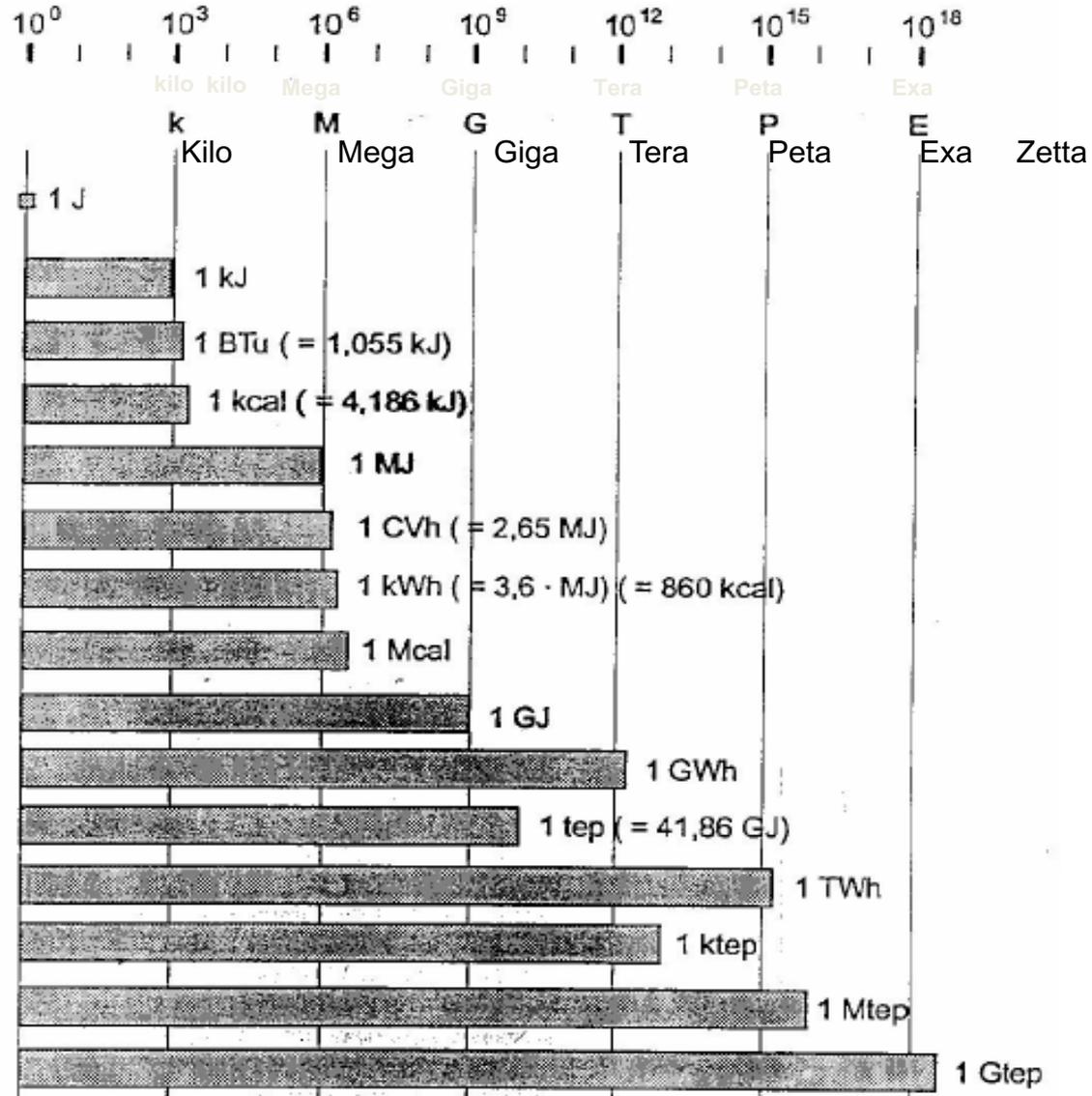


Conversioni energetiche

<i>Per ottenere</i>	<i>a partire da</i>	<i>Problemi ed implicazioni ambientali</i>
Energia Elettrica	Combustibili	Con le pile a combustibile. Costi elevati di impianto ed infrastrutture
Energia Elettrica	Energia radiante	Conversione fotovoltaica. Scarsa densita' di energia, disponibilita' discontinua, rendimenti piuttosto bassi.
Energia Meccanica	Energia Termica	Rilascio di calore a bassa temperatura (2' princ.Termod.). Possibile riutilizzo di calore scaricato a temperature piu' elevate (Cogenerazione); il rendimento termodinamico si riduce.
Energia Meccanica	Moto ondoso	Bassa densita' di energia.
Energia Meccanica	Maree	Densita' di energia sufficiente solo in pochi siti. Problemi di impatto ambientale degli impianti.
Energia Meccanica	Vento	Energia disponibile con sufficiente densita' e continuita' solo in pochi siti. Inquinamento acustico.
Energia Meccanica	Gradiente termico mari	Le differenze di temperatura sono limitate, ed i possibili rendimenti termodinamici sono molto bassi. Costi di impianto elevati.
Energia Meccanica	Energia Idraulica	Nei paesi sviluppati e' stata quasi del tutto utilizzata. Potenzialita' nei paesi in via di sviluppo.
Energia Termica	Combustibili	Le riserve non sono illimitate. Rilascio di CO ₂ - Aumento dell' effetto serra. Formazione di inquinanti gassosi (CO, NO _x , HC, particolato carbonioso, composti solforati)
Energia Termica	Fissione Nucleare	Formazione di scorie radioattive. Pericolo di incidenti, con rilascio di radioattivita'.
Energia Termica	Fusione Nucleare	Temperature ed energie di attivazione estremamente elevate. Si prevede che non si potra' giungere ad applicazioni industriali prima di alcuni decenni.
Energia Termica e Meccanica	Energia Geotermica	E' economicamente conveniente solo in siti di natura vulcanica.
Energia Termica e Meccanica	Energia radiante	Densita' di energia relativamente bassa. Disponibilita' discontinua.

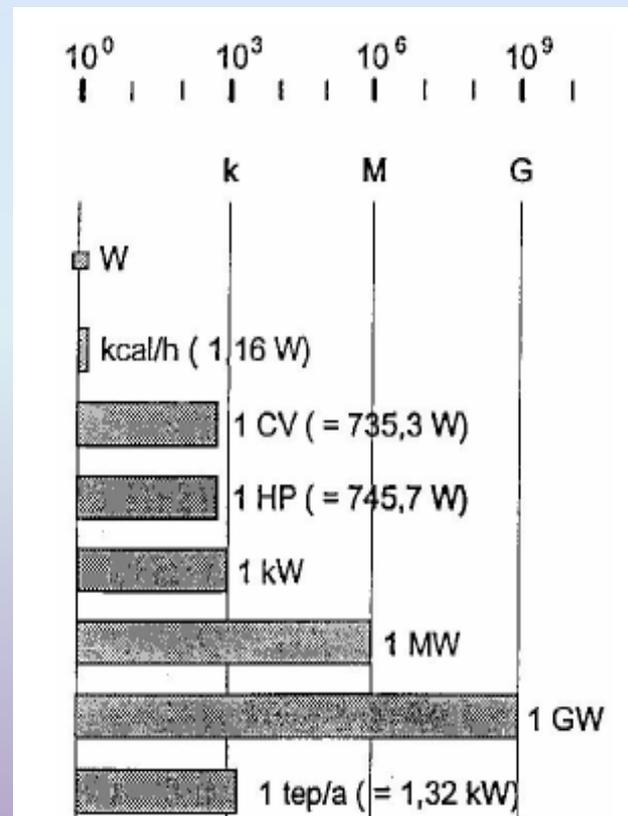
Unità di misura dell'energia

Nel SI l'unità di misura per l'energia (e il lavoro) è il joule (J) chiamata così in nome del fisico inglese James Prescott Joule.
 Spesso, altre unità di misura sono utilizzate nella tecnica →

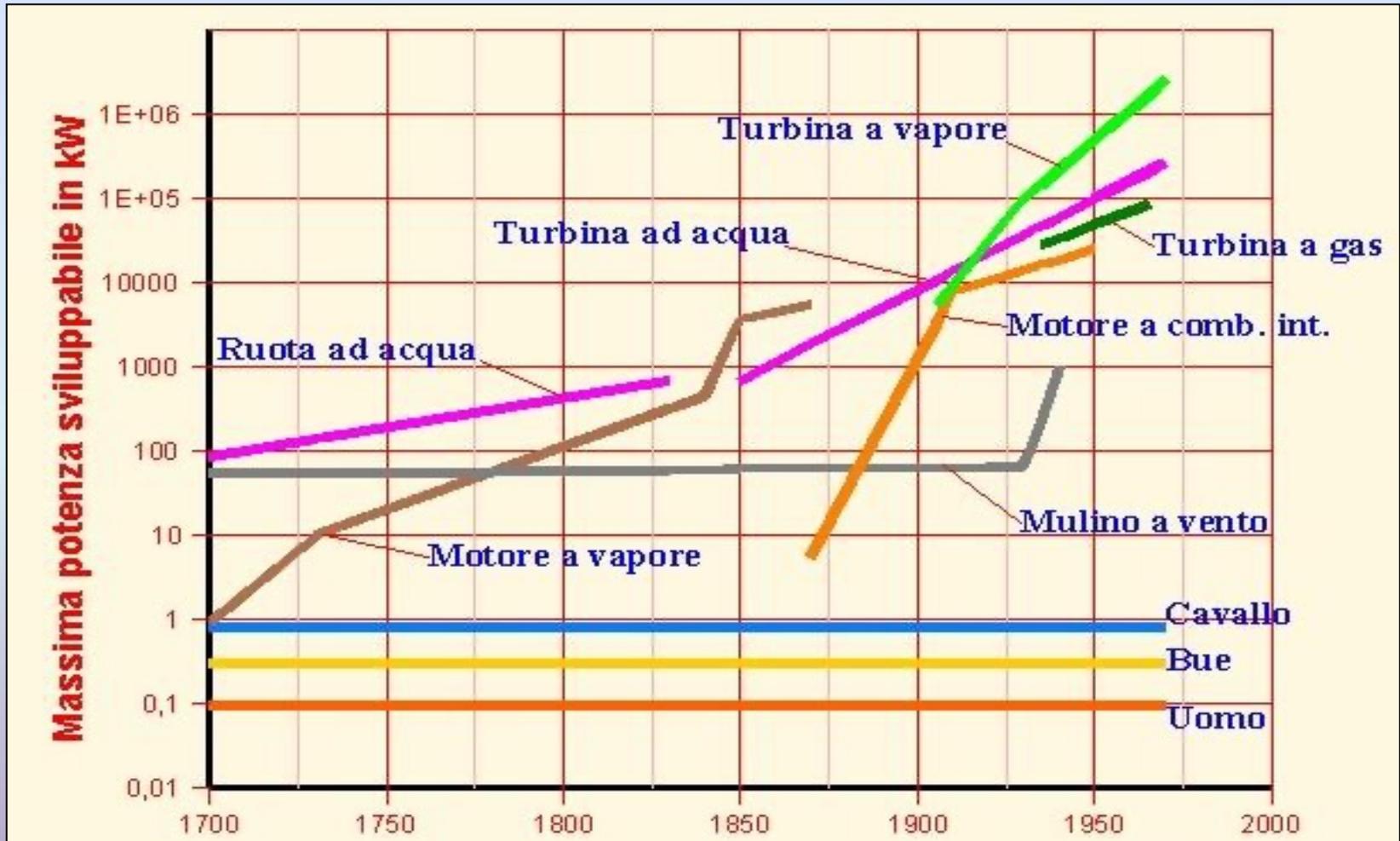


Unità di misura della potenza

- Il lavoro svolto nell'unità di tempo è definito potenza.
- Nel SI l'unità di misura della potenza è il watt (Watt).
- Spesso, altre unità di misura sono utilizzate nella tecnica:

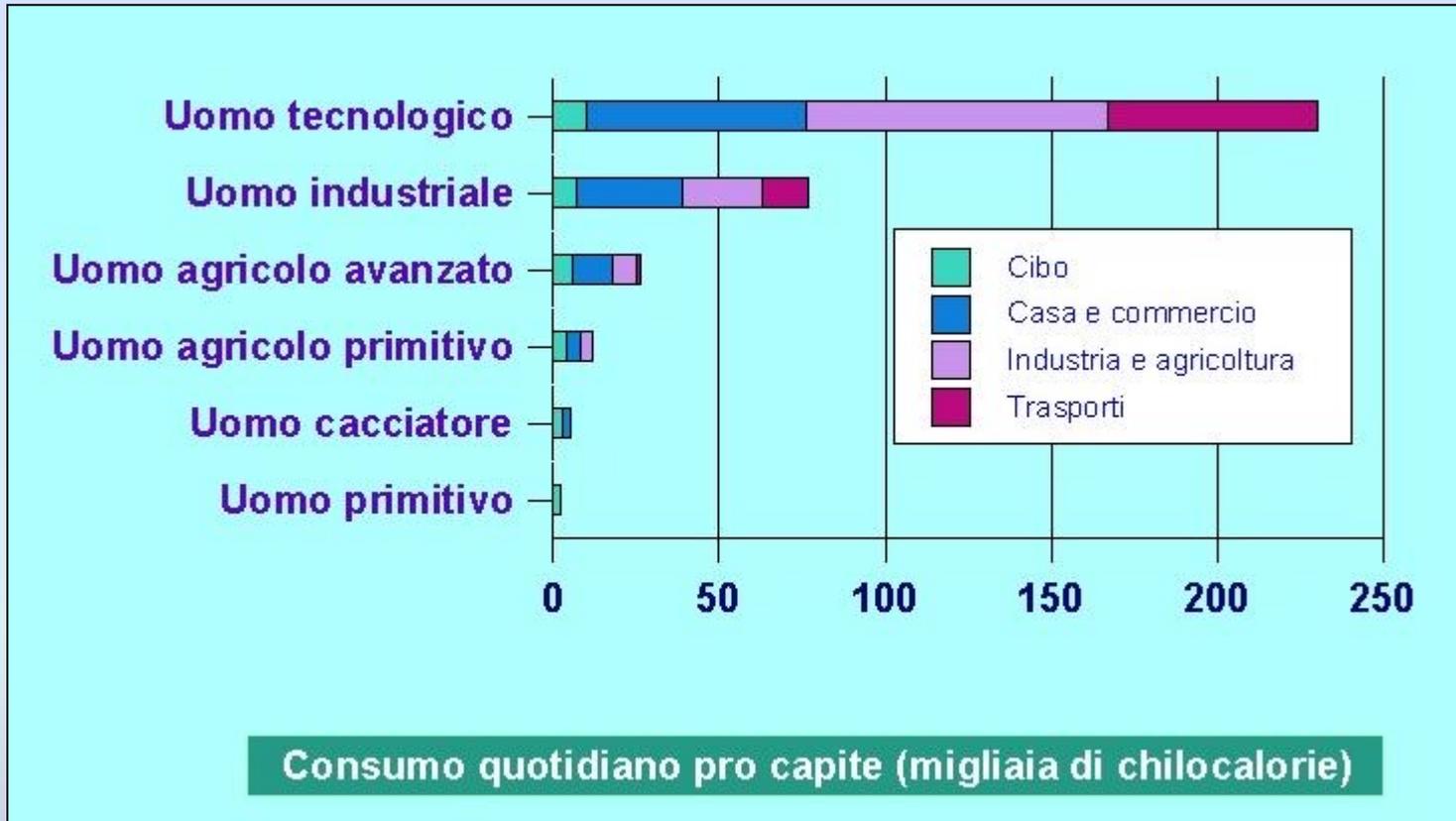


Evoluzione della potenza massima delle macchine motrici





Evoluzione dei consumi pro-capite



- L'evoluzione dall' uomo primitivo all'uomo tecnologico ha comportato una drastica crescita dei consumi pro-capite.
- I consumi destinati al cibo sono cresciuti in misura molto inferiore rispetto agli altri usi dell'energia.



Una semplice stima della evoluzione dei consumi energetici

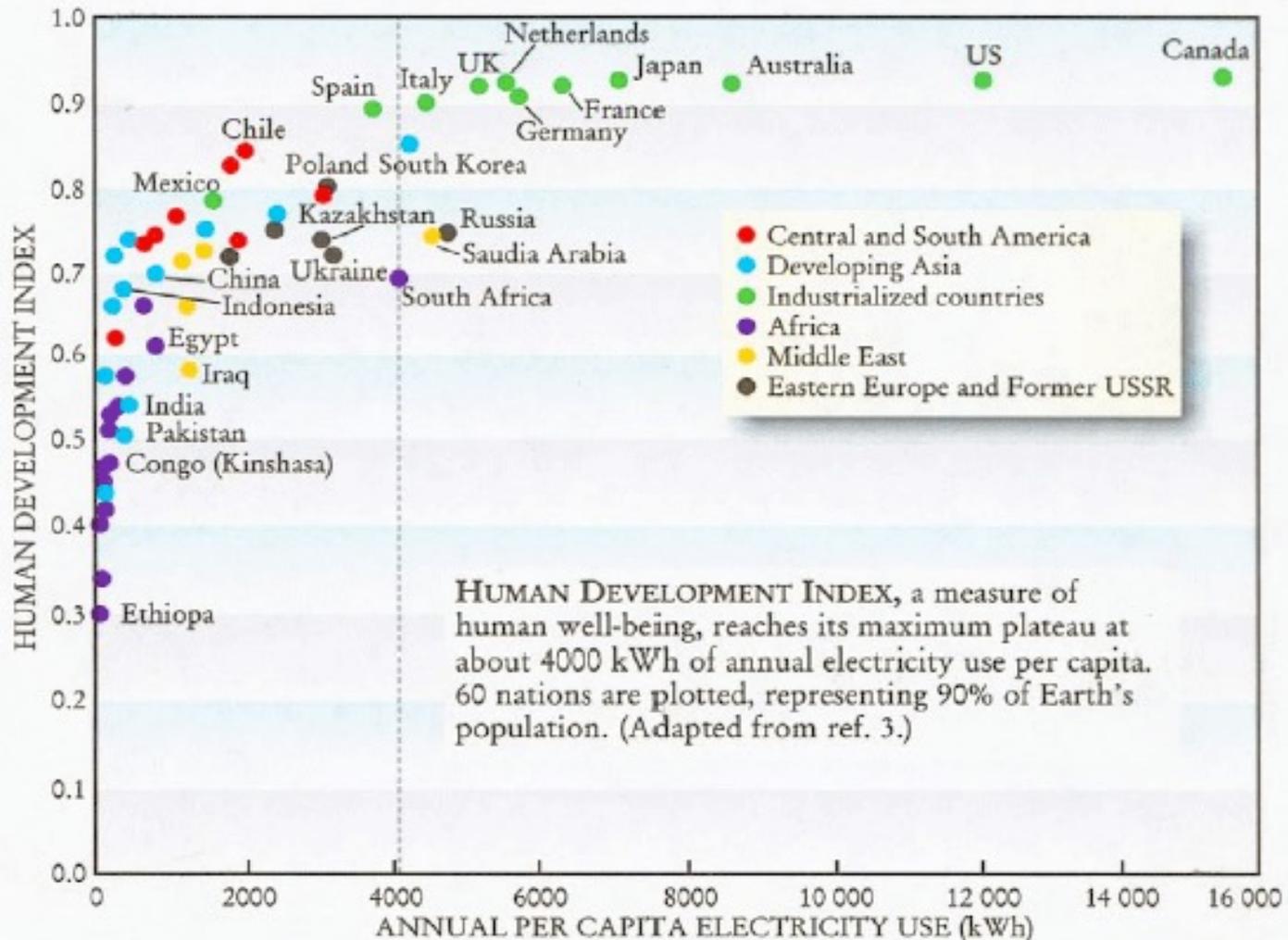
- Dalla comparsa dell'*homo sapiens*, si ritiene che circa 70 miliardi di abitanti abbiano vissuto sulla Terra.
- L'attuale popolazione (≈ 6 miliardi) costituirebbe circa l' 8% della umanità di tutti i tempi.
- Si può ritenere che un uomo attualmente viva il doppio dei suoi antenati e consumi ogni anno 10 volte più risorse naturali.

*Popolazione X Vita Media X Consumo pro-capite = **Energia consumata***

Secoli precedenti: $92 \times 1 \times 1 = 92$

Ultimo secolo: $8 \times 2 \times 10 = 160$

- Gli abitanti della Terra dell'ultimo secolo avrebbero consumato nella loro vita più risorse energetiche di tutti i loro predecessori nei 10.000 secoli precedenti.



Human development index vs. per capita electricity use for selected countries. Taken from S. Benka, *Physics Today* (April 2002), pg 39, and adapted from A. Pasternak, Lawrence Livermore National Laboratory rep. no. UCRL-ID-140773.

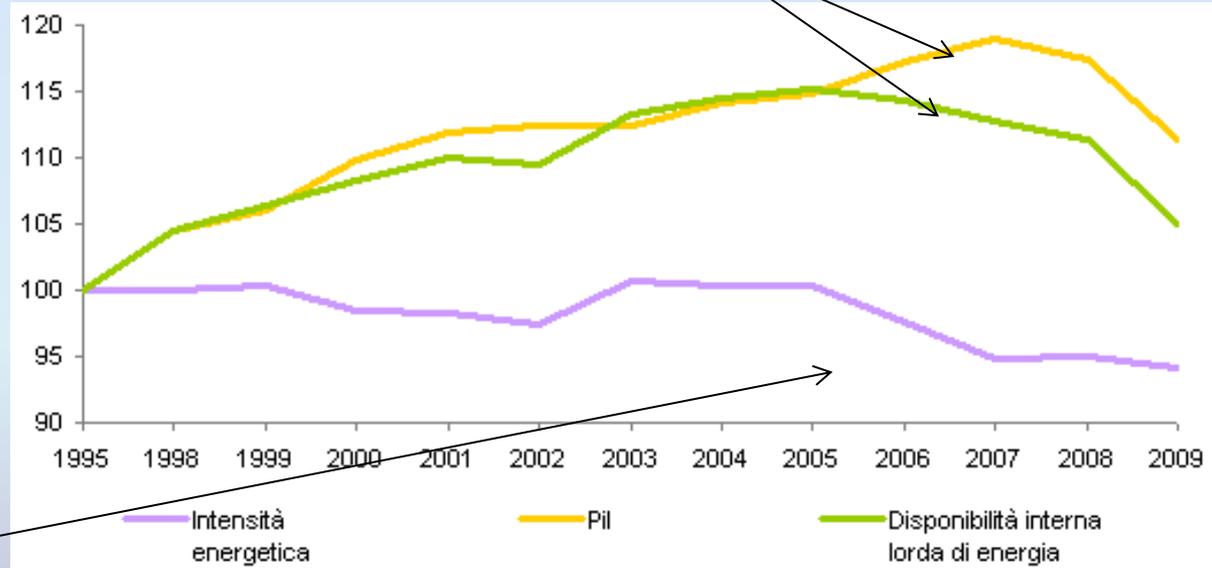


PIL, disponibilità di energia e intensità energetica

Il grafico analizza **dati italiani** a partire dal 1995, mostrando la notevole **correlazione** tra la **disponibilità di energia (tep)** ed il **prodotto interno lordo (PIL)**. Il loro rapporto (definito come **intensità energetica**) è assunto come indicatore di **sostenibilità dello sviluppo**.

Anche l'**intensità energetica** si è ridotta a partire dal 2005, attestandosi nel 2009 al di sotto dei 150 tep per milione di euro prodotto.

La disponibilità di energia, in crescita fino al 2005, è diminuita negli anni successivi, in particolare nel 2008 e 2009, mentre il PIL si è ridotto a partire dal 2007.



Disponibilità interna lorda di energia, Pil e intensità energetica.

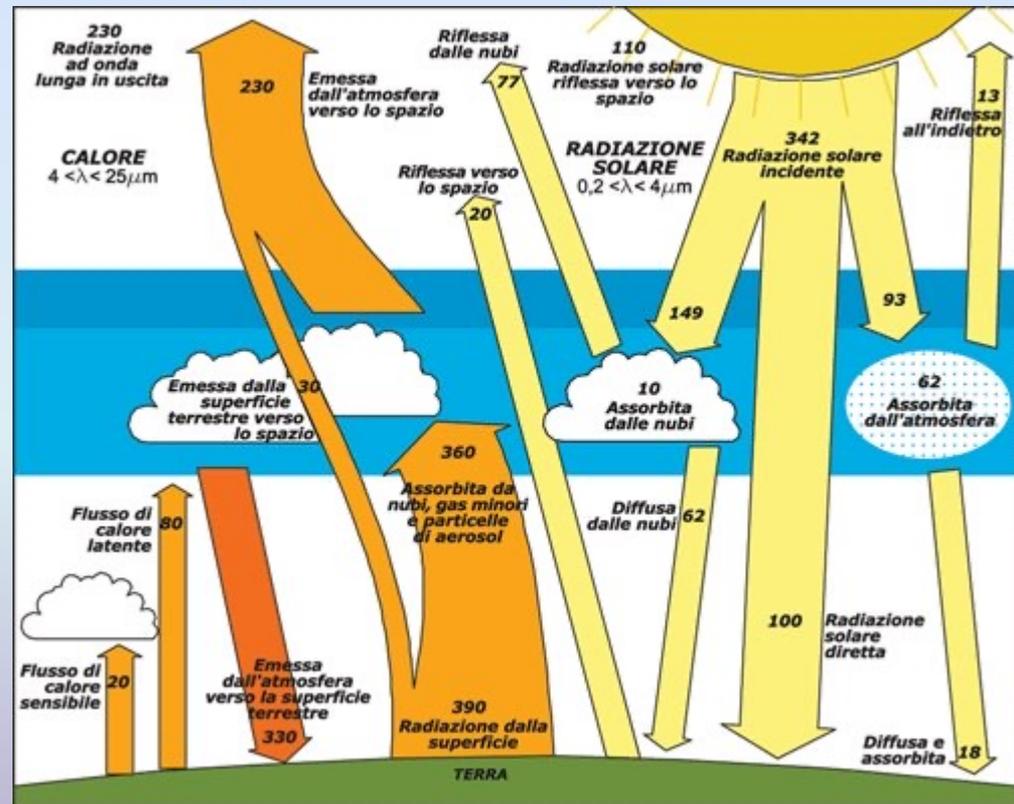
Numeri indice media 1995=100.

Fonte Istat, Conti economici nazionali; Elaborazione su dati Ministero dello sviluppo economico, Bilancio energetico nazionale.

http://www.istat.it/grafici_ra/sostenibilita/energia.html

I flussi di energia solare sulla Terra 2

- La **radiazione ad onda lunga** (calore terrestre) ha molta più difficoltà a riattraversare l'atmosfera e disperdersi nello spazio specie se aumenta la concentrazione di CO_2 o altri gas clima-alteranti (**effetto serra**).
- Attualmente è stato valutato in circa 3 W/m^2 il **surplus di flusso radiativo** intrappolato sulla superficie terrestre responsabile del **riscaldamento globale**.





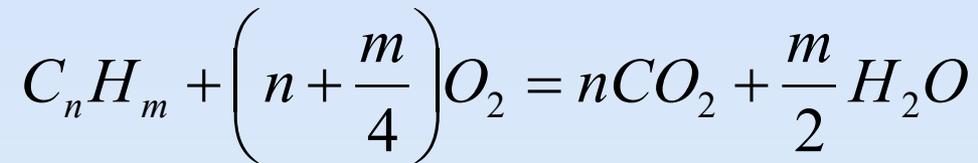
Effetto serra

- L'effetto serra è dovuto alla presenza di alcuni gas nell'atmosfera (in particolare CO_2 e CH_4), che determinano una parziale riflessione sulla Terra della radiazione infrarossa emessa dalla Terra stessa.
- La presenza dell'effetto serra produce quindi un aumento della [temperatura della superficie terrestre](#) rispetto a quella che si avrebbe per il solo effetto della radiazione solare incidente.
- La crescita eccessiva della quantità dei gas serra può produrre un aumento incontrollato della temperatura terrestre, con effetti potenzialmente catastrofici sul clima.



Effetto serra e combustibili

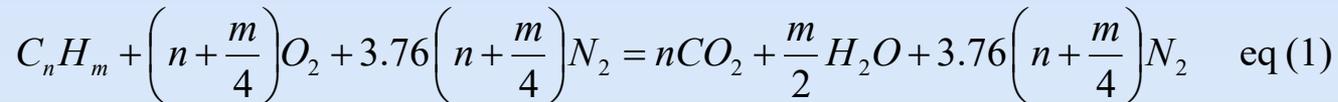
Combustione ideale di un idrocarburo C_nH_m



- La quantità di CO_2 prodotta dipende dal rapporto tra Carbonio e Idrogeno n/m .
- I seguenti combustibili danno contributi decrescenti all'effetto serra:
 - Carbone ($m=0$ per l'antracite e variabile con la [composizione](#))
 - Nafta pesante
 - Cherosene
 - Benzina ($n/m \approx 0.5$)
 - Metano ($n/m = 0.25$)
 - Idrogeno ($n/m = 0$) (l'idrogeno è da ritenersi un vettore energetico, in quanto non è disponibile allo stato naturale, ma richiede un consumo di energia per la sua produzione).



Reazione di combustione completa di un idrocarburo



Esempi:

- n=1; m=4 (Metano) $CH_4 + 2O_2 + 7.52N_2 = CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$
- n=8; m=18 (Ottano) $C_8H_{18} + \frac{25}{2} O_2 + 47N_2 = 8CO_2 + 9H_2O + 47N_2$



Rapporto stechiometrico aria/combustibile

$$\alpha_{st} = \frac{\text{massa stechiometrica d'aria eq(1)}}{\text{massa stechiometrica combustibile eq(1)}}$$
$$= \frac{(\text{moli d'aria eq(1)}) \times (\text{massa molecolare aria})}{(\text{moli di combustibile eq(1)}) \times (\text{massa molecolare combustibile})}$$

Esempi:

- n=1; m=4 (Metano) $\alpha_{st}|_{CH_4} = \frac{(2 + 7.52 \text{ mol}) \times (28.8 \text{ gr/mol})}{(1 \text{ mol}) \times (16 \text{ gr/mol})} = 17.1$
- n=8; m=18 (Ottano) $\alpha_{st}|_{C_8H_{18}} = \frac{(25/2 + 47 \text{ mol}) \times (28.8 \text{ gr/mol})}{(1 \text{ mol}) \times (114 \text{ gr/mol})} = 15$



Massa di anidride carbonica per unità di massa di combustibile

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ per kg di combustibile} &= \frac{\text{massa stechiometrica biossido di carbonio eq(1)}}{\text{massa stechiometrica combustibile eq(1)}} \\ &= \frac{(\text{moli biossido eq(1)}) \times (\text{massa molecolare biossido})}{(\text{moli di combustibile eq(1)}) \times (\text{massa molecolare combustibile})} \end{aligned}$$

Esempi:

• n=1; m=4 (Metano) $CO_2 \text{ per kg di } CH_4 = \frac{(1 \text{ mol}) \times (44 \text{ gr/mol})}{(1 \text{ mol}) \times (16 \text{ gr/mol})} = 2.75$

• n=8; m=18 (Ottano) $CO_2 \text{ per kg di } C_8H_{18} = \frac{(8 \text{ kmol}) \times (44 \text{ kg/kmol})}{(1 \text{ kmol}) \times (114 \text{ kg/kmol})} = 3.09$

Più alto perché il rapporto C/H è più alto



Massa di anidride carbonica per unità di energia di combustibile

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ per kJ di combustibile} &= \frac{\text{massa stechiometrica biossido di carbonio eq(1)}}{\text{potere calorifico inferiore combustibile eq(1)}} \\ &= \frac{(\text{moli biossido eq(1)}) \times (\text{massa molecolare biossido})}{(\text{massa di combustibile eq(1)}) \times (\text{potere calorifico inferiore combustibile})} \end{aligned}$$

Esempi:

• n=1; m=4 (Metano) CO_2 per kJ di $CH_4 = \frac{(1 \text{ kmol}) \times (44 \text{ kg/kmol})}{(16 \text{ kg}) \times (50050 \text{ kJ/kg})} = 5.5 \cdot 10^{-5} \text{ kg / kJ} = 55 \text{ mg / KJ}$

• n=8; m=18 (Ottano) CO_2 per kJ di $C_8H_{18} = \frac{(8 \text{ kmol}) \times (44 \text{ kg/kmol})}{(114 \text{ kg}) \times (44343 \text{ kJ/kg})} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ kg / kJ} = 70 \text{ mg / KJ}$

↓
Più alto perché il rapporto C/H è più alto



Massa di acqua per unità di massa di combustibile

$$H_2O \text{ per kg di combustibile} = \frac{\text{massa stechiometrica acqua eq(1)}}{\text{massa stechiometrica combustibile eq(1)}}$$
$$= \frac{(\text{moli acqua eq(1)}) \times (\text{massa molecolare acqua})}{(\text{moli di combustibile eq(1)}) \times (\text{massa molecolare combustibile})}$$

Esempi:

• n=1; m=4 (Metano) $H_2O \text{ per kg di } CH_4 = \frac{(2 \text{ mol}) \times (18 \text{ gr/mol})}{(1 \text{ mol}) \times (16 \text{ gr/mol})} = 2.25$

• n=8; m=18 (Ottano) $H_2O \text{ per kg di } C_8H_{18} = \frac{(9 \text{ kmol}) \times (18 \text{ kg/kmol})}{(1 \text{ kmol}) \times (114 \text{ kg/kmol})} = 1.42$

Più basso perché il rapporto C/H è più basso



Densità di energia

Batterie

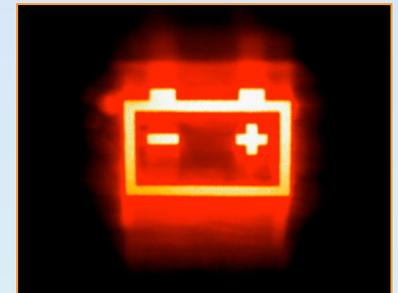
	Densità di energia per unità di massa (kJ/kg)	Densità di energia per unità di volume (kJ/l)
Benzina	44000	33000
Idrogeno	120000	10.8
Supercap	18	23
Batterie (Li-ion)	432	889
Batterie (Ni-Mh)	216	605
Batterie (Ni-Cd)	161	282
Batterie (Pb)	107	275
Pannelli fotovoltaici	Densità di potenza per unità di superficie (kW/m ²)	
	0.08-0.15	-



Issues of EV: Energy density of batteries vs liquid fuels



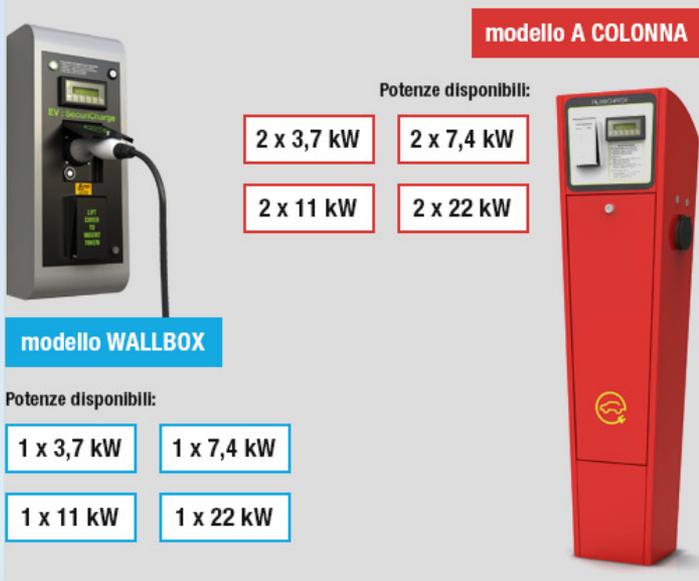
	kWh/kg	%	kWh/m ³	%
Liquid Fuel	11.7	100,00	9.17	100,00
Lead-Acid	0.0297	0,25	0.076	0,83
Li-Ion	0.125	1,07	0.247	2,69



Considering that, in the average, only 25% of fuel chemical energy can be converted in mechanical energy:

	kWh/kg	%	kWh/kg	%
Liquid Fuel	2.92	100,00	2.29	100,00
Lead-Acid	0.0297	1,00	0.076	3.32
Li-Ion	0.125	4,28	0.247	10.8

Issues of EV: recharge



Power (energy per unit time) in input during «recharge»:

3.7-22 kW

Fast DC recharge:
about 100 kW

MJ/kg	42
Density kg/dm ³	0,75
MJ/Liters	33,33
l/s	0,33
kg/s	0,25
MW	10.5



Fonti di Energia



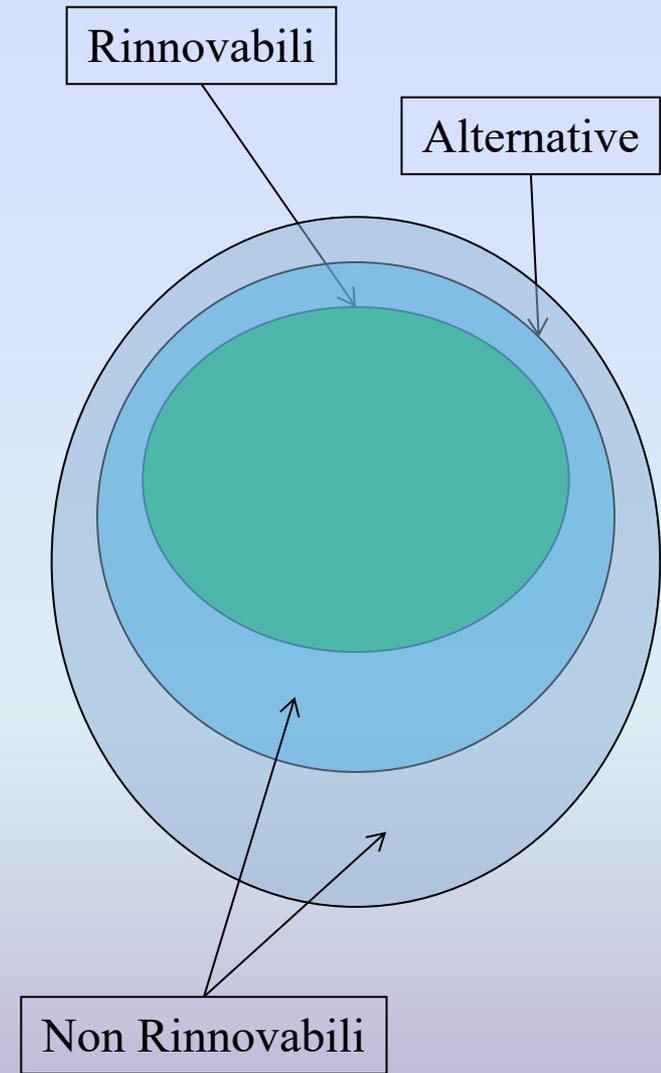
Fonti di Energia non rinnovabili

- Si definiscono energie "**non rinnovabili**":
 - quelle caratterizzate da **lunghi periodi di formazione** di molto superiori a quelli di consumo attuale (in particolare fonti fossili quali **petrolio, carbone, gas naturale**);
 - quelle presenti in **riserve non inesauribili** sulla scala dei tempi umani (in particolare l'isotopo 235 dell'**uranio**, l'elemento attualmente più utilizzato per produrre energia nucleare), e quindi **limitate nel futuro**.



Fonti di Energia alternative

- Per fonte di **energia alternativa** si intende un modo di ottenere energia elettrica che **non richieda l'utilizzo dei combustibili fossili**.
- Le fonti di energia alternativa comprendono quindi una classe più ampia rispetto alle energie rinnovabili.
- Una differenza sostanziale ad esempio è la presenza fra le fonti alternative dell'energia nucleare, che è una fonte non rinnovabile.





Fonti di Energia rinnovabili

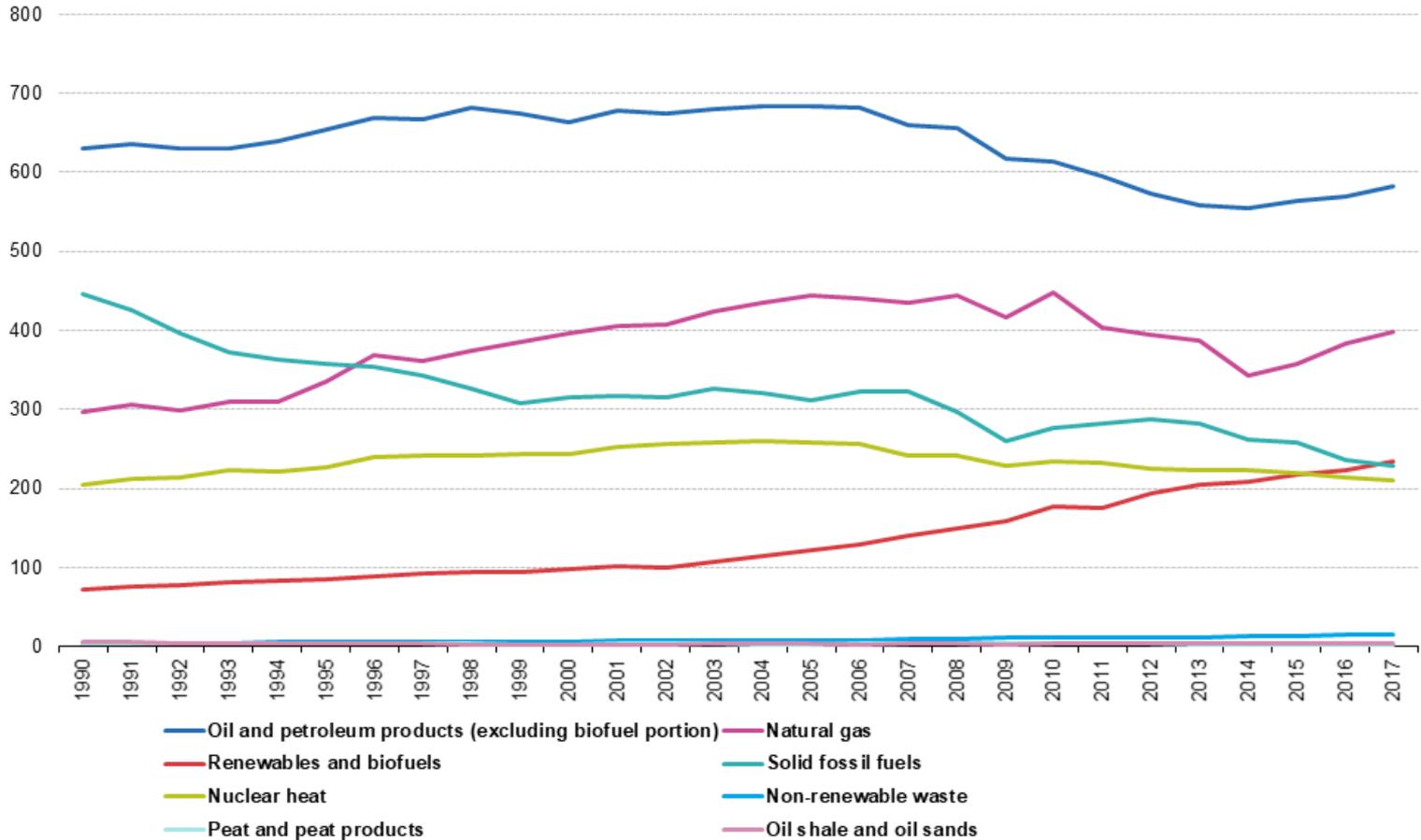
- Si definiscono **energie rinnovabili** quelle forme di energia generate da fonti che per loro caratteristica intrinseca **si rigenerano o non sono "esauribili" nella scala dei tempi "umani"**.
- L'utilizzo delle energie rinnovabili quindi **non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future**.
- Sono dunque generalmente considerate "fonti di energia rinnovabile" l'energia **solare, eolica, idrica, del mare, geotermica**.





Gross inland energy consumption by fuel, EU-28, 1990-2017

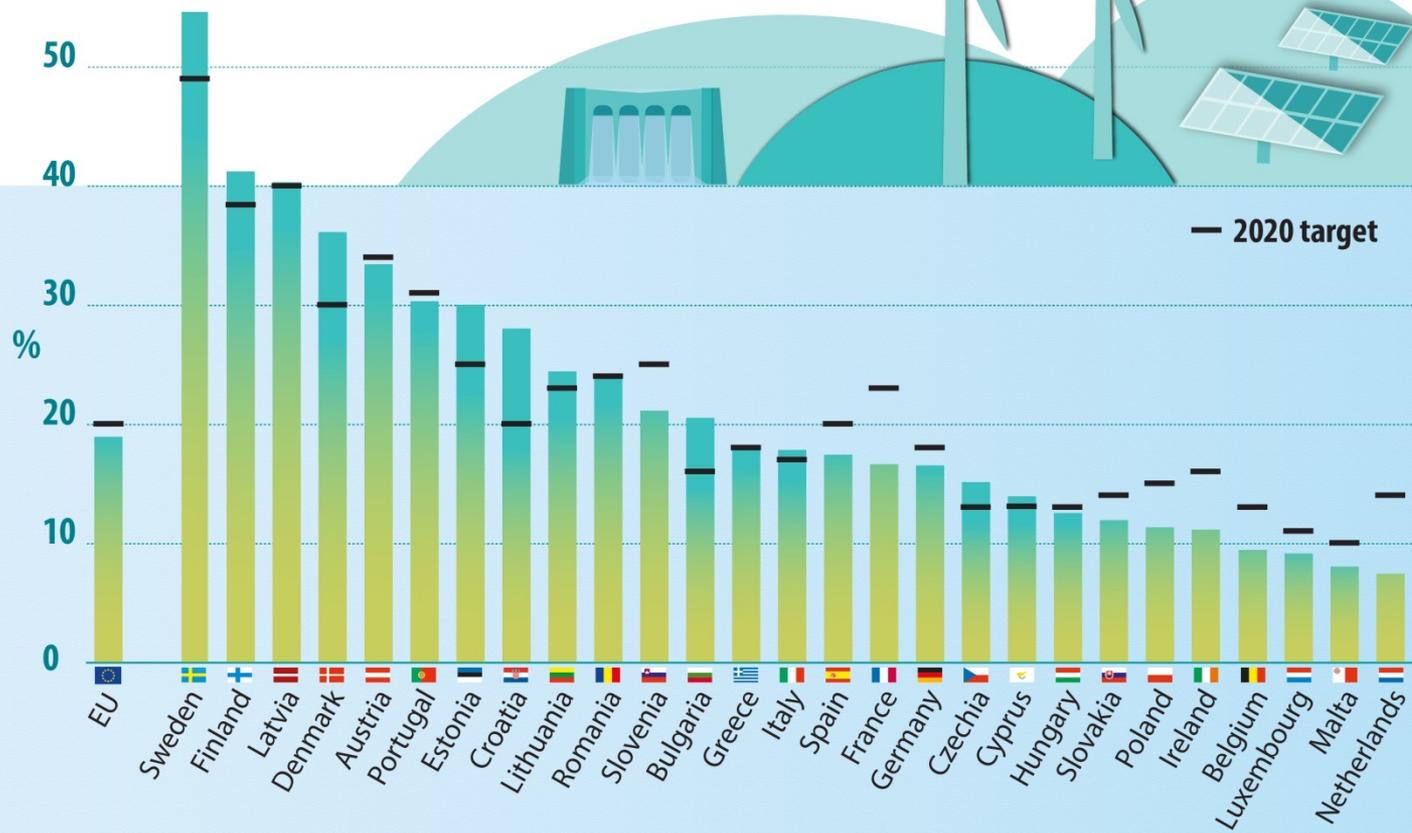
(million tonnes of oil equivalent)



Source: Eurostat - <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy>

Share of energy from renewable sources in the EU Member States

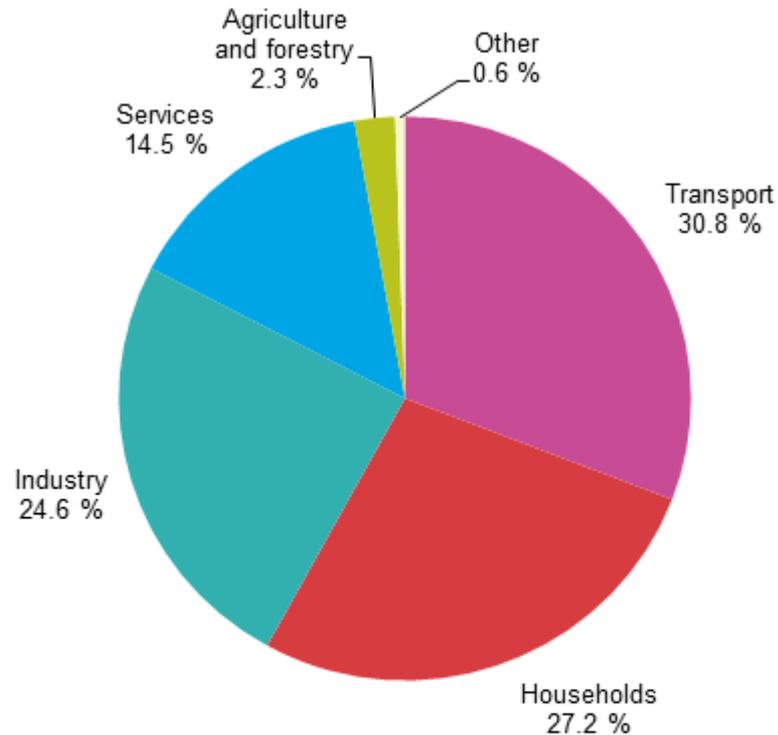
(2018, in % of gross final energy consumption)





Final energy consumption by sector, EU-28, 2017

(% of total, based on tonnes of oil equivalent)

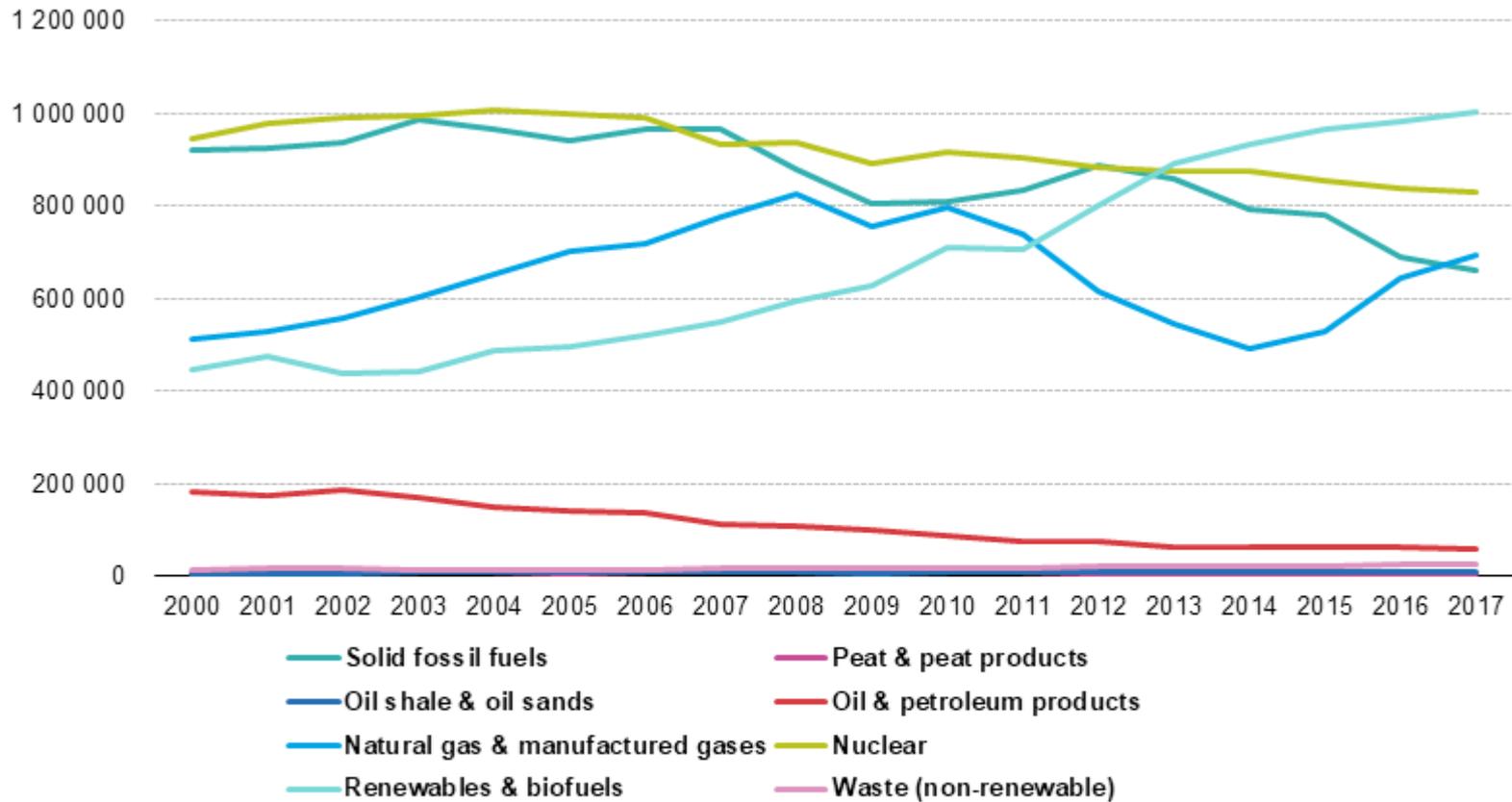


Source: Eurostat - <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy>



Gross electricity production by fuel, EU-28, 2000-2017

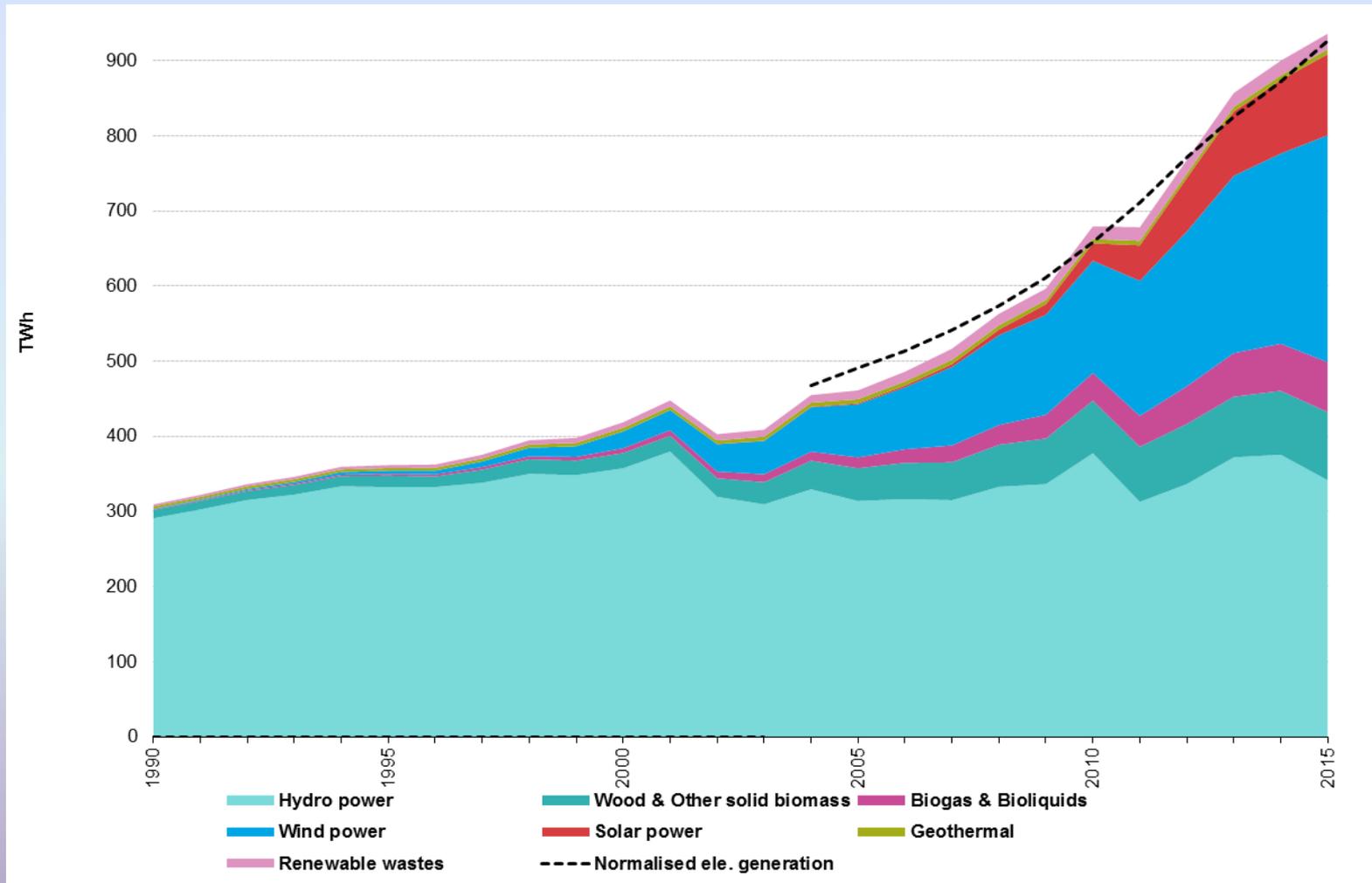
(GWh)



Source: Eurostat - <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy>

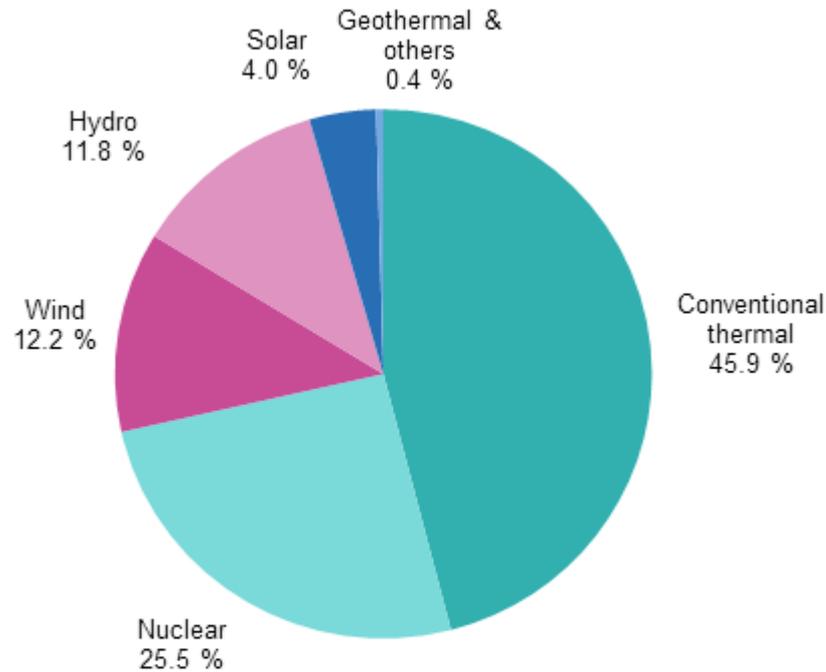


Gross electricity generation from Renewable Sources EU-28





Electricity production by source, EU-28, 2018
(%)



Source: Eurostat - <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy>



Existing Capacity by Energy Source, 2018 (Megawatts)

Source: U.S. Energy Information Administration

Energy Source	Facility Type	Number of Generators	Generator Nameplate Capacity	Net Summer Capacity	Net Winter Capacity
Coal	Utility Scale	738	264,072.5	242,785.6	244,283.9
Petroleum	Utility Scale	3,647	37,028.5	32,218.2	35,305.5
Natural Gas	Utility Scale	5,952	537,292.1	470,236.9	505,754.0
Other Gases	Utility Scale	97	2,894.4	2,543.9	2,585.0
Nuclear	Utility Scale	98	104,270.2	99,432.9	101,689.8
Hydroelectric Conventional	Utility Scale	4,041	79,911.6	79,871.8	79,264.3
Wind	Utility Scale	1,316	94,970.5	94,417.7	94,522.1
Solar Photovoltaic	Utility Scale	3,369	30,464.1	30,120.5	29,620.2
Solar Thermal	Utility Scale	19	1,774.6	1,757.9	1,581.8
Wood and Wood-Derived Fuels	Utility Scale	346	9,849.3	8,694.6	8,805.9
Geothermal	Utility Scale	170	3,806.0	2,444.3	2,776.6
Other Biomass	Utility Scale	1,959	5,713.7	5,038.6	5,103.1
Hydroelectric Pumped Storage	Utility Scale	153	21,871.3	22,830.2	22,689.6
Other Energy Sources	Utility Scale	213	2,569.1	2,346.7	2,383.9
Total	Utility Scale	22,118	1,196,487.9	1,094,739.8	1,136,365.7
Small Scale Photovoltaic	Small Scale	--	--	19,547.1	--
Estimated Total Photovoltaic	Utility and Small Scale	--	--	49,667.6	--
Estimated Total Solar	Utility and Small Scale	--	--	51,425.5	--



2008 through 2018 (Btu per Kilowatthour)

Year	Coal	Petroleum	Natural Gas	Nuclear
2008	10378	11015	8305	10452
2009	10414	10923	8160	10459
2010	10415	10984	8185	10452
2011	10444	10829	8152	10464
2012	10498	10991	8039	10479
2013	10459	10713	7948	10449
2014	10428	10814	7907	10459
2015	10495	10687	7878	10458
2016	10493	10811	7870	10459
2017	10465	10834	7812	10459
2018	10514	11095	7822	10455

Coal includes anthracite, bituminous, subbituminous and lignite coal. Waste coal and synthetic coal are included starting in 2002. Petroleum includes distillate fuel oil (all diesel and No. 1 and No. 2 fuel oils), residual fuel oil (No. 5 and No. 6 fuel oils and bunker C fuel oil, jet fuel, kerosene, petroleum coke, and waste oil.

Notes:

Included in the calculation for coal, petroleum, and natural gas average operating heat rate are electric power plants in the utility and independent power producer sectors.

Combined heat and power plants, and all plants in the commercial and industrial sectors are excluded from the calculations.

The nuclear average heat rate is the weighted average tested heat rate for nuclear units as reported on the Form EIA-860.

Sources: U.S. Energy Information Administration, Form EIA-923, "Power Plant Operations Report," and predecessor form(s) including U.S. Energy Information Administration, Form EIA-906, "Power Plant Report;" and Form EIA-920, "Combined Heat and Power Plant Report;" Form EIA-860, "Annual Electric Generator Report."

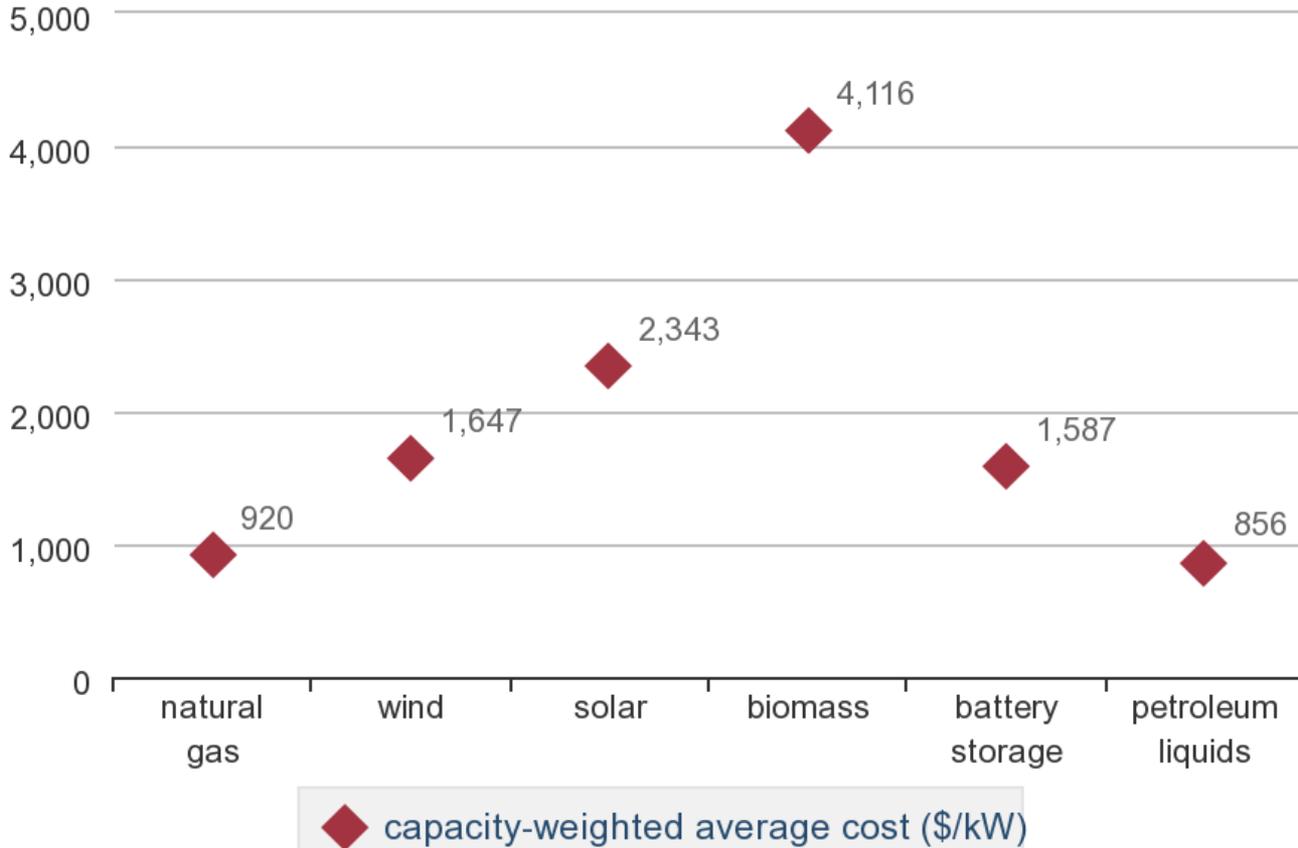
Average Operating Heat Rate for Selected Energy Sources.

Source: U.S. Energy Information Administration



Average construction cost

\$/kilowatt (kW)

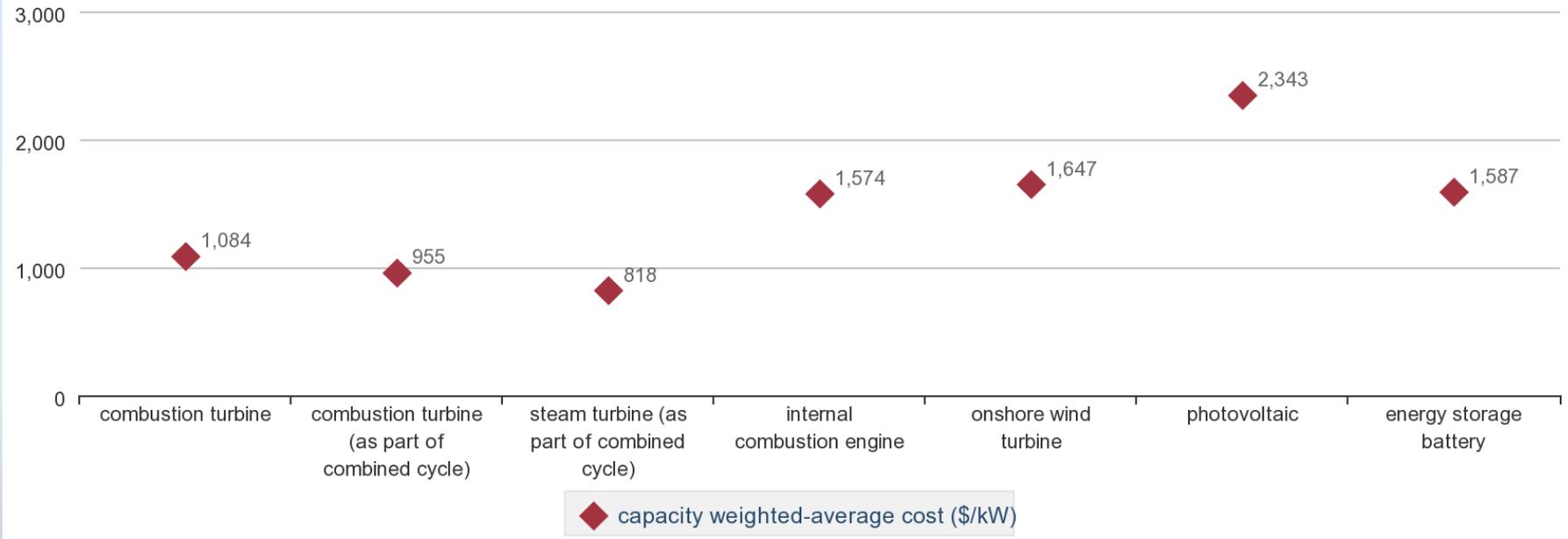


Source: U.S. Energy Information Administration,
Form EIA-860, 2017 Annual Electric Generator Report



Average construction cost

\$/kilowatt (kW)



Source: U.S. Energy Information Administration,
Form EIA-860, 2017 Annual Electric Generator Report



Average Power Plant Operating Expenses for Major U.S. Investor-Owned Electric Utilities, 2008 through 2018 (Mills per Kilowatthour)

Source: U.S. Energy Information Administration

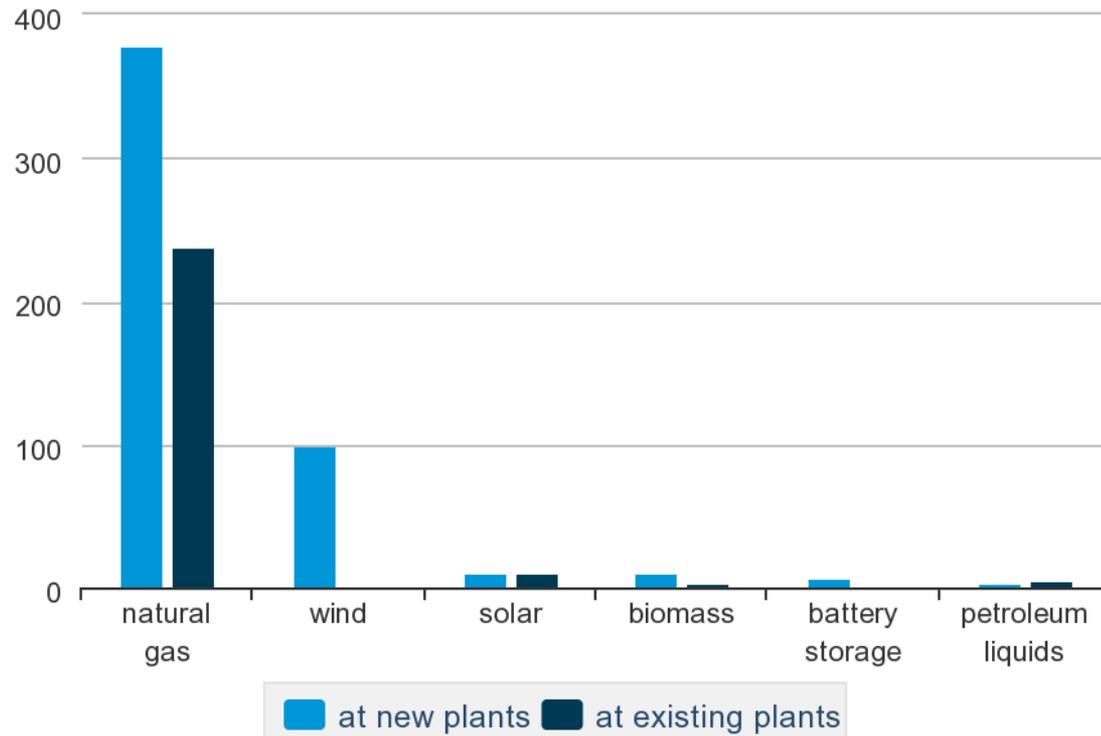
Year	Operation				Maintenance			
	Nuclear	Fossil Steam	Hydro-electric	Gas Turbine and Small Scale	Nuclear	Fossil Steam	Hydro-electric	Gas Turbine and Small Scale
2008	9.89	3.72	5.78	3.77	6.20	3.59	3.89	2.72
2009	10.00	4.23	4.88	3.05	6.34	3.96	3.50	2.58
2010	10.50	4.04	5.33	2.79	6.80	3.99	3.81	2.73
2011	10.89	4.02	5.13	2.81	6.80	3.99	3.74	2.93
2012	12.49	4.38	6.71	2.46	7.32	4.48	4.63	2.76
2013	12.51	4.57	6.56	2.56	6.64	4.41	4.32	2.80
2014	12.41	4.55	7.30	2.63	6.67	5.11	4.59	2.90
2015	11.17	5.16	8.37	2.34	7.06	5.41	5.06	2.68
2016	10.90	5.05	6.65	2.49	7.01	5.53	4.34	2.74
2017	10.27	5.01	6.33	2.45	6.63	5.13	3.96	2.83
2018	10.78	5.19	6.69	2.37	5.93	5.27	3.96	2.71

Year	Fuel				Total			
	Nuclear	Fossil Steam	Hydro-electric	Gas Turbine and Small Scale	Nuclear	Fossil Steam	Hydro-electric	Gas Turbine and Small Scale
2008	5.29	28.43	--	64.23	21.37	35.75	9.67	70.72
2009	5.35	32.30	--	51.93	21.69	40.48	8.38	57.55
2010	6.68	27.73	--	43.21	23.98	35.76	9.15	48.74
2011	7.01	27.08	--	38.80	24.70	35.09	8.88	44.54
2012	7.61	28.34	--	30.45	27.42	37.20	11.34	35.67
2013	8.14	28.94	--	32.56	27.29	37.92	10.88	37.92
2014	7.71	29.39	--	37.06	26.79	39.04	11.90	42.60
2015	7.48	26.70	--	28.22	25.71	37.26	13.42	33.24
2016	7.45	25.50	--	24.97	25.36	36.08	10.98	30.19
2017	7.47	25.27	--	26.48	24.38	35.41	10.29	31.76
2018	7.15	25.40	--	27.35	23.86	35.86	10.65	32.43



Average new capacity

megawatt (MW)

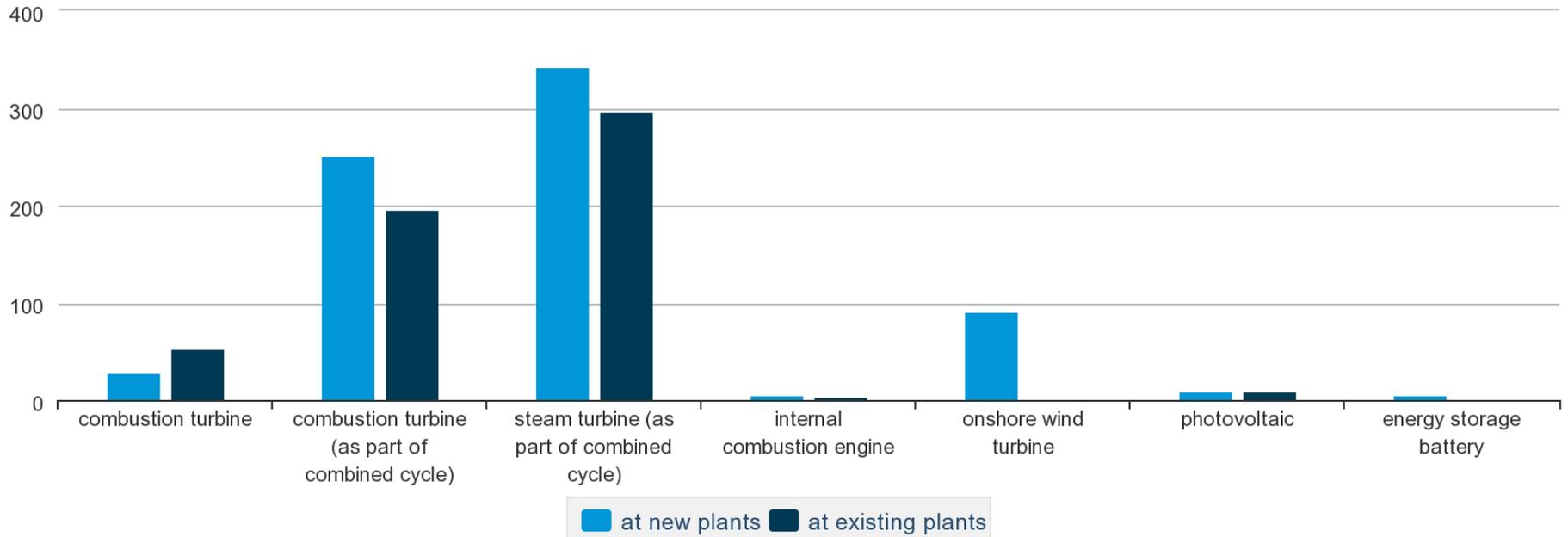


Source: U.S. Energy Information Administration,
Form EIA-860, 2017 Annual Electric Generator Report



Average new capacity

megawatt (MW)



Source: U.S. Energy Information Administration,
Form EIA-860, 2017 Annual Electric Generator Report



Bilancio Mensile dell'Energia Elettrica in Italia 2021

[GWh]	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	Totale
Itrica	3.743	3.526	3.195	3.186	4.599	5.538							23.787
di cui Pompaggio in Produzione ⁽²⁾	136	174	168	185	199	132							994
Termica	16.160	13.571	14.706	14.066	11.339	14.052							83.894
di cui Biomasse	1.555	1.377	1.595	1.534	1.497	1.531							9.089
Geotermica	465	427	475	459	465	456							2.747
Eolica	2.664	1.702	1.854	1.576	1.986	978							10.760
Fotovoltaica	920	1.465	2.420	2.407	2.965	3.025							13.202
Produzione Totale Netta	23.952	20.691	22.650	21.694	21.354	24.049							134.390
di cui Produzione da RES ⁽³⁾	9.211	8.323	9.371	8.977	11.313	11.396							58.591
Import	3.863	4.602	4.469	3.188	3.675	3.766							23.563
Export	507	197	206	310	227	225							1.672
Saldo Estero	3.356	4.405	4.263	2.878	3.448	3.541							21.891
Pompaggi	194	249	240	264	284	189							1.420
Richiesta di Energia elettrica⁽¹⁾	27.114	24.847	26.673	24.308	24.518	27.401							154.861

(1) Richiesta di Energia Elettrica = Produzione + Saldo Estero – Consumo Pompaggio.

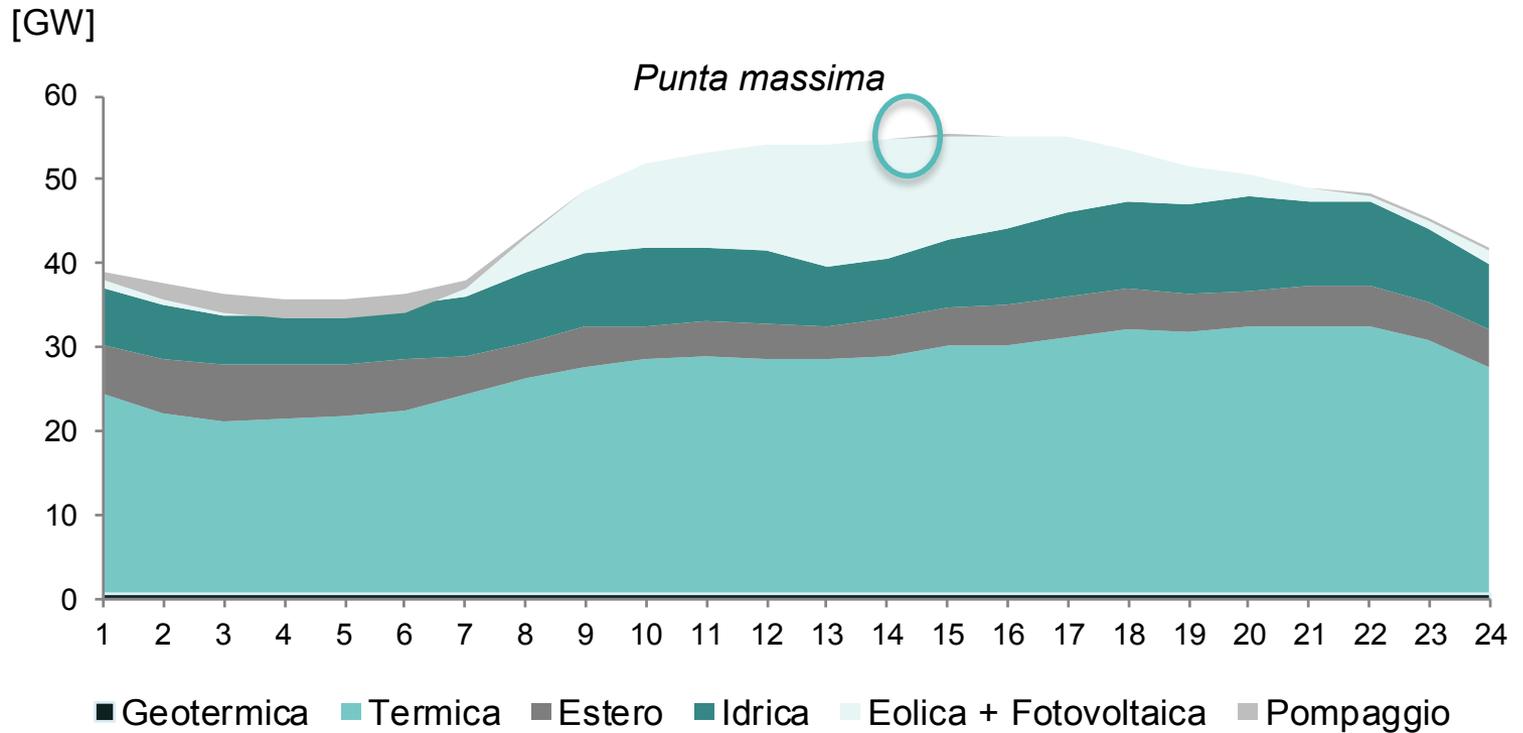
Fonte: Terna



Copertura fabbisogno energia elettrica per fonti

Punta in Potenza

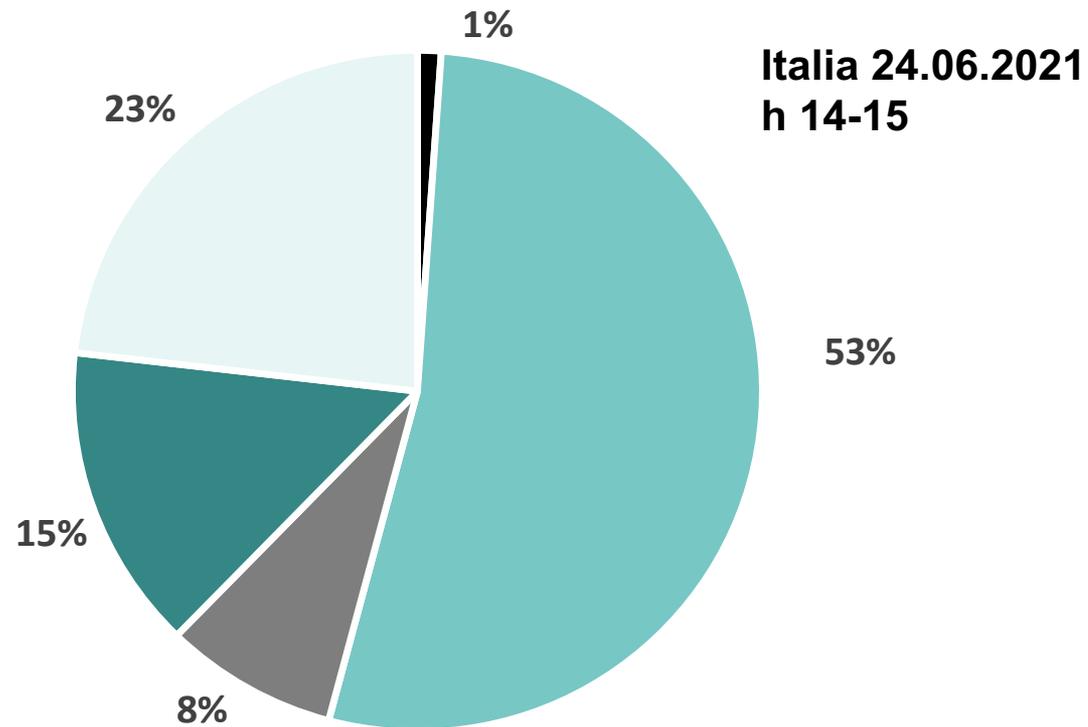
Italia 24.06.2021



Fonte: Terna



Copertura fabbisogno energia elettrica per fonti



■ Geotermica ■ Termica ■ Estero ■ Idrica ■ Eolica+Fotovoltaica