

Energetica Nucleare

Fonti Energetiche e loro Impatto

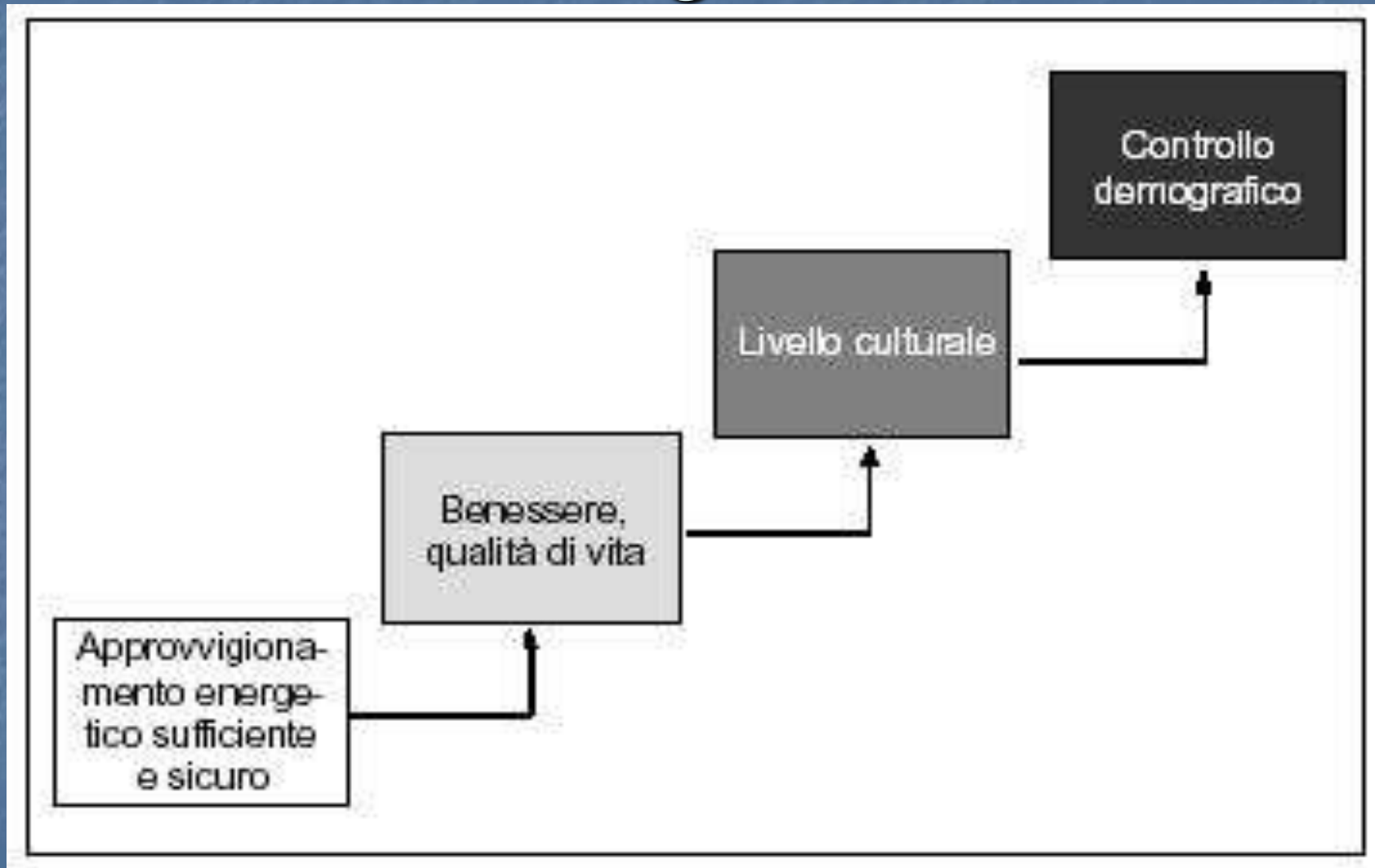


Prof. Ing. Guglielmo Lomonaco

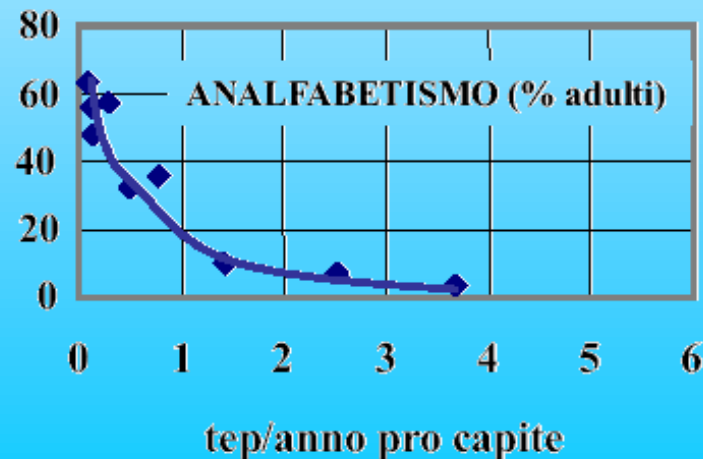
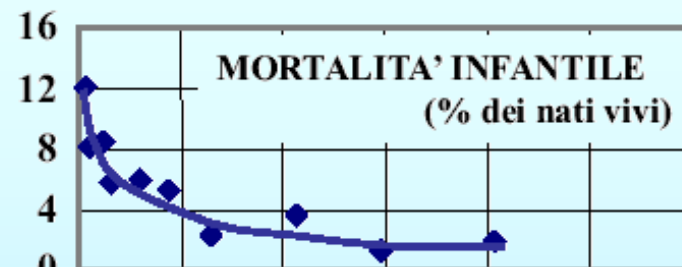
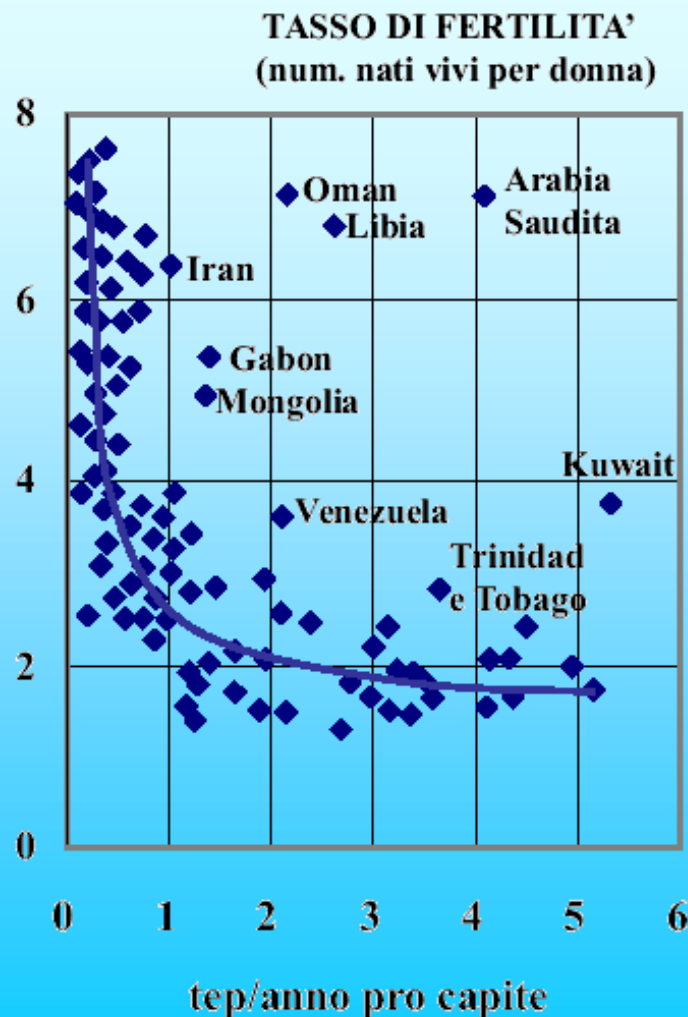
email: guglielmo.lomonaco@unige.it

Tel: +39-010-3352867

Implicazioni dell'approvvigionamento energetico

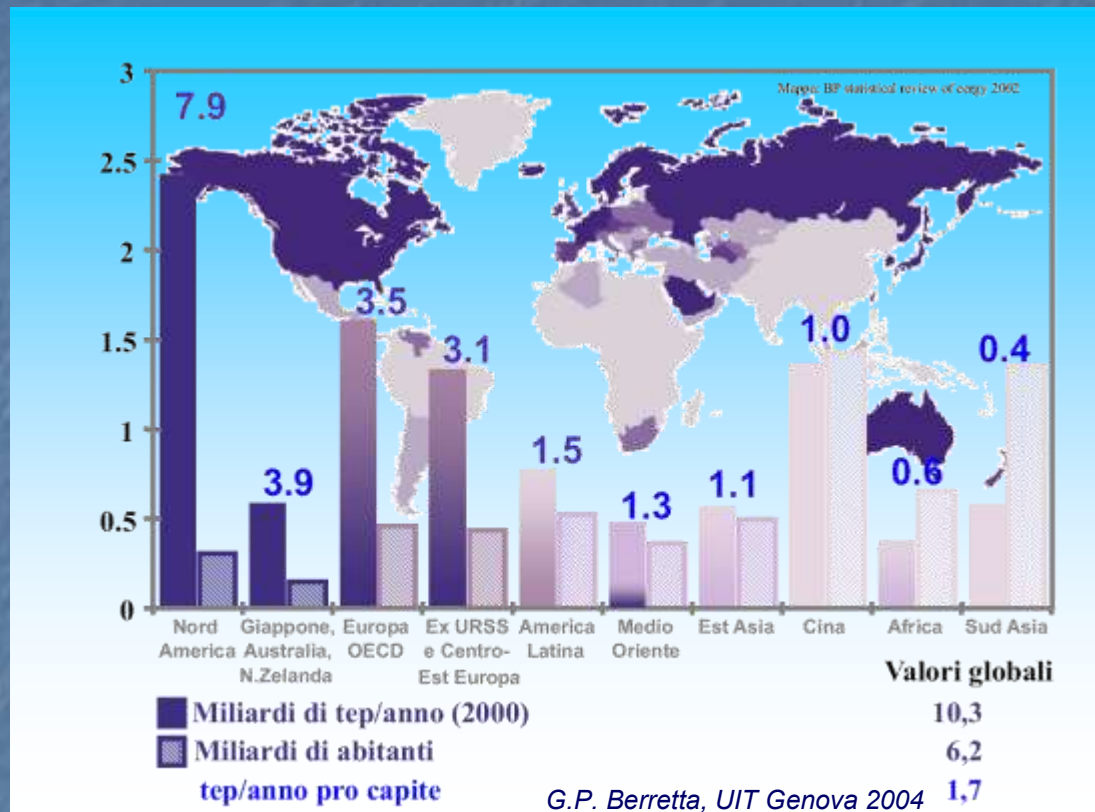


Indici Energetici ed Aspettative di Vita



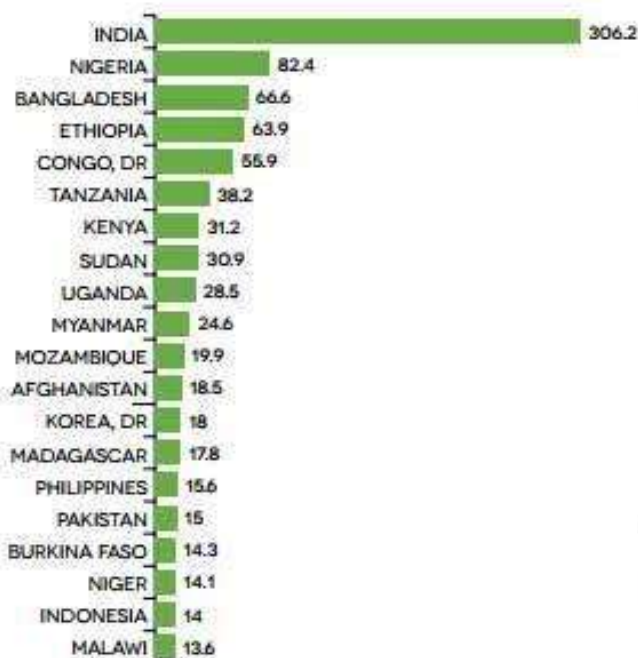
Fabbisogni pro-capite

- Negli ultimi duemila anni, il fabbisogno complessivo è aumentato di ben 70 volte
- La popolazione è aumentata di 20 volte
- Il consumo pro capite è poco più che triplicato passando da 0.11 TEP (per la sopravvivenza), 0.45 (età del bronzo), 0.5 (Italia del 1900), 1 (Italia del 1939) a 3.5 (Italia 2000)

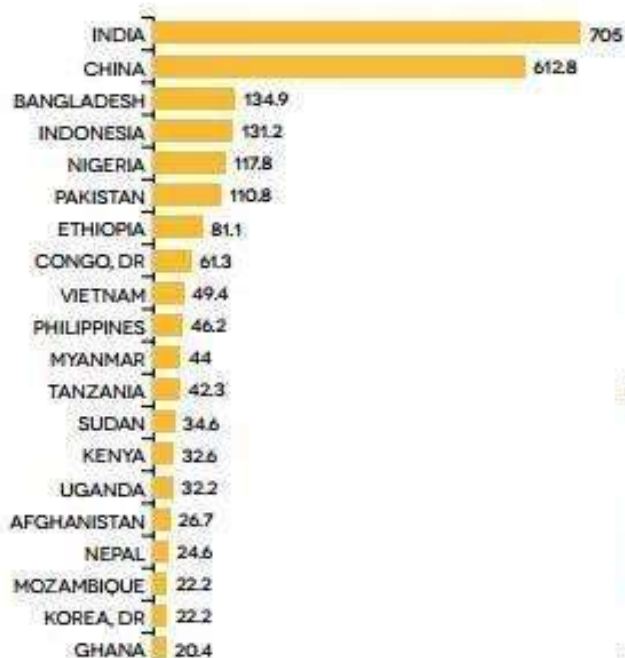


Accesso e domanda Energia

ELECTRICITY ACCESS DEFICIT
(MILLIONS OF PEOPLE)



NON-SOLID FUEL ACCESS DEFICIT
(MILLIONS OF PEOPLE)



PRIMARY ENERGY DEMAND
(EXAJOULES)

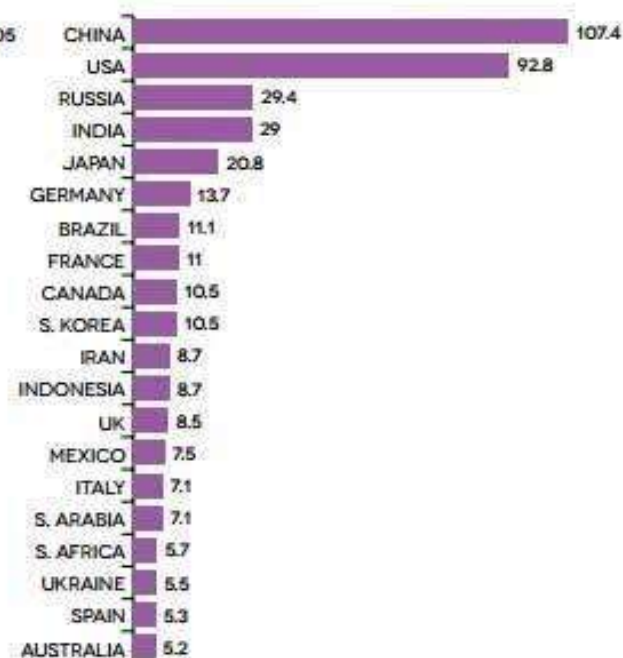


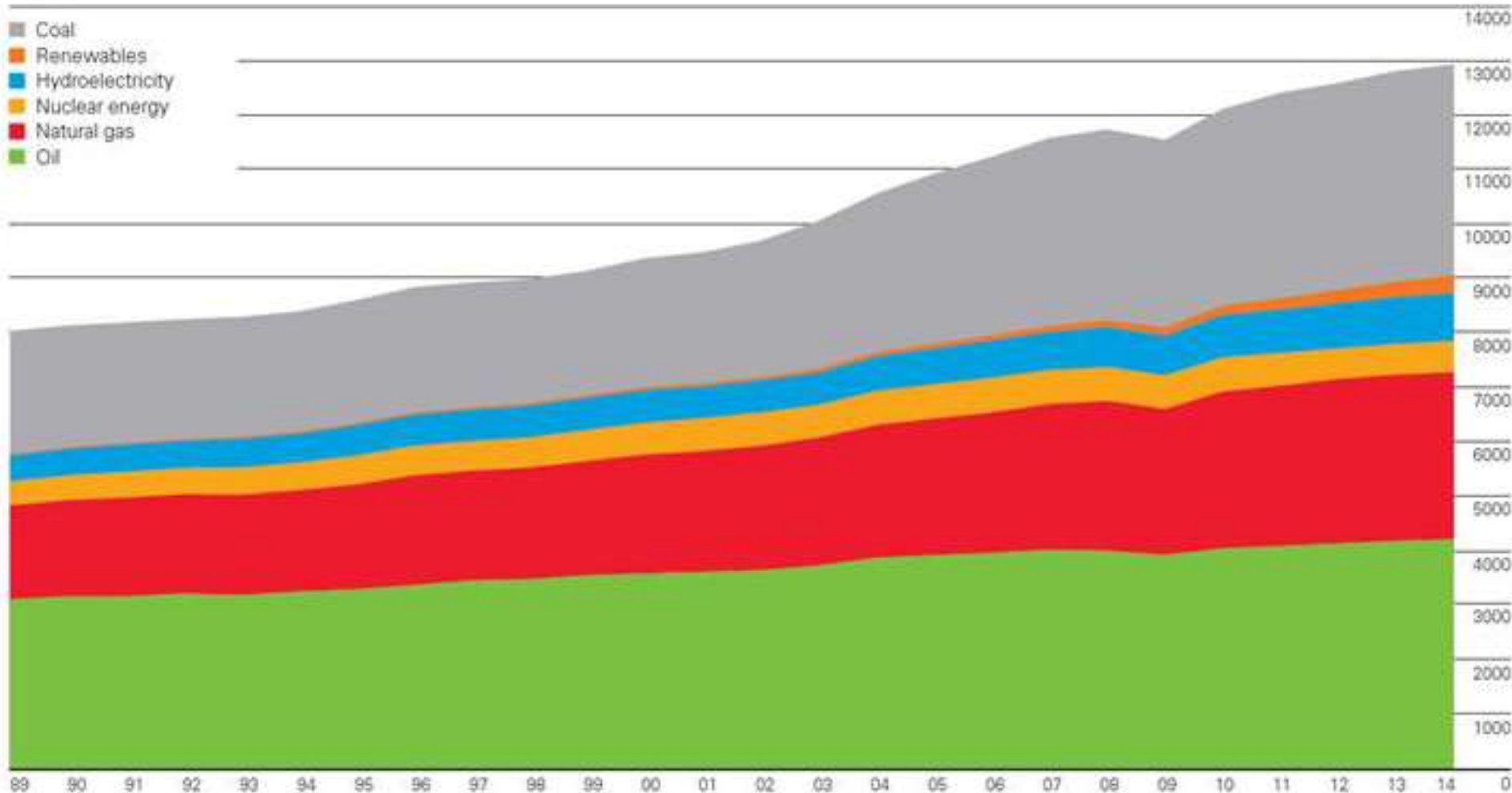
FIGURE ES.1 OVERVIEW OF HIGH-IMPACT COUNTRIES, 2010

SOURCE: AUTHORS.

NOTE: DR = "DEMOCRATIC REPUBLIC OF."

World consumption

Million tonnes oil equivalent



World primary energy consumption grew by a below-average 0.9% in 2014, the slowest rate of growth since 1998 other than the decline in the aftermath of the financial crisis. Growth was below average in all regions except North America and Africa. All fuels except nuclear grew at below-average rates. Oil remains the world's dominant fuel. Hydroelectric and other renewables in power generation both reached record shares of global primary energy consumption (6.8% and 2.5%, respectively).

Fonte: BP Statistical Review Of World Energy - June 2015

Consumo mondiali per fonti (2014)

FONTE	MTOE	% del totale	NOTE
Petrolio	4.211,1	32,57	Comprendente lo 0,55% di biocombustibili (etanolo, biodiesel, etc.)
Gas Naturale	3.065,5	23,71	
Carbone	3.881,8	30,03	
Nucleare	574,0	4,44	
Rinnovabili:			
-Idroelettrico	879,0	6,80	
-Altre Rinnovabili	316,9	2,45	Comprendente tutte le rinnovabili escluso l'idroelettrico e i biocombustibili
TOTALE	12.928,4	100,0	

Consumo mondiale (2004-2014)

- Nel decennio il petrolio continua ad essere la fonte primaria più utilizzata, con una incidenza del 32% circa, pur avendo ridotto la sua incidenza di 4.5 punti percentuali
- Il carbone ha per contro incrementato la sua presenza di 2.4 punti percentuali, fino al 30% circa, mentre il gas naturale è aumentato percentualmente dello 0.6% fino al 23.7%
- Le fonti fossili presentano nel 2014 una incidenza sul totale dell'85.7% contro un valore percentuale dell'87.2% nel 2004
- Il nucleare ha ridotto nel decennio la sua quota di circa l'1.4% a seguito dell'incidente nucleare di Fukushima
- L'insieme delle rinnovabili ha avuto complessivamente uno sviluppo sensibile, con un incremento pari al 2.9%, passando dal 6.9% al 9.8%
- Se si fa riferimento al biossido di carbonio immesso in atmosfera nello stesso periodo, occorre considerare che il consumo di energia totale è aumentato nel decennio del 22.5% e pertanto si può stimare un incremento delle emissioni di questo gas serra nel decennio di oltre il 20%

Consumo di energia primaria

	Quota 2016	Crescita 2016	Crescita 2005-2015
Asia delPacifico	42,0%	2,1%	3,9%
Europa e Eurasia	21,6%	0,4%	-0,4%
Nord America	21,0%	-0,4%	-0,2%
Medio Oriente	6,7%	2,1%	4,5%
America del Sud e Centrale	5,3%	-1,0%	2,8%
Africa	3,3%	1,2%	3,3%
<i>Totale Mondiale</i>	<i>100%</i>	<i>1,0%</i>	<i>1,8%</i>

Consumo mondiali per fonti (2019-2020)

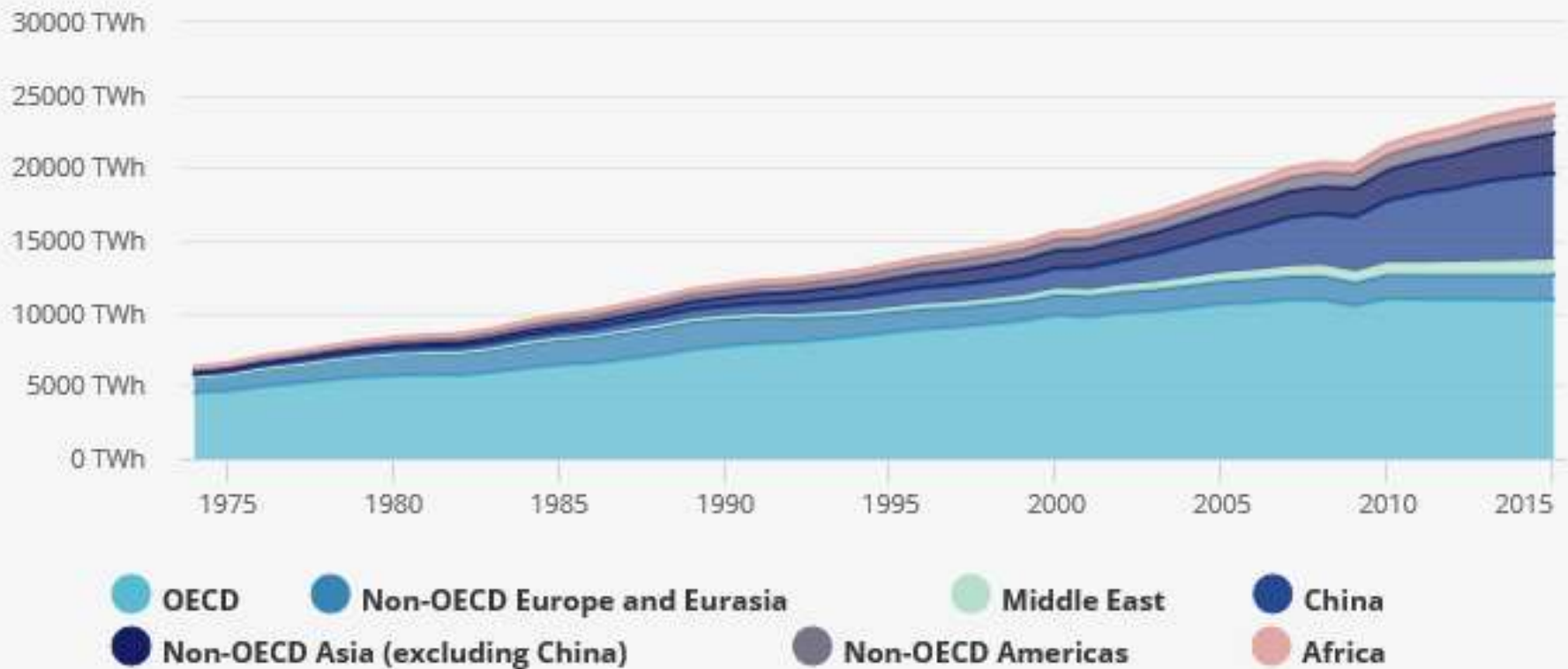
- Il consumo **mondiale** di energia nel 2020, anno di inizio della pandemia da COVID-19, è stato di 556.63 esajoule con una contrazione del **4.5%** rispetto al 2019
- La principale differenza tra 2020 e 2019 è la riduzione del consumo di petrolio, mentre il **totale delle fonti fossili nel 2020 è dell'82.5%**

	2019	2020
Petrolio	32.4	30.6
Gas Naturale	24.1	24.7
Carbone	27.1	27.2
Nucleare	4.3	4.3
Idroelettrico	6.5	6.9
Rinnovabili	5.0	5.7
Biocombustibili	0.6	0.6
TOTALE	100.0	100.0

Generazione Elettrica nel Mondo

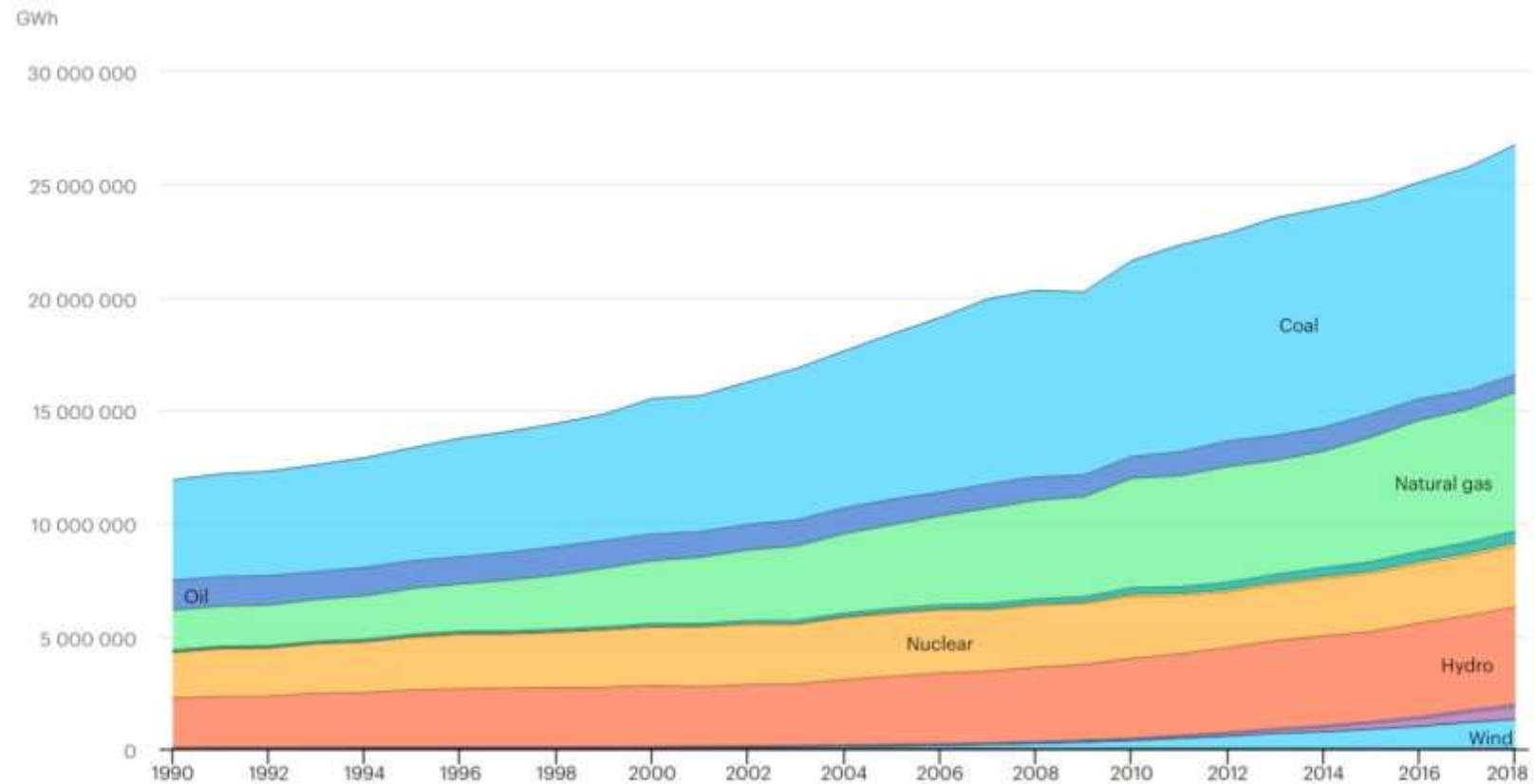
Energy generation by region, 1974-2014

Click a region in the legend to hide/show on the chart



© OECD/IEA

Electricity generation by source, World 1990-2018



IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Geothermal Solar PV Solar thermal Wind Tide Other sources

Produzione elettrica per fonti (2001 vs. 2016)

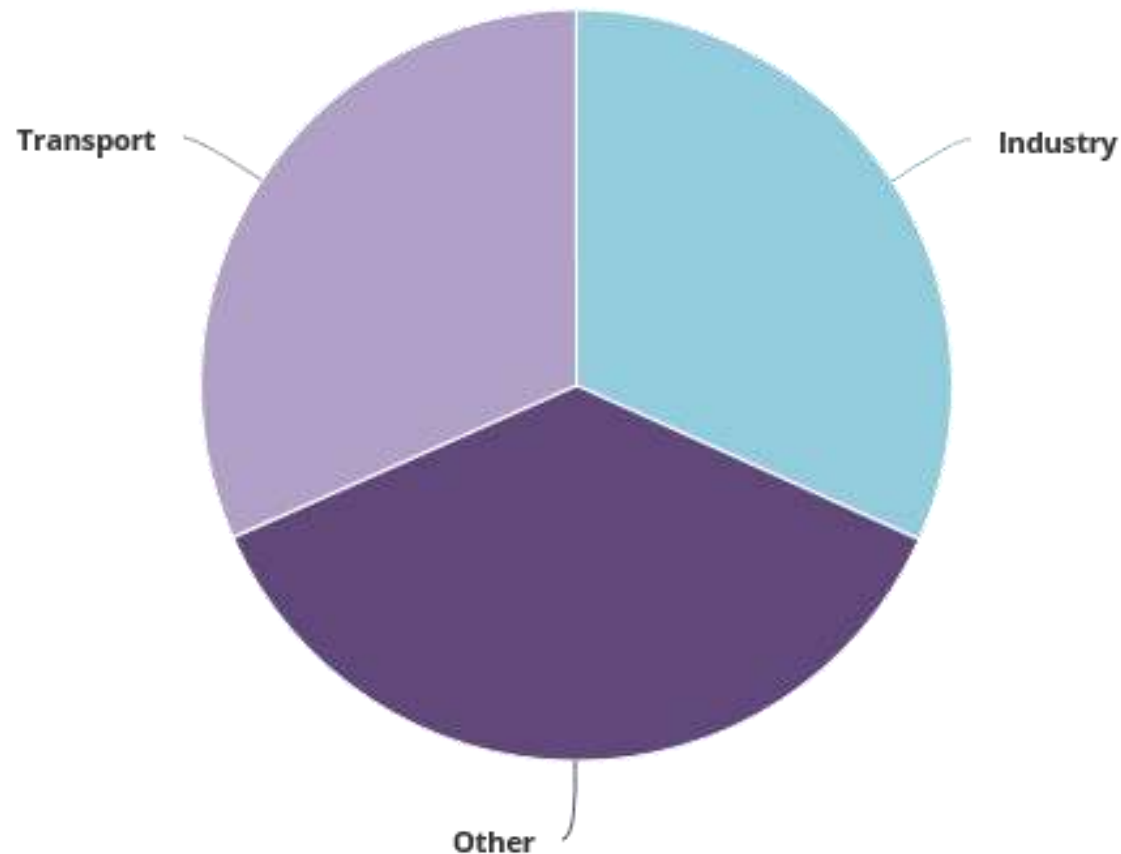
2001

- Fonti fossili 64.7%
 - Carbone 38.7%
 - Petrolio 7.4%
 - Gas 18.6%
- Nucleare 17.1%
- FER 18.2%
 - Idroelettrico 16.5%
 - Biomasse 1.1%
 - Altre Rinnovabili 0.6%

2016

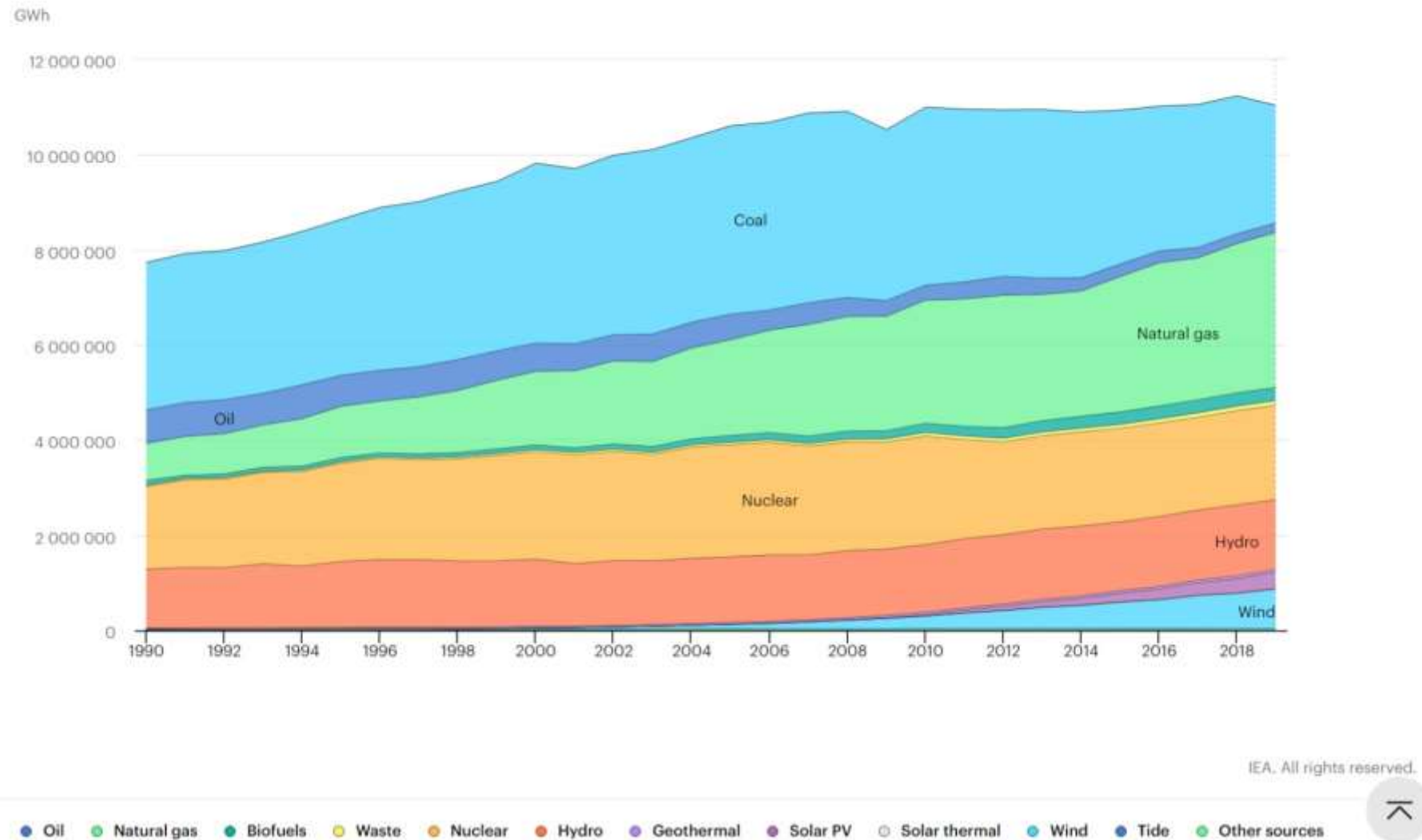
- Fonti fossili 65.1%
 - Carbone 37.5%
 - Petrolio 4.0%
 - Gas 23.6%
- Nucleare 10.5%
- FER 24.4%
 - Idroelettrico 16.4%
 - Biomasse 2.3%
 - Altre Rinnovabili 5.7%

Energy consumption by sector (2015)

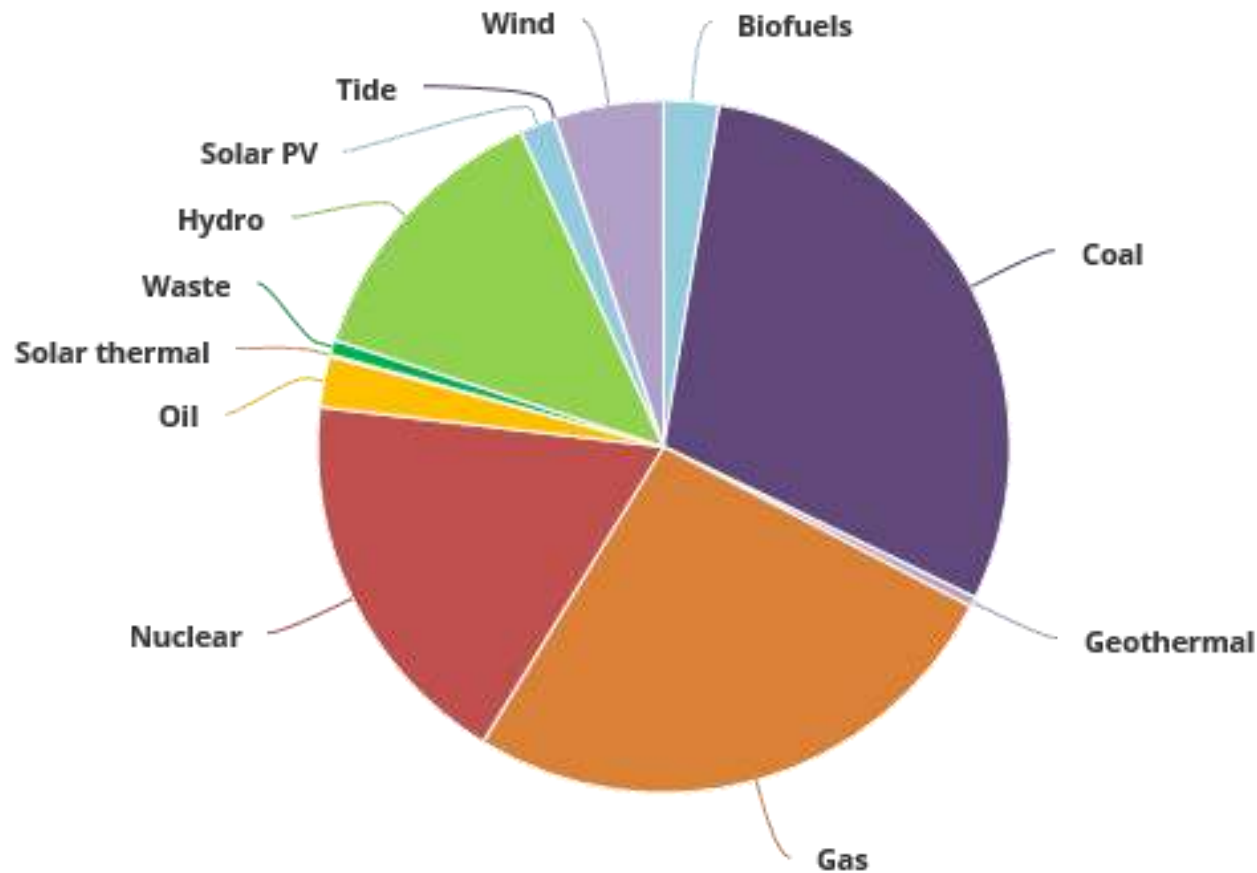


IEA World Energy Balances 2017

Electricity generation by source, OECD Total 1990-2019



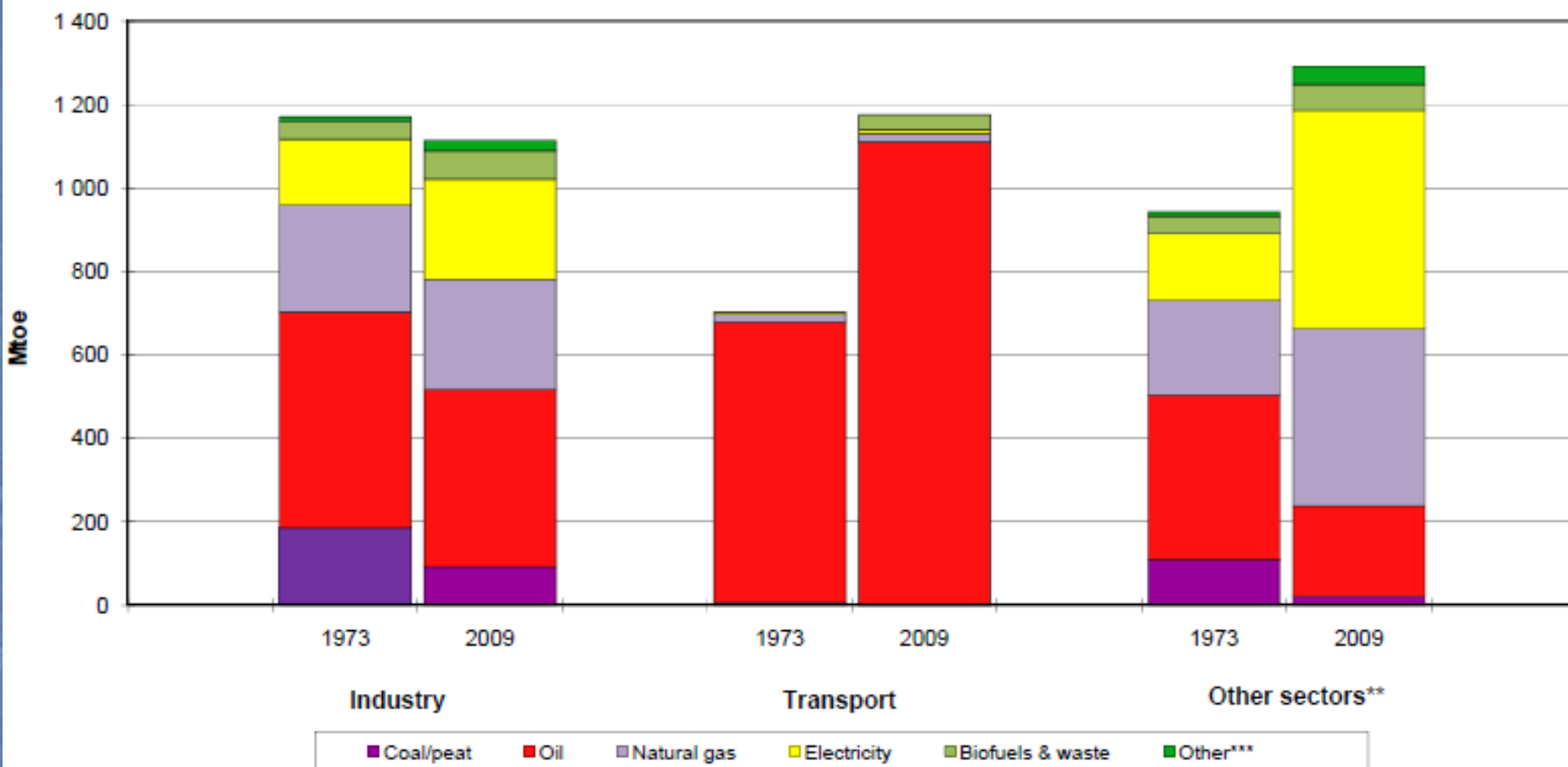
Generazione Elettrica per fonte (OECD 2015)





Breakdown of sectoral final consumption by source*

OECD34 excl Estonia/Slovenia before 1990

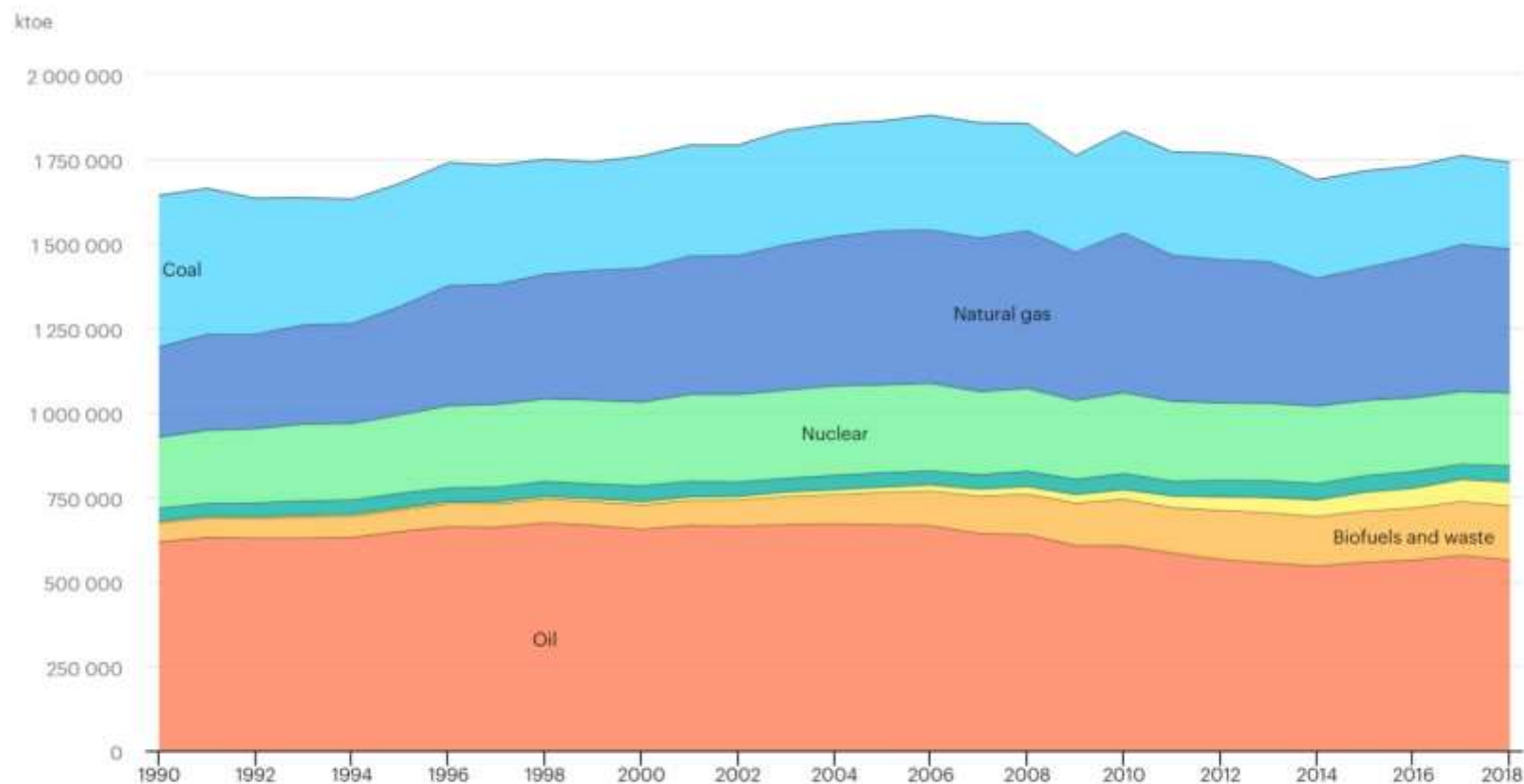


* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.

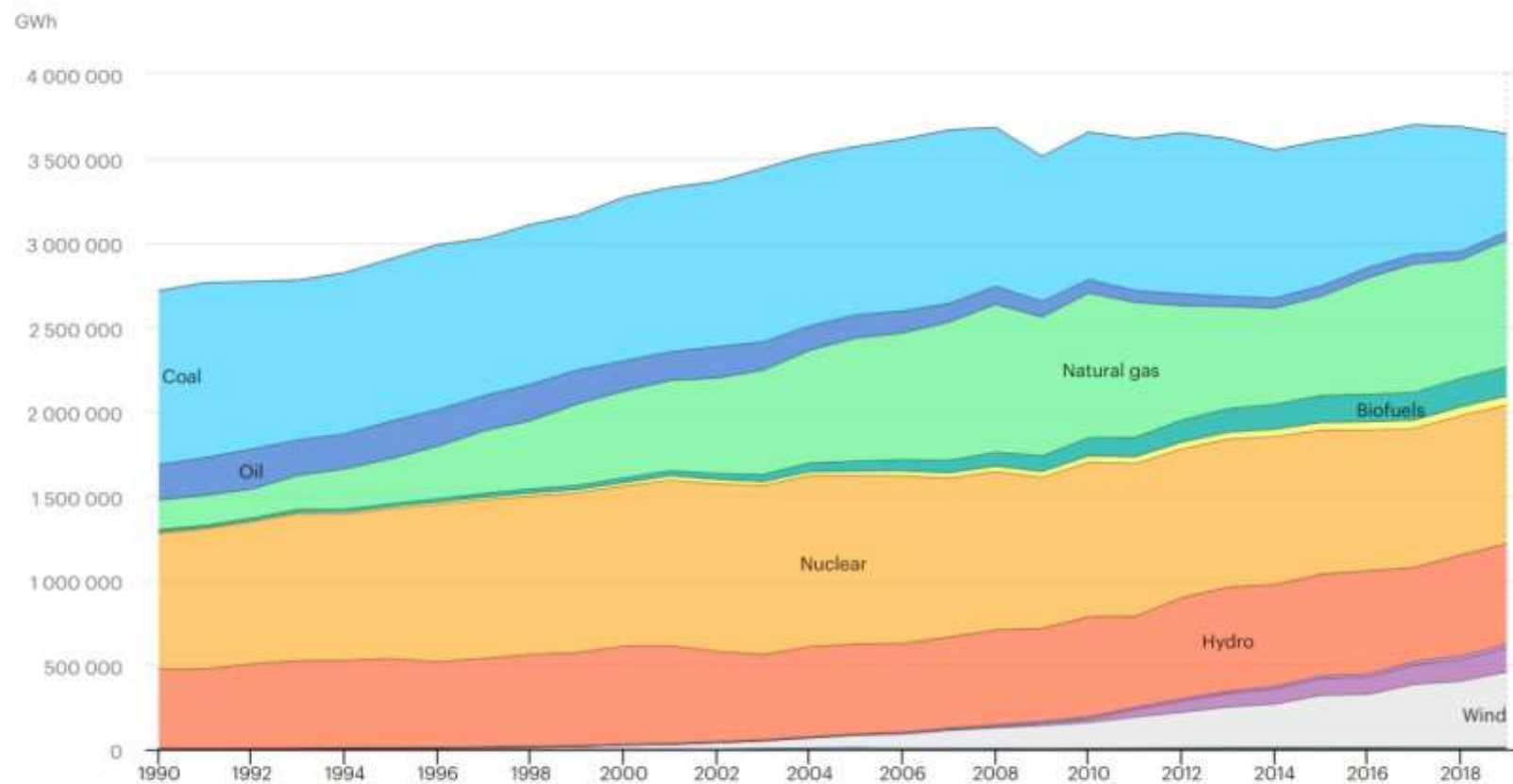
Total energy supply (TES) by source, OECD Europe 1990-2018



IEA. All rights reserved.

Coal Natural gas Nuclear Hydro Wind, solar, etc. Biofuels and waste Oil

Electricity generation by source, OECD Europe 1990-2019



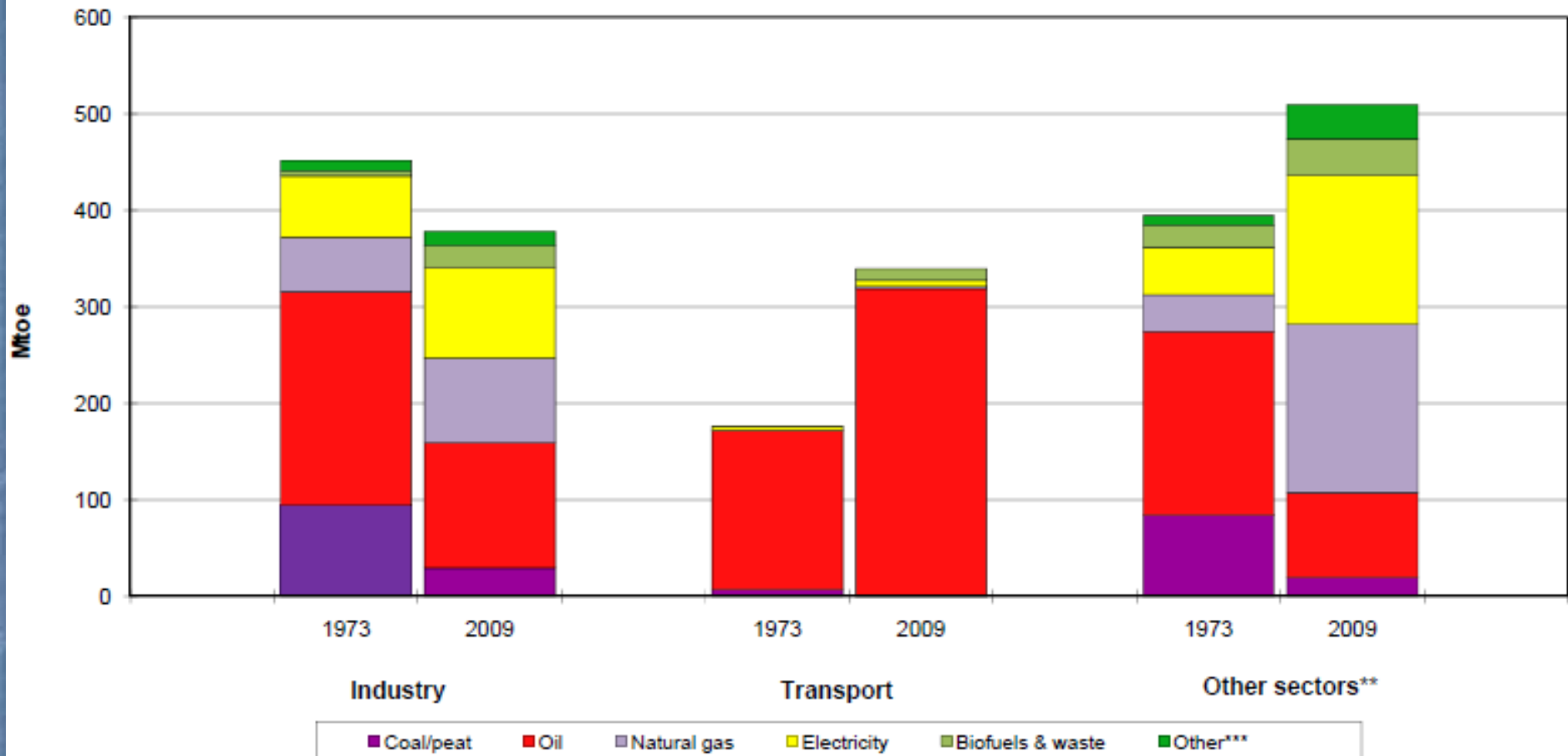
IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Geothermal Solar PV Wind Tide Other sources Solar thermal



Breakdown of sectoral final consumption by source*

OECD Europe excl Estonia/Slovenia before 1990



* Includes non-energy use.

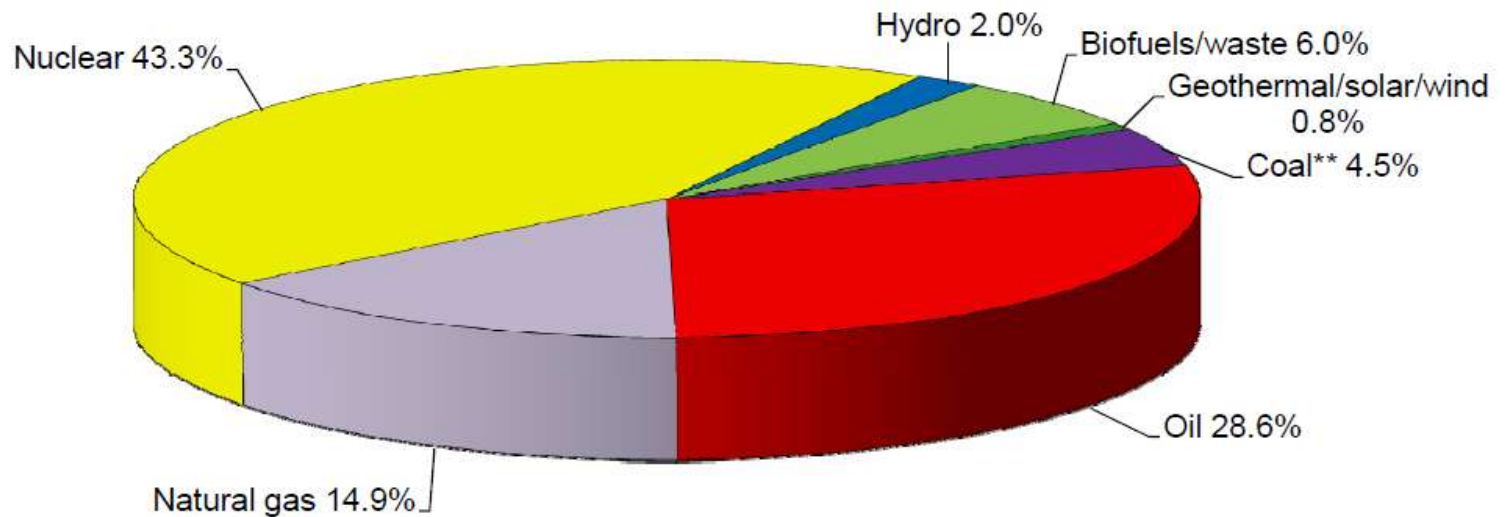
** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.



Share of total primary energy supply* in 2012

France



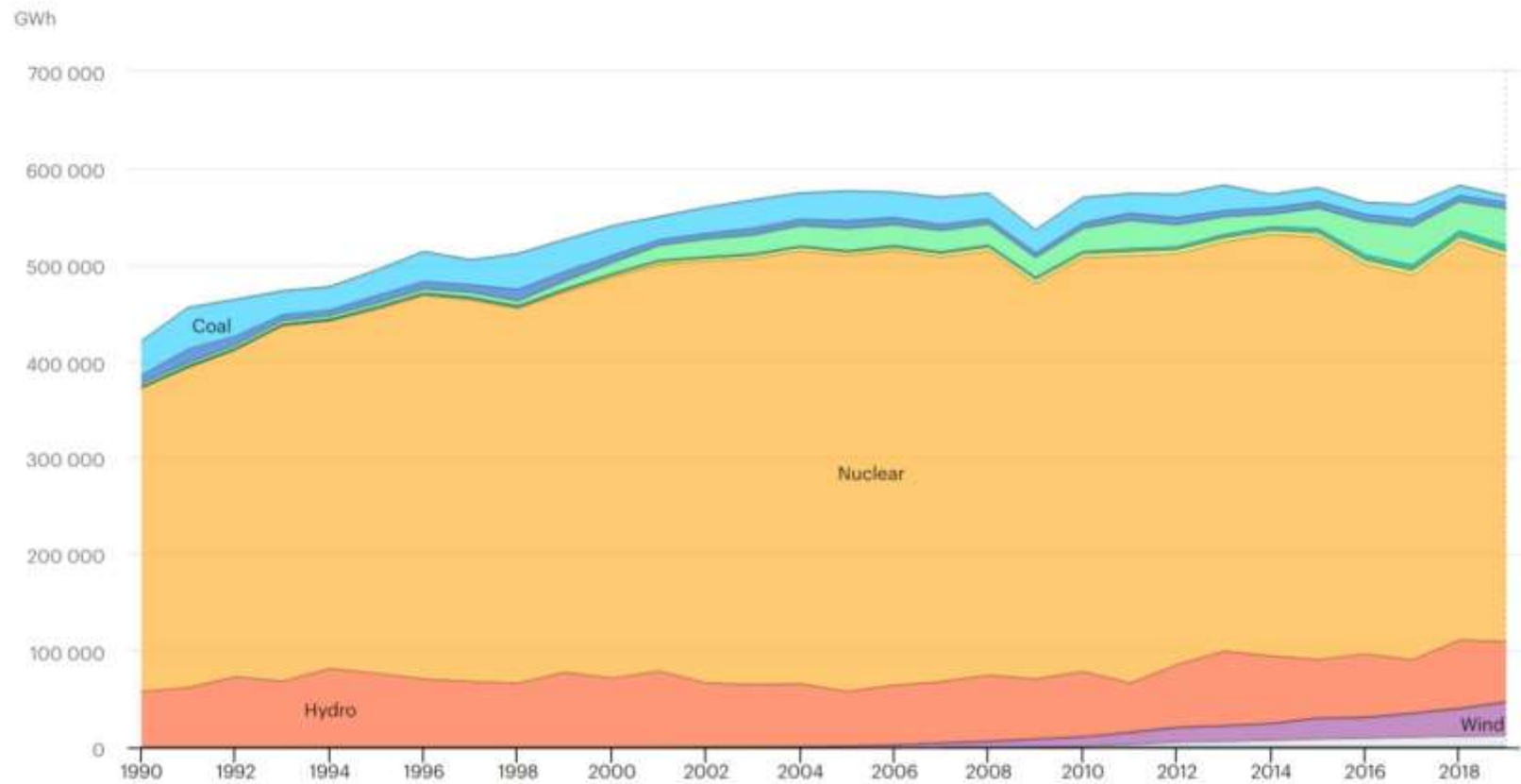
252 Mtoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

Electricity generation by source, France 1990-2019



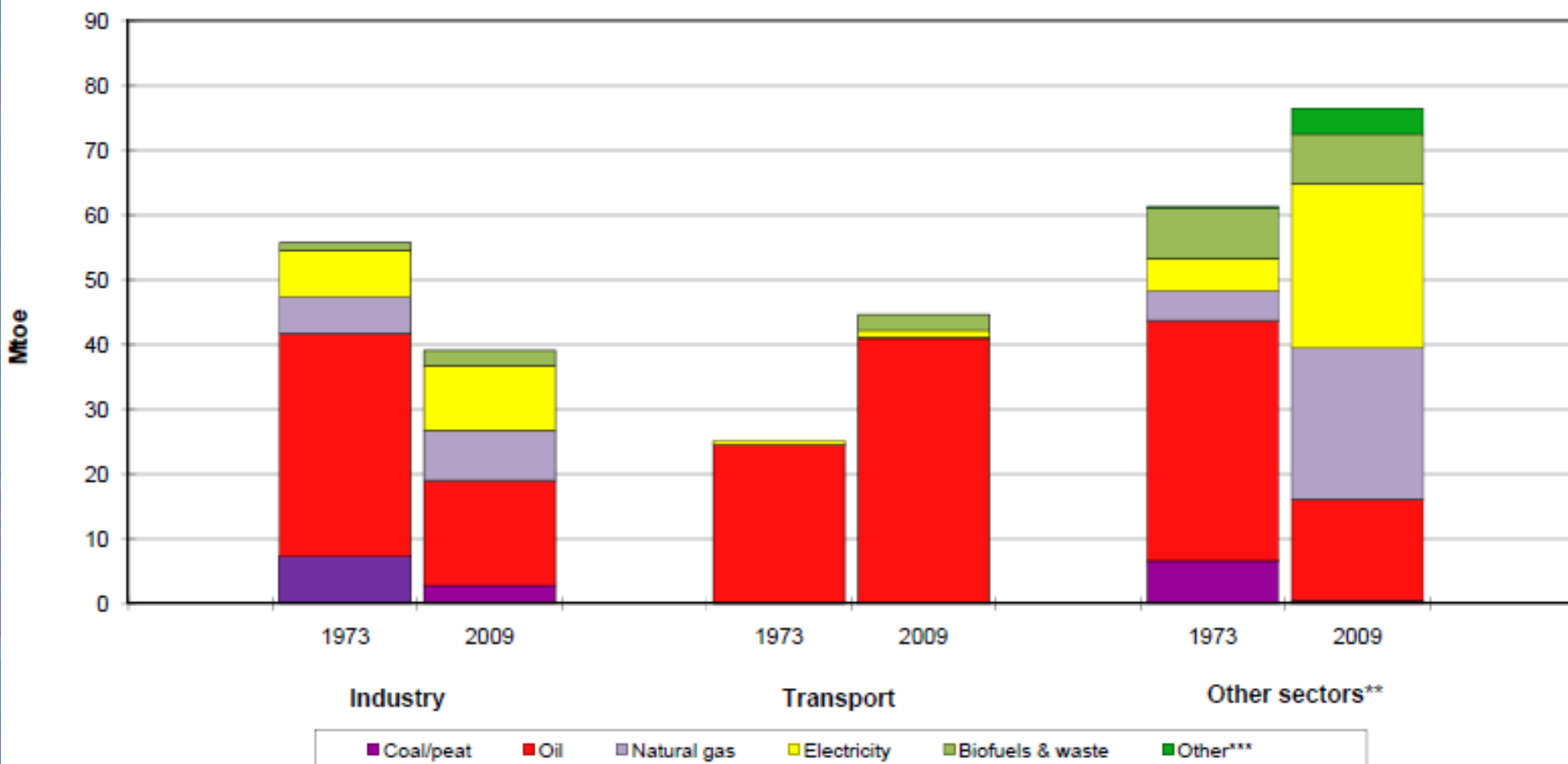
IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Tide Wind Solar PV Other sources Geothermal



Breakdown of sectoral final consumption by source*

France



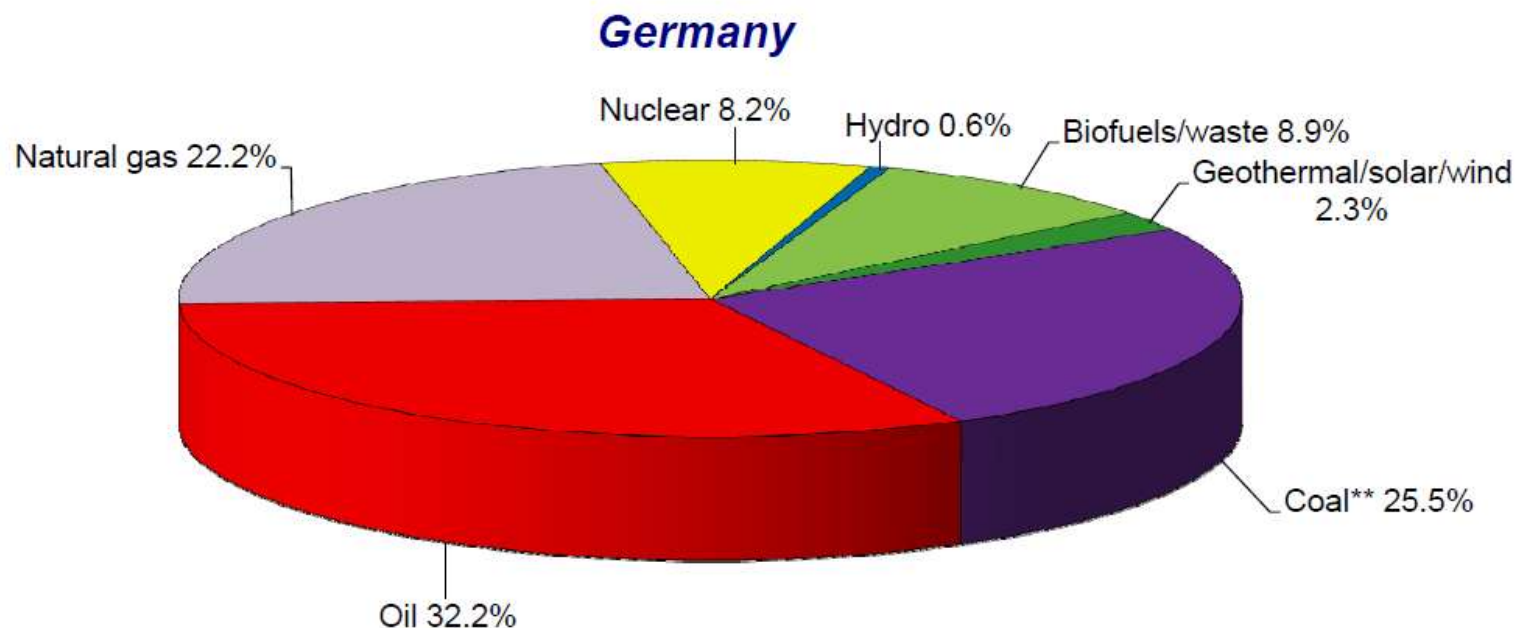
* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.



Share of total primary energy supply* in 2012



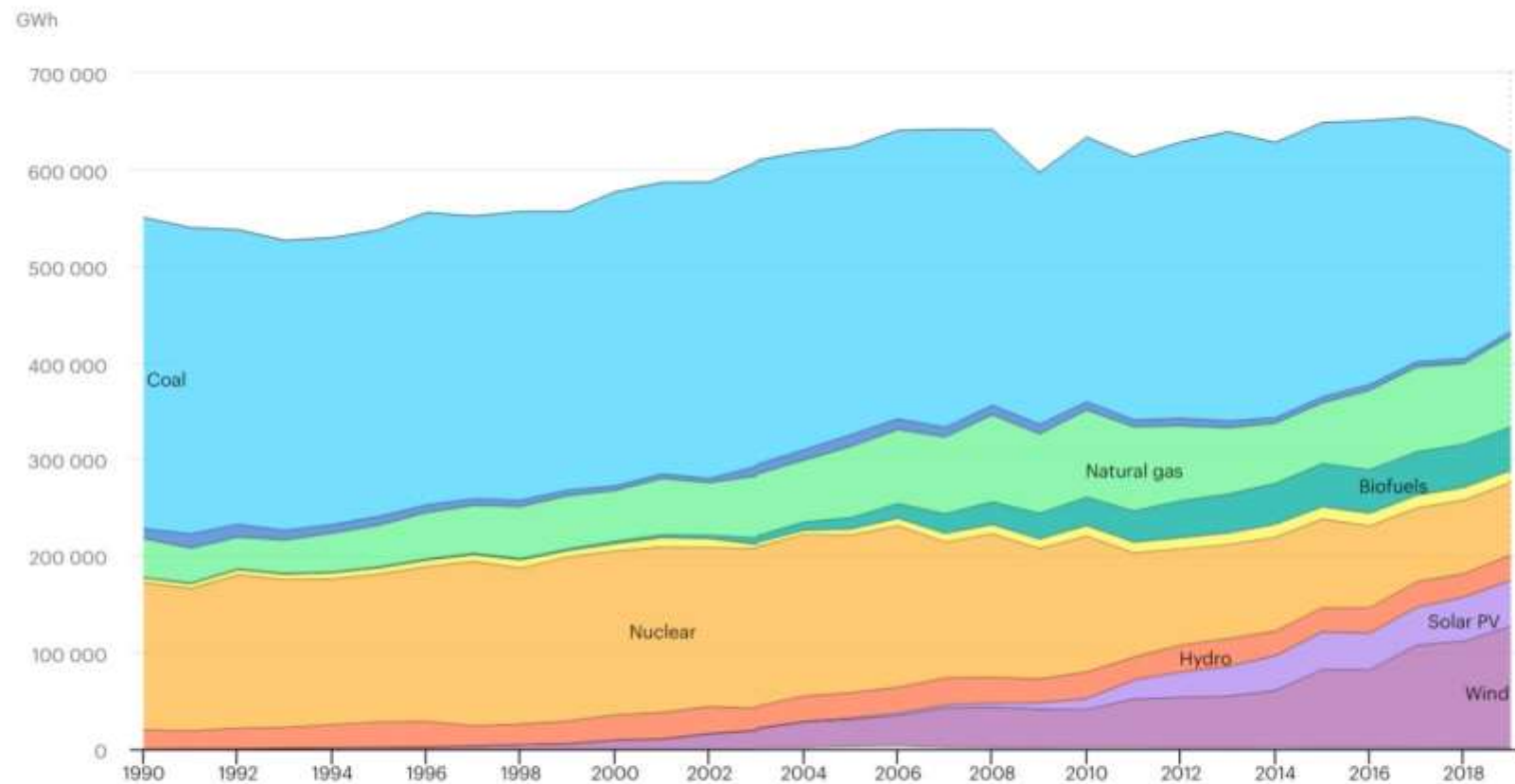
313 Mtoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

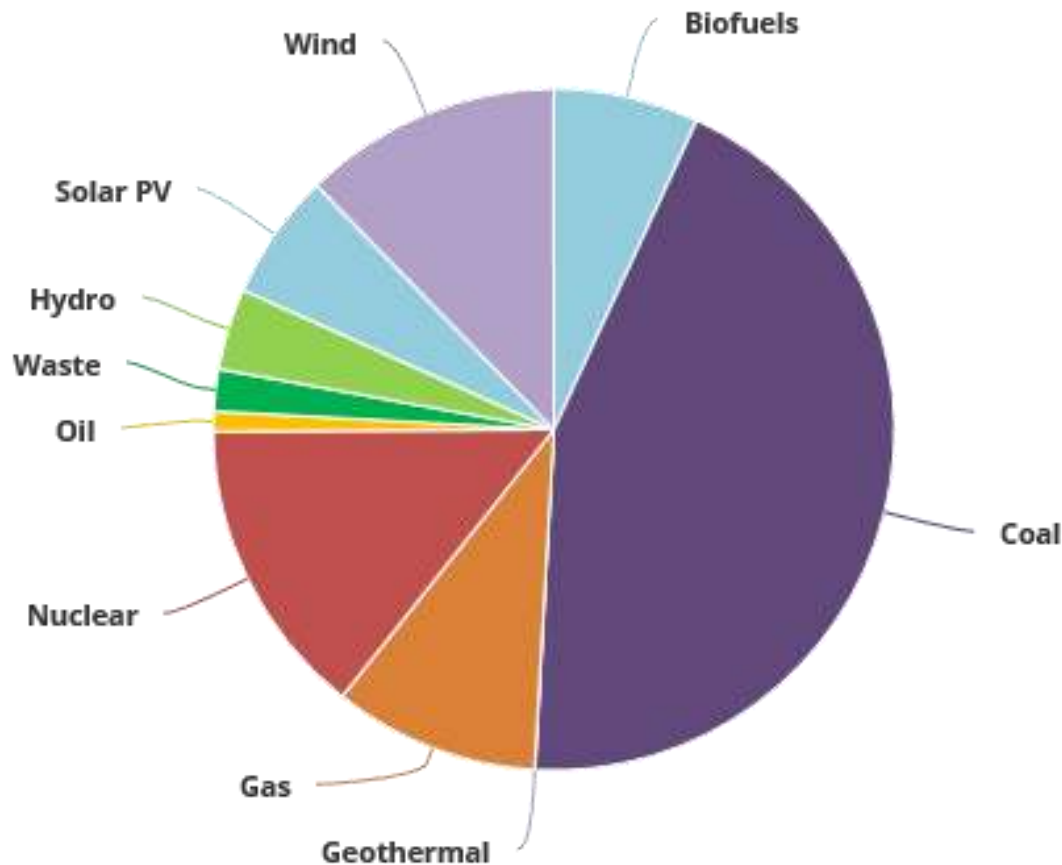
Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

Electricity generation by source, Germany 1990-2019



IEA. All rights reserved.

Generazione Elettrica per fonte (Germania 2015)

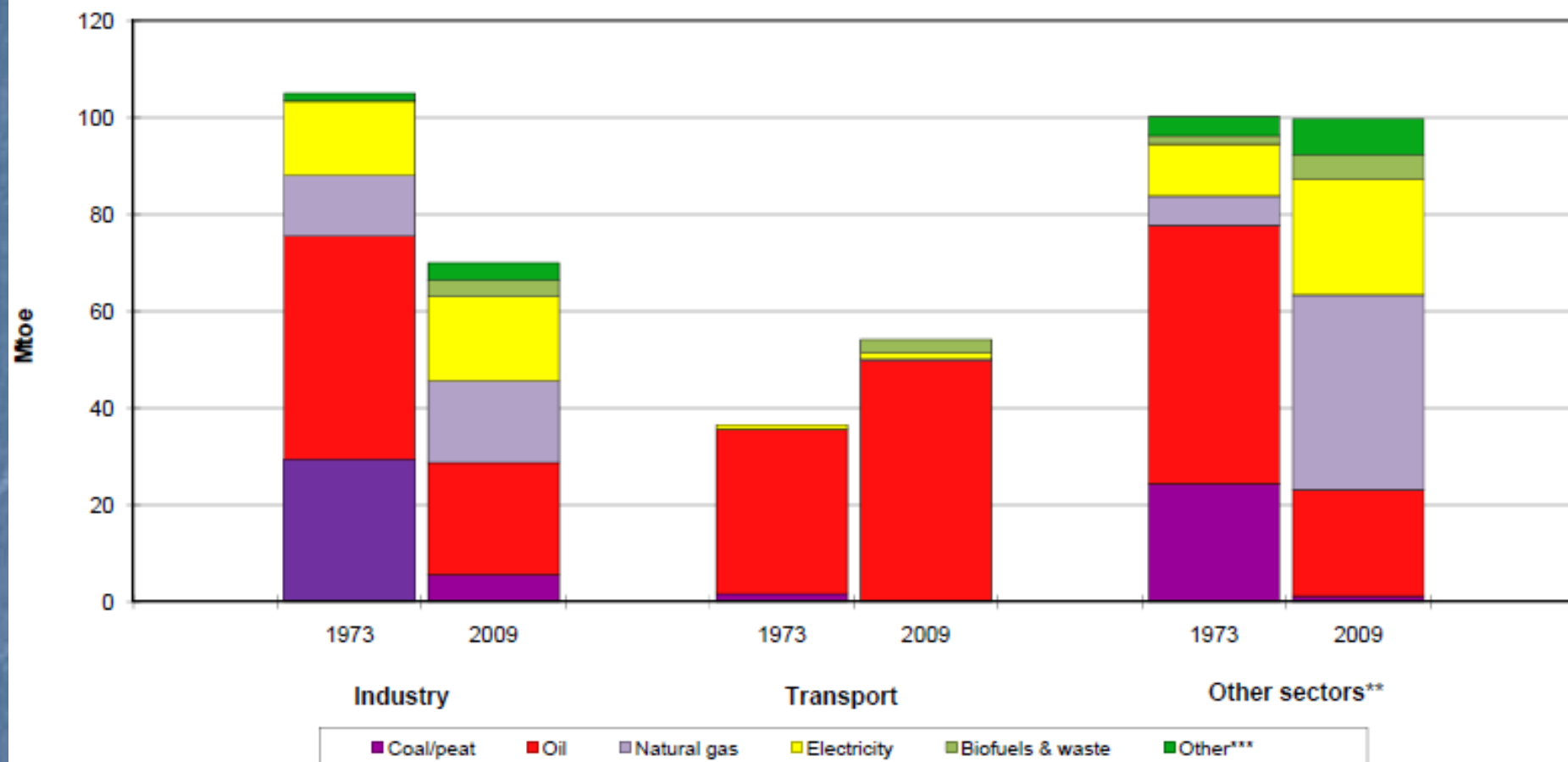


IEA Electricity Information 2017



Breakdown of sectoral final consumption by source*

Germany



* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

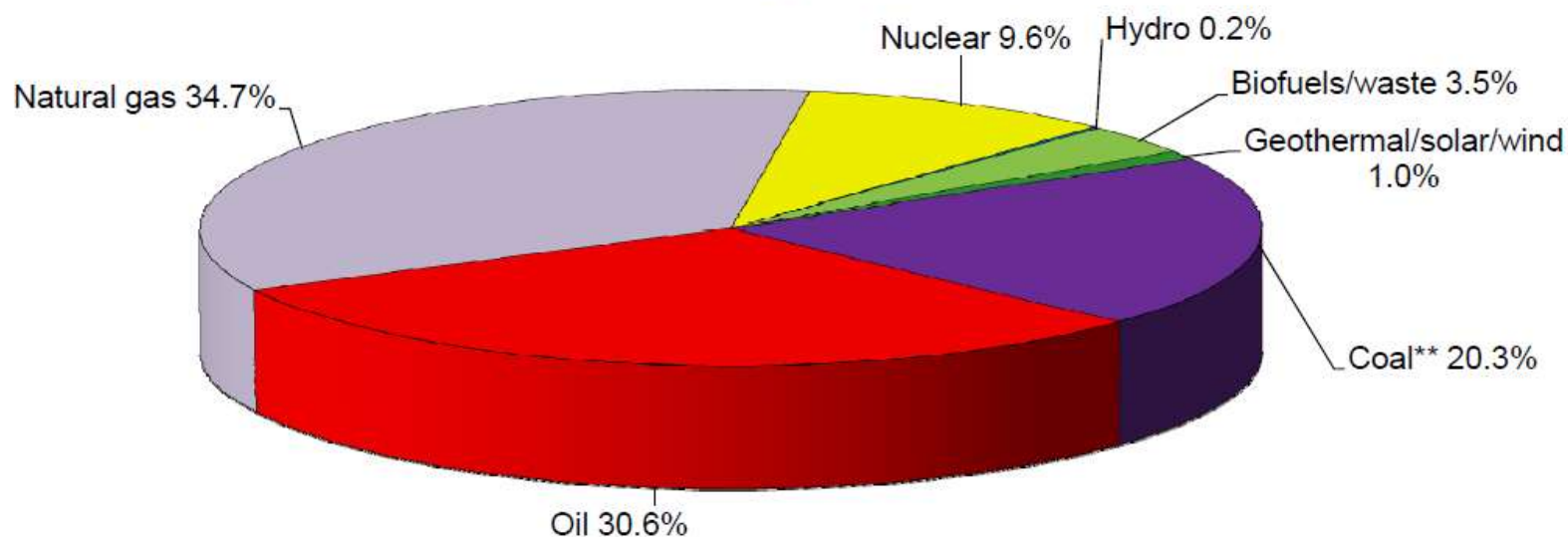
*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.



Share of total primary energy supply* in 2012

United Kingdom



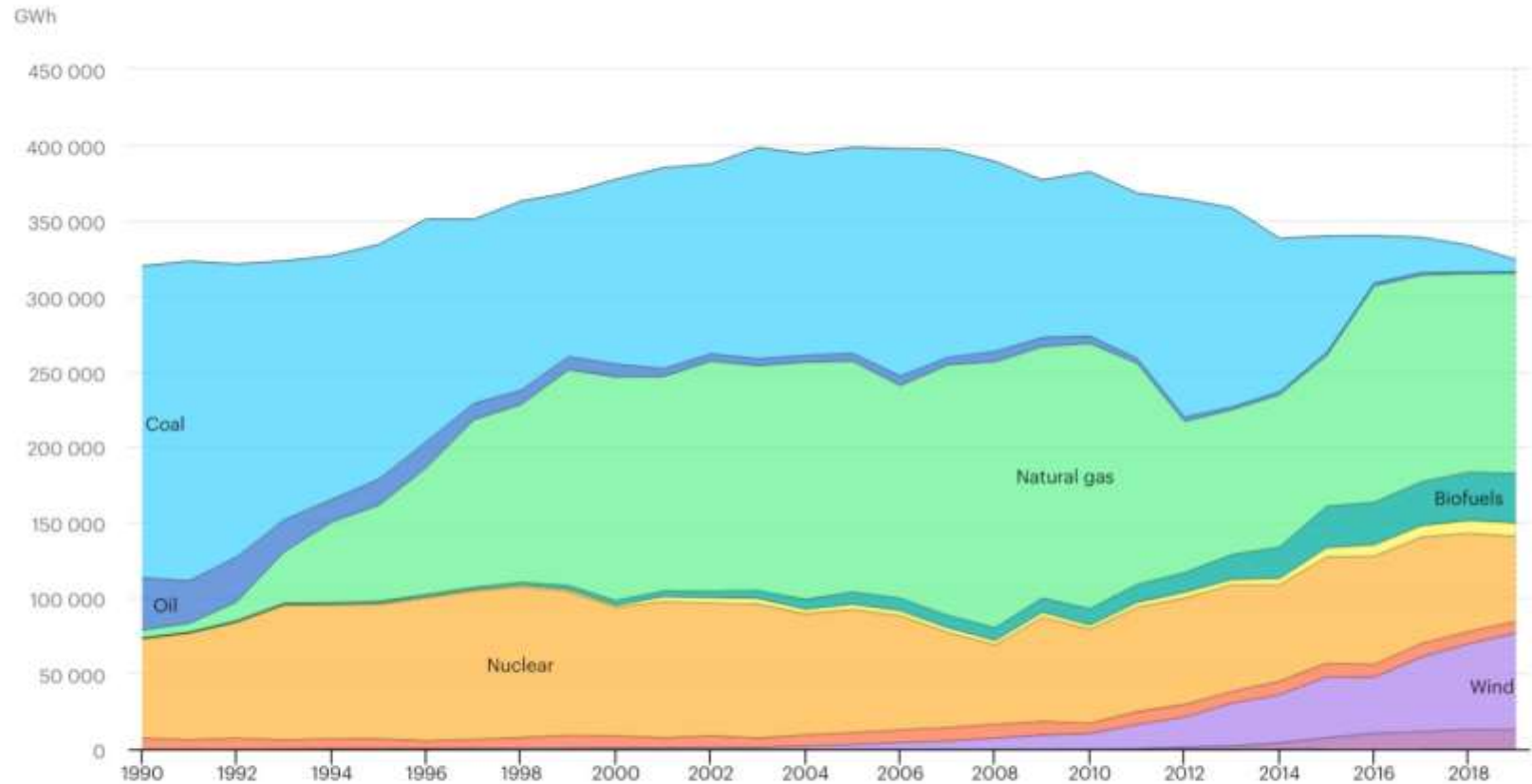
192 Mtoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

Electricity generation by source, United Kingdom 1990-2019



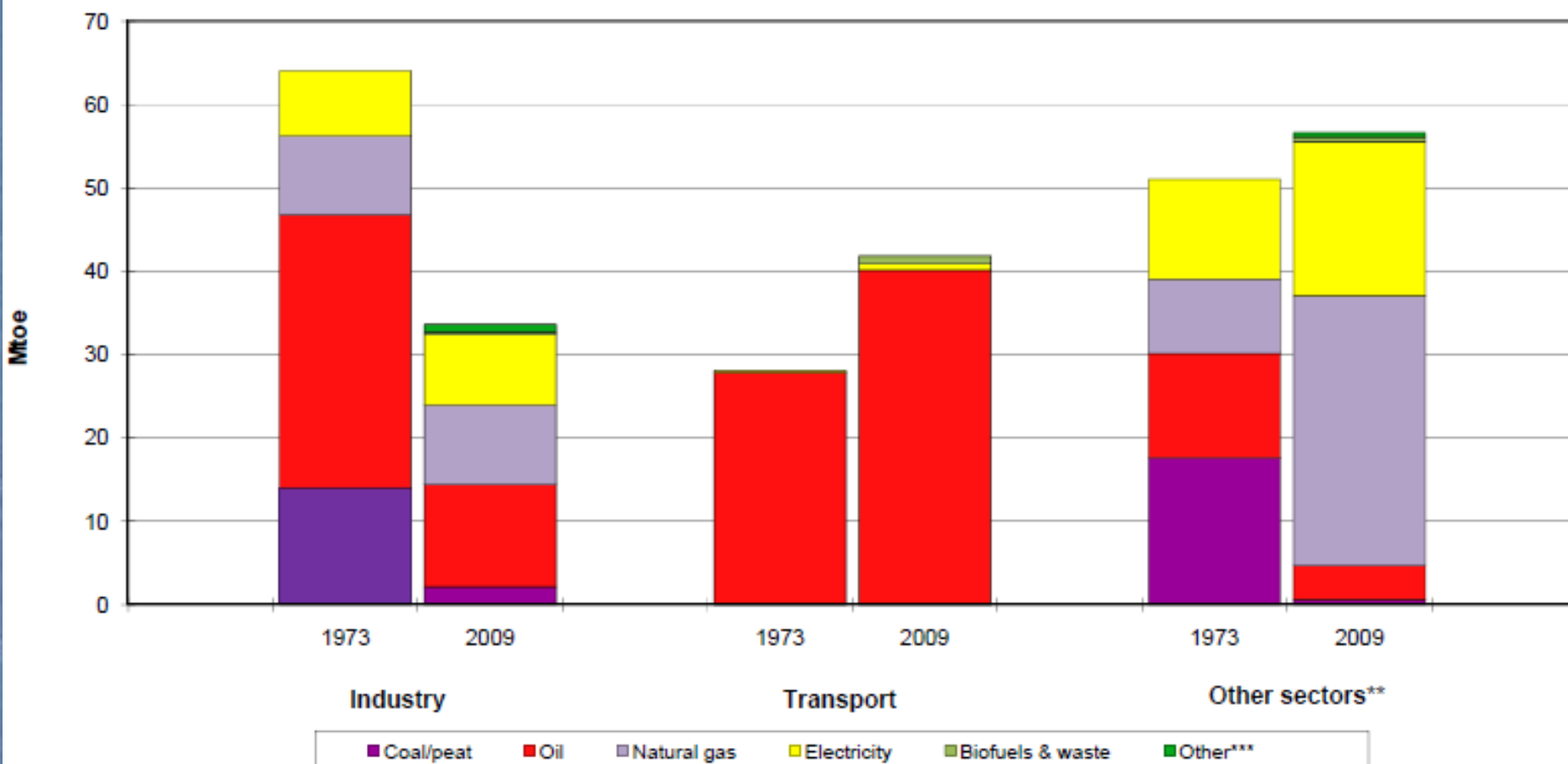
IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Wind Solar PV Tide



Breakdown of sectoral final consumption by source*

United Kingdom



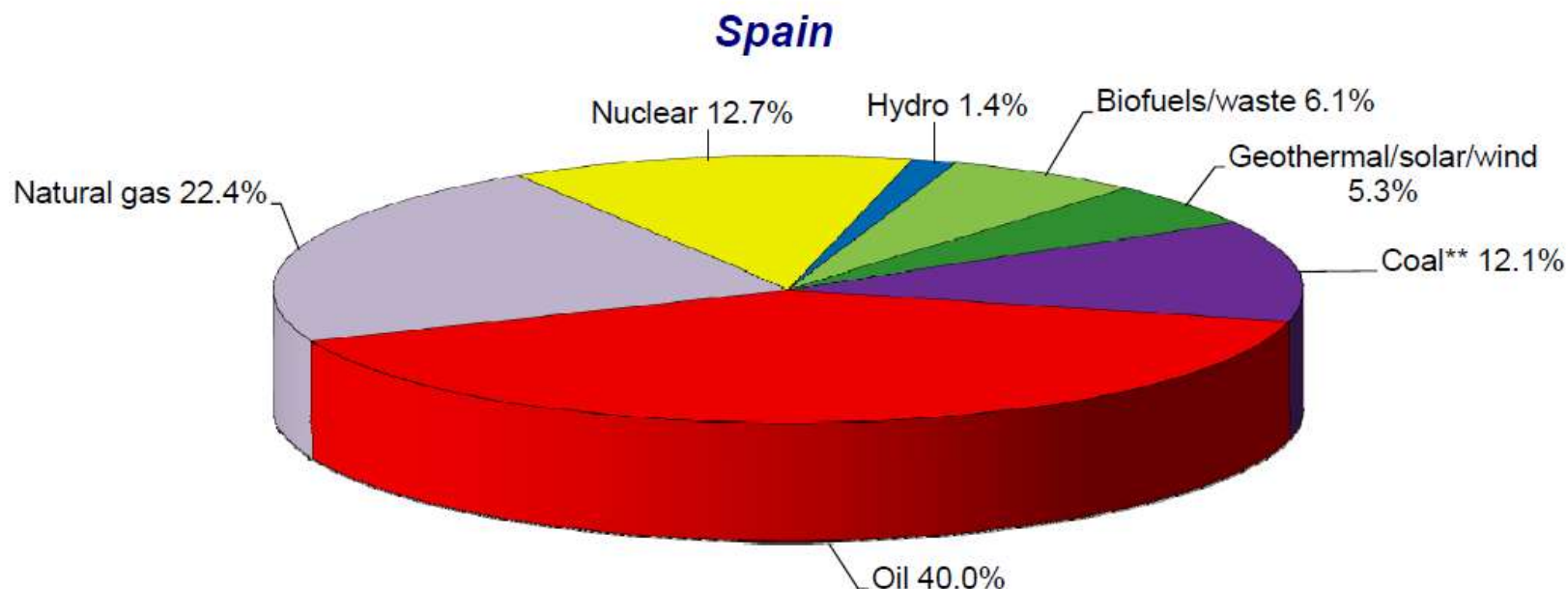
* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.



Share of total primary energy supply* in 2012



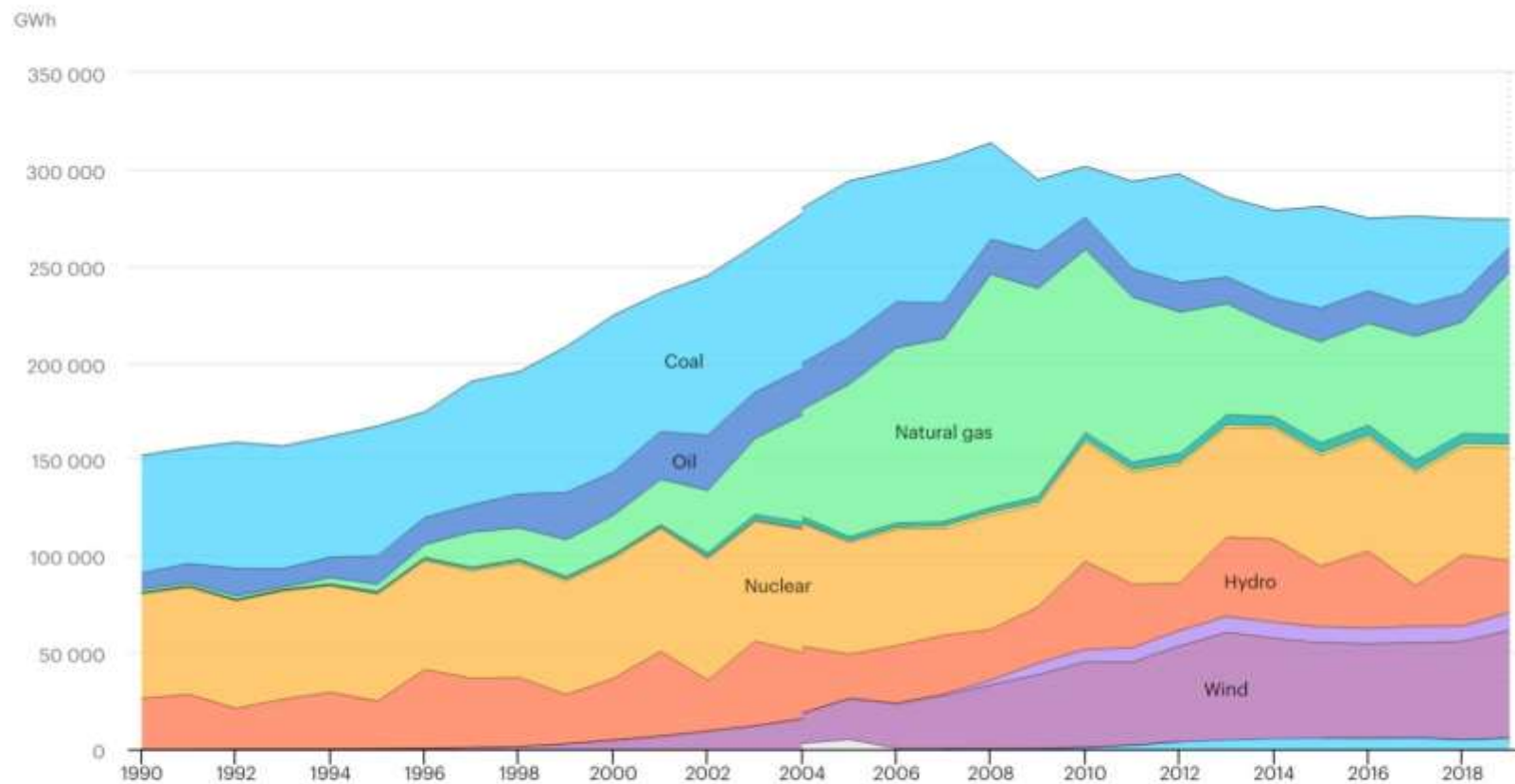
125 Mtoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

Electricity generation by source, Spain 1990-2019

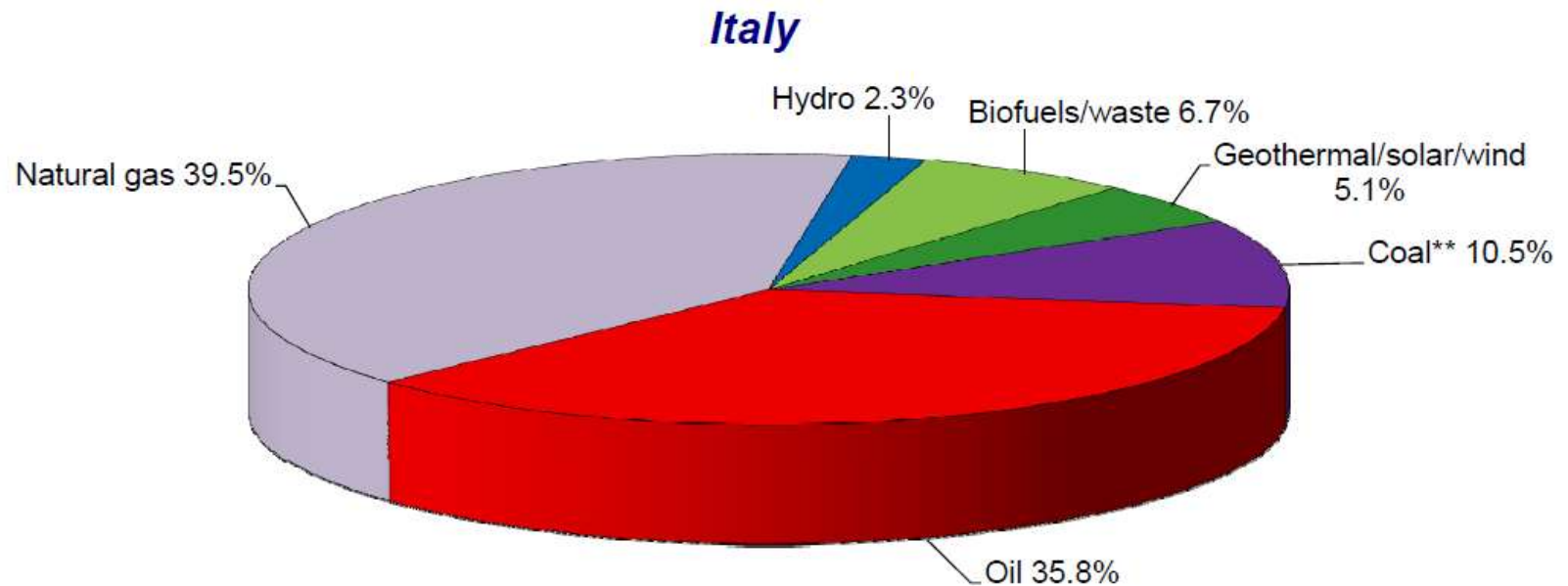


IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Solar PV Wind Other sources Solar thermal



Share of total primary energy supply* in 2012



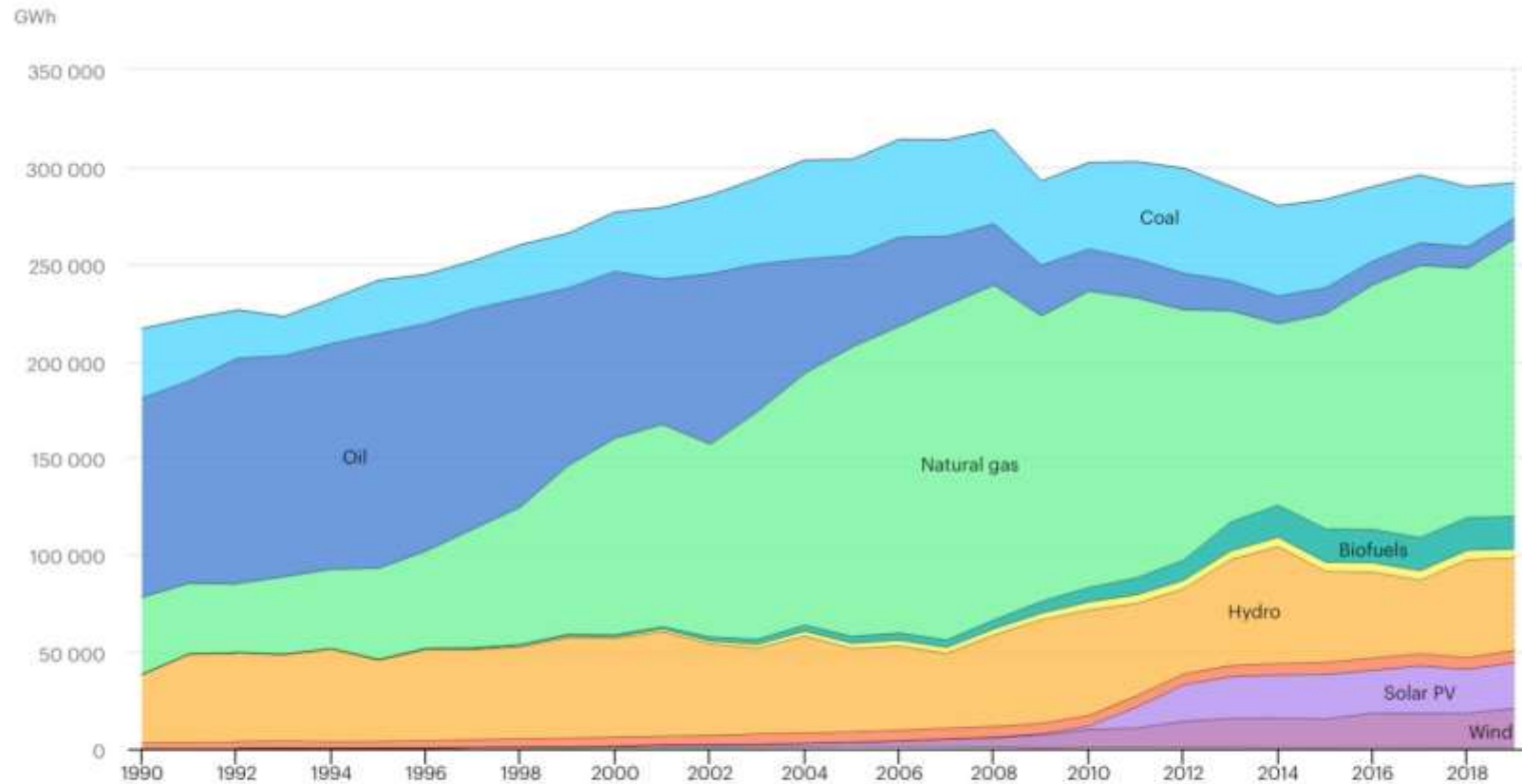
159 Mtoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

** In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

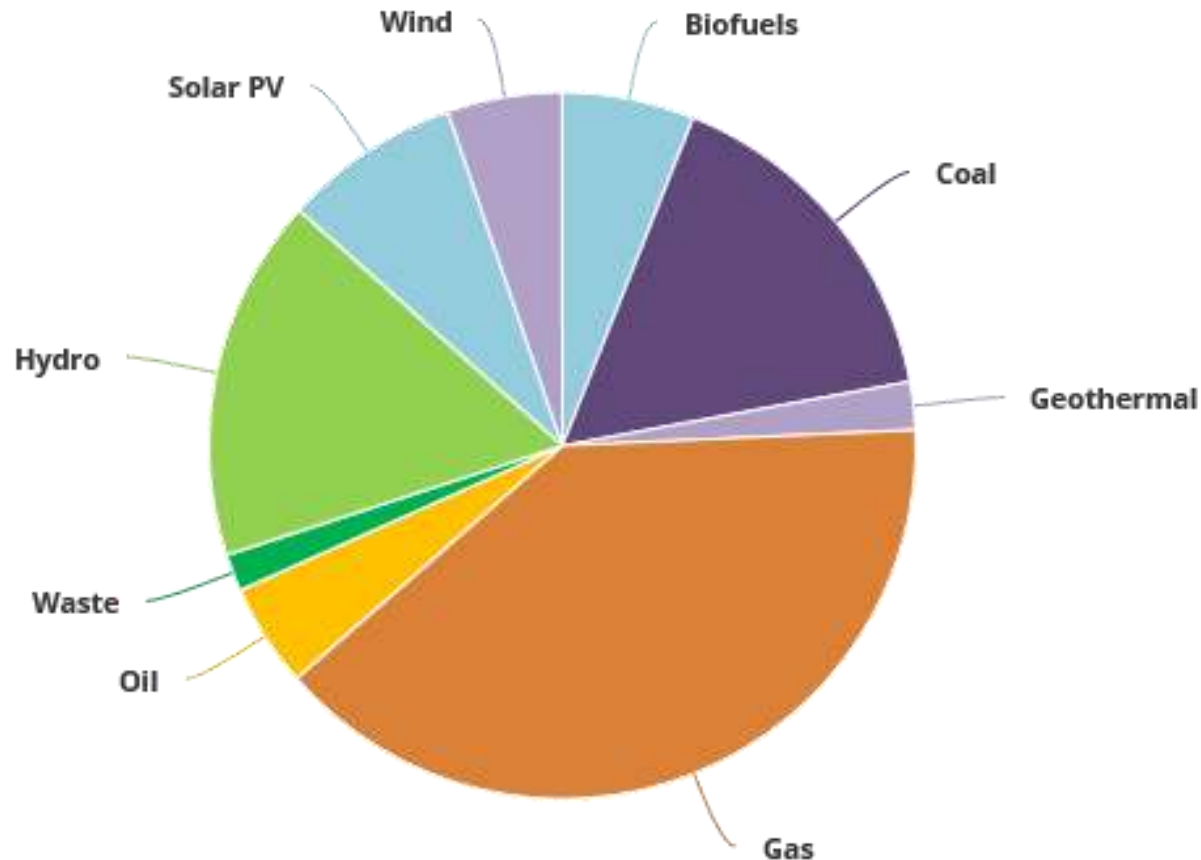
Electricity generation by source, Italy 1990-2019



IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Hydro Geothermal Solar PV Wind Other sources

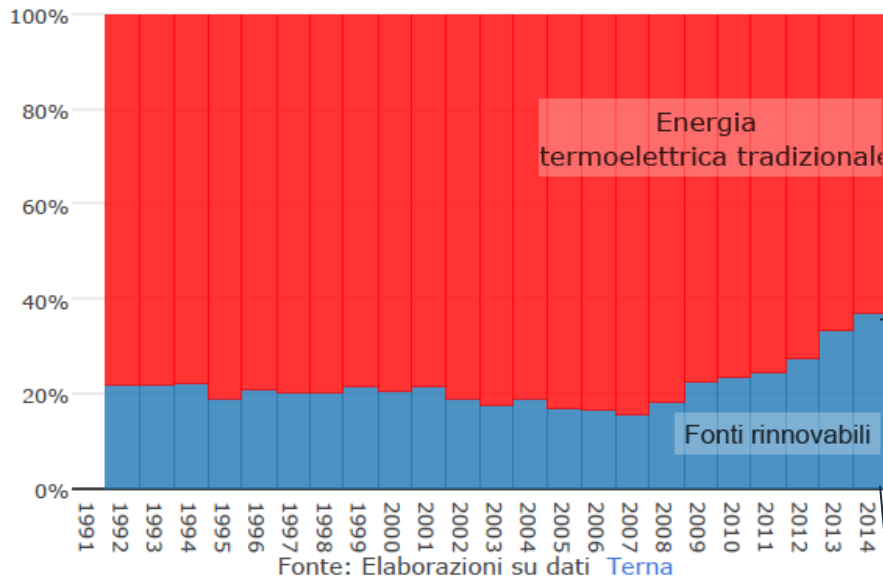
Generazione Elettrica per fonte (Italia 2015)



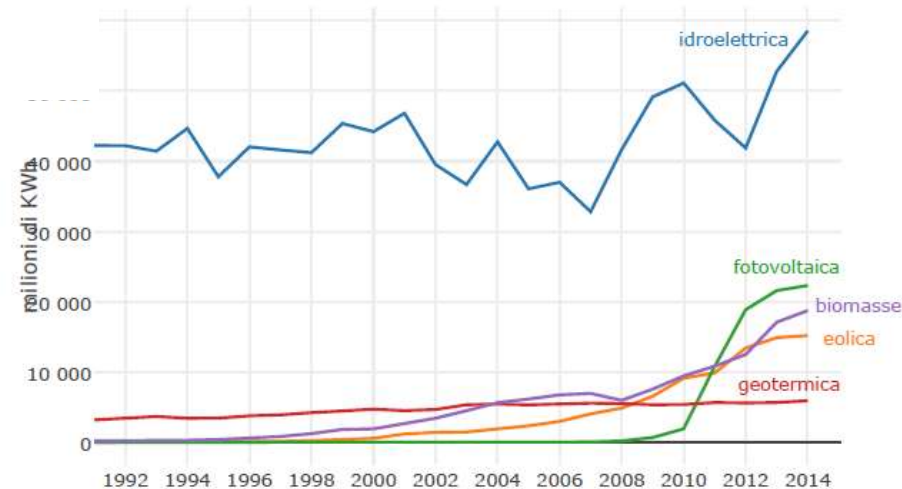
IEA Electricity Information 2017

Produzione elettrica italiana [1/2]

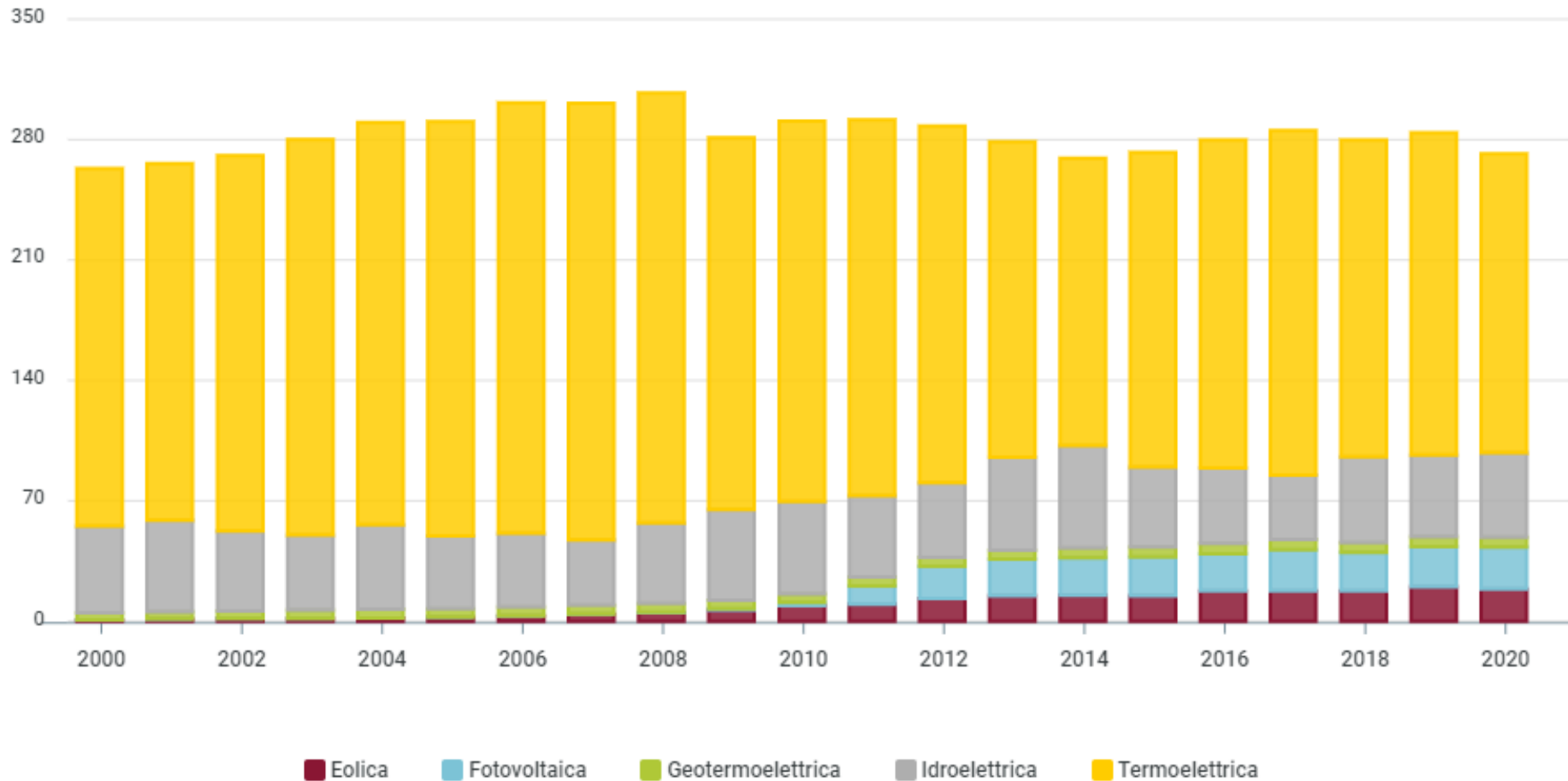
Distribuzione percentuale dell'energia prodotta in Italia per tipologia di fonte



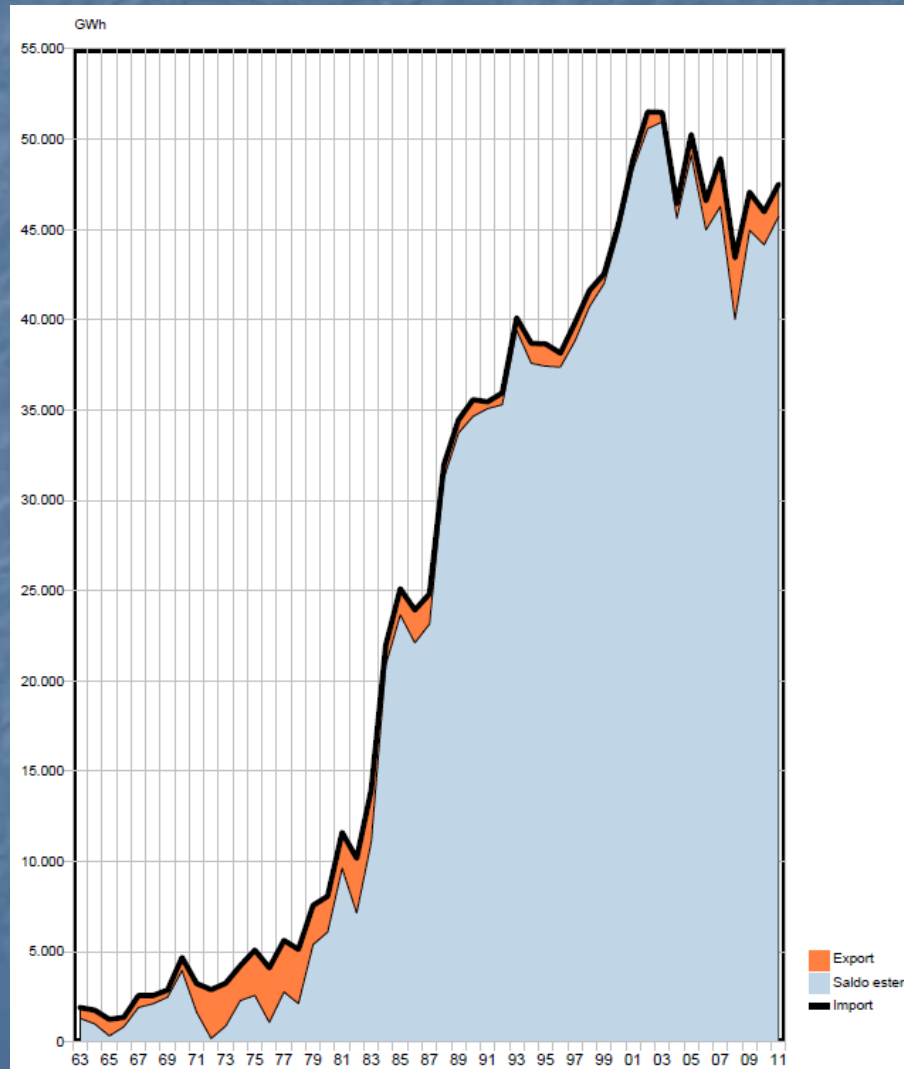
Energia elettrica da fonti rinnovabili



Produzione elettrica italiana [2/2]



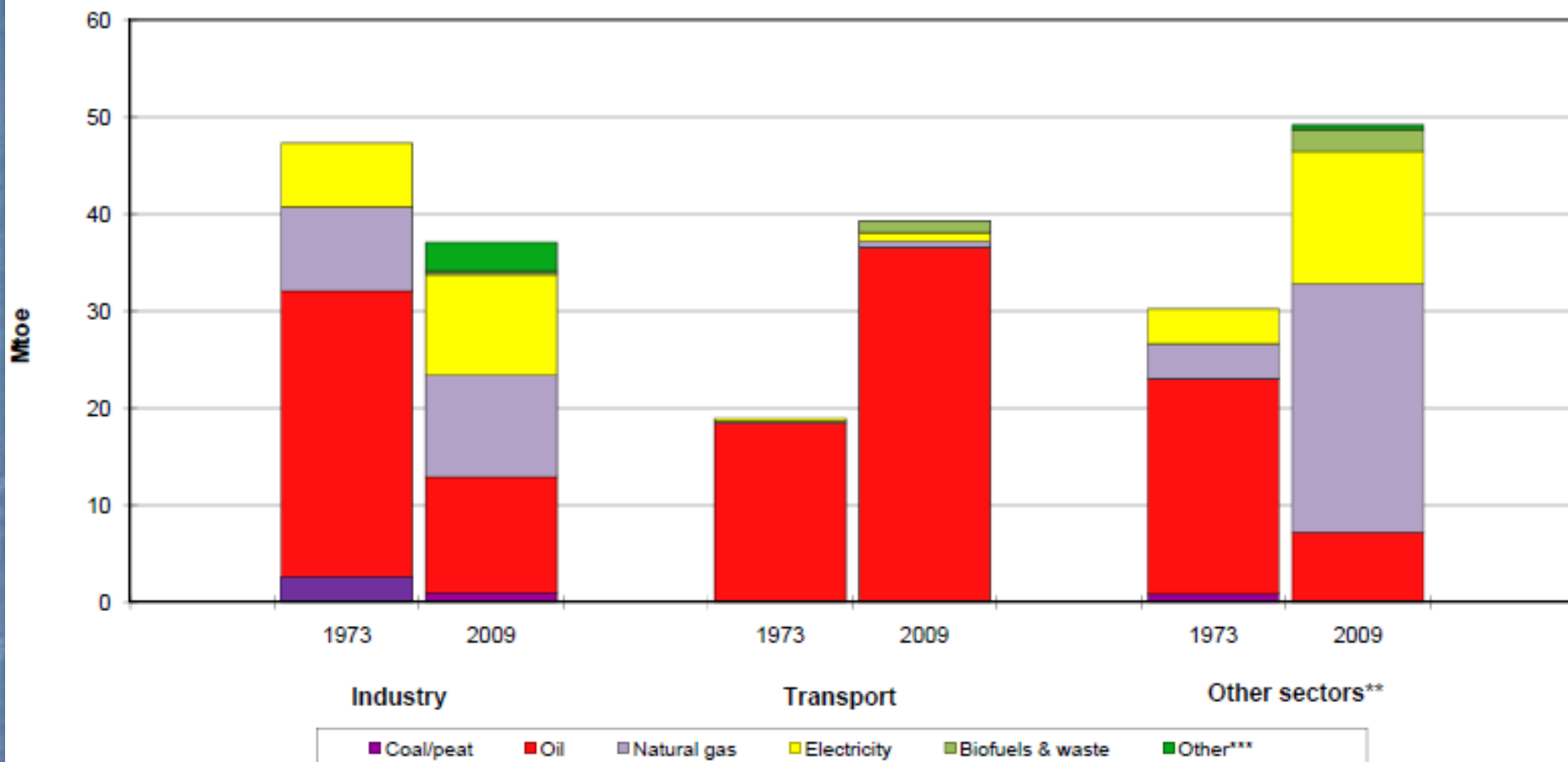
Scambi di energia elettrica tra l'Italia ed i Paesi confinanti





Breakdown of sectoral final consumption by source*

Italy



* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.

Fonti di energia - UE vs. Italia (2014)

FONTE	UE	ITALIA	NOTE
Petrolio	36,77%	38,01%	Comprendente lo 0,61% per l'UE e lo 0,29% per l'Italia di biocombustibili
Gas Naturale	21,61%	34,32%	
Carbone	16,74%	9,07%	
Nucleare	12,31%	—	
Rinnovabili:			
-Idroelettrico	5,20%	8,66%	
-Altre Rinnovabili	7,37%	9,94%	
TOTALE	100,0%	100,0%	

- Nell'UE il consumo di energia presenta una riduzione dell'11.6% nel decennio e del 3.85% nell'ultimo anno (la quota di energia mondiale consumata nell'UE è passata dal 17.3% al 12.5% in 10 anni)
- In Italia il consumo di energia presenta una riduzione del 19.6% in 10 anni e del 5.7% nell'ultimo anno (la quota di energia mondiale consumata in Italia è passata dall'1.76% al 1.15%)

Consumo italiano per fonti (2019-2020)

- Nel 2020 il consumo energetico in Italia, dove la pandemia si è manifestata con particolare virulenza, è stato di 5.86 esajoule con una contrazione del 9.3% rispetto al 2019
- Il consumo italiano è stato pari a **1.053%** del consumo mondiale
- Nella singolarità italiana, caratterizzata dall'assenza del nucleare e dalla presenza marginale del carbone, il consumo di petrolio ma soprattutto del gas naturale è nettamente superiore a quello medio mondiale
- La CO₂ emessa è stata pari a 0.89% delle emissioni mondiali
- Si evidenzia inoltre che il totale delle **fonti fossili** nel 2020 è dell'**80.8%**

	2019	2020
Petrolio	38.7	35.6
Gas Naturale	39.6	41.6
Carbone	4.4	3.6
Idroelettrico	6.4	7.0
Rinnovabili	10.1	11.4
Biocombustibili	0.8	0.8
TOTALE	100.0	100.0

Dipendenza italiana dalle importazioni per le fonti primarie di energia

- Da molti decenni l'Italia accusa una forte dipendenza energetica dalla importazione di tutte le fonti di energia fossili
- Negli ultimi anni tale dipendenza può essere quantizzata mediamente nel 90% per il petrolio e nel 95% per il gas naturale, le principali fonti fossili utilizzate in Italia
- Una differenza importante tra il petrolio ed il gas naturale, dipendente dalle caratteristiche fisiche delle due fonti energetiche, è la diversità nei costi di trasporto:
 - Il costo del trasporto del petrolio con petroliere è mediamente inferiore a quello mediante oleodotto; attualmente in Europa l'80% viene trasportato mediante petroliere ed il 20% via oleodotto
 - Nel caso del gas il costo del GNL è normalmente superiore a quello via gasdotto; attualmente il gas viene trasportato per circa il 90% via gasdotto ed il 10% come GNL

Trasporto del gas naturale

- Occorrono grandi investimenti per costruire un gasdotto, che spesso deve attraversare diversi Paesi, talvolta con tratti sia terrestri che sottomarini, naturalmente a condizione di aver superato complesse problematiche geopolitiche
- Nell'area euroasiatica ad esempio gli attuali gasdotti presentano uno sviluppo di migliaia di chilometri (fino a 7000 km) e costi che raggiungono le decine di miliardi di euro
- Usando navi metaniere, che trasportano il gas naturale liquefatto (GNL) in serbatoi a pressione atmosferica e temperature dell'ordine di -160°C , il gas viene preliminarmente convogliato verso gli impianti costieri di liquefazione e stoccaggio; dopo il trasporto via nave, viene scaricato in depositi costieri attrezzati con impianti di rigassificazione e successivamente convogliato nei gasdotti nazionali
- Il costo del gas naturale da GNL, per le infrastrutture che richiede, è tendenzialmente superiore a quello attraverso un gasdotto e, nei periodi di prezzi medio e bassi del gas, può superare notevolmente il prezzo del gas via gasdotto anche per i maggiori costi di esercizio

Fonti approvvigionamento del gas (Italia)

- L'acquisto di gas naturale nel 2021 è stato di 72.7 miliardi di metri cubi standard (Smc) sia da gasdotto che come GNL:
 - 62.9 miliardi Smc da gasdotto
 - 9.8 miliardi Smc come LNG
- L'acquisto del gas naturale è stato effettuato nel 2021 dai Paesi seguenti [in % del gas naturale consumato]:
 - Da gasdotto (totale 82.6 %):
 - **Russia: 38.2 %**
 - Algeria: 27.8 %
 - Azerbaijan: 9.5 %
 - Libia: 4.2 %
 - Nord Europa: 2.9 %
 - Come GNL (importato principalmente da Qatar e Algeria ed in misura minore da USA, Trinidad e Tobago, Nigeria, Norvegia): 13.1 %
- Il totale del gas importato è stato pari al 95.7 % di quello consumato: solo il 4.3% del gas naturale consumato è stato prodotto in Italia

Gasdotti e rigassificatori in Italia

■ In Italia il gas arriva da **6 metanodotti**:

- 2 dal Nord Europa (Norvegia ed Olanda)
- 2 dall'Est europeo (Russia ed Azerbaijan)
- 2 dal Nord Africa (Algeria e Libia)
- 3 entrano in Italia attraverso le Alpi
- 3 attraversano il mediterraneo ed approdano in Sicilia ed in Puglia

■ Il gas arriva inoltre come GNL in **3 rigassificatori**:

- Panigaglia in Liguria (costruito negli anni 60, capacità di 3.4 miliardi Smc)
- Porto Viro in Veneto (offshore, con capacità di 9 miliardi Smc)
- Livorno (offshore, con capacità 3.75 miliardi Smc)

■ Nel 2021 il gas naturale è arrivato dai gasdotti seguenti:

- **Trans Austria**, proveniente dalla Russia, avente una potenzialità di 47.5 miliardi Smc ed esercito mediamente al 63% della sua capacità massima
- **Trans Med**, proveniente dall'Algeria, avente una potenzialità di 30 miliardi Smc ed esercito mediamente al 70% della sua capacità massima
- **TAP**, proveniente dall'Azerbaijan, avente una potenzialità di 10 miliardi Smc ed esercito mediamente al 69% della sua capacità massima
- **Green Stream**, proveniente dalla Libia, con una potenzialità di 10 Smc ed esercito mediamente al 32% della sua capacità massima

■ Dai 2 gasdotti provenienti dal **Nord Europa** sono arrivate modeste quantità di Gas, trattandosi di campi metaniferi declinanti; una portata ridotta è pervenuta anche dalla **Libia** a causa della situazione di elevata instabilità del paese nordafricano

■ Il rigassificatore che ha operato maggiormente è stato quello di Porto Viro in Veneto, in quanto alimenta la centrale termoelettrica Enel di Porto Tolle; questo impianto è progettato per ricevere navi metaniere di grande tonnellaggio

Costi produzione

Fonte energetica	LCOE (€/MWh)	Mix Italia %	Mix UE27 %
Carbone	53-65	15	26
Gas	70-86	43	23
Idroelettrica	60-380	14	10
Eolica	102-152	4,5	6,5
Biomasse	129-276	3,0	3,0
Termovalorizzatori	47-118	1,2	0,2
Fotovoltaica	150-329	6,3	1,5
Geotermica	51-144	2,0	0,2
Nucleare	66-72	-	27
Olio e altri combustibili	≈ 70*	11	2,6
Costo medio di generazione	-	74 - 148	69-120

Notevoli differenze minimo - massimo per ciascuna fonte, a causa di:

- ore di produzione (es. gas, eolico, differenze legate all'ammortamento del capitale investito)
- taglia (es. fotovoltaico, idroelettrico, differenze legate alle economie di scala)
- tecnologia (es. biomasse, ben diversa la combustione di biogas o di legno)

Costi produzione - Italia vs. UE

La semplice media aritmetica sui valori estremi di LCOE per le diverse fonti, successivamente pesata in base al mix di produzione, fornisce come costi medi di generazione:

Italia 111 €/MWh UE 94,5 €/MWh (delta: 16,5 €/MWh, + 17%)

Un calcolo un po' più accurato, che tiene conto delle effettive ore di produzione delle principali tecnologie e della distribuzione di taglie dell'idroelettrico conduce ad un risultato lievemente diverso:

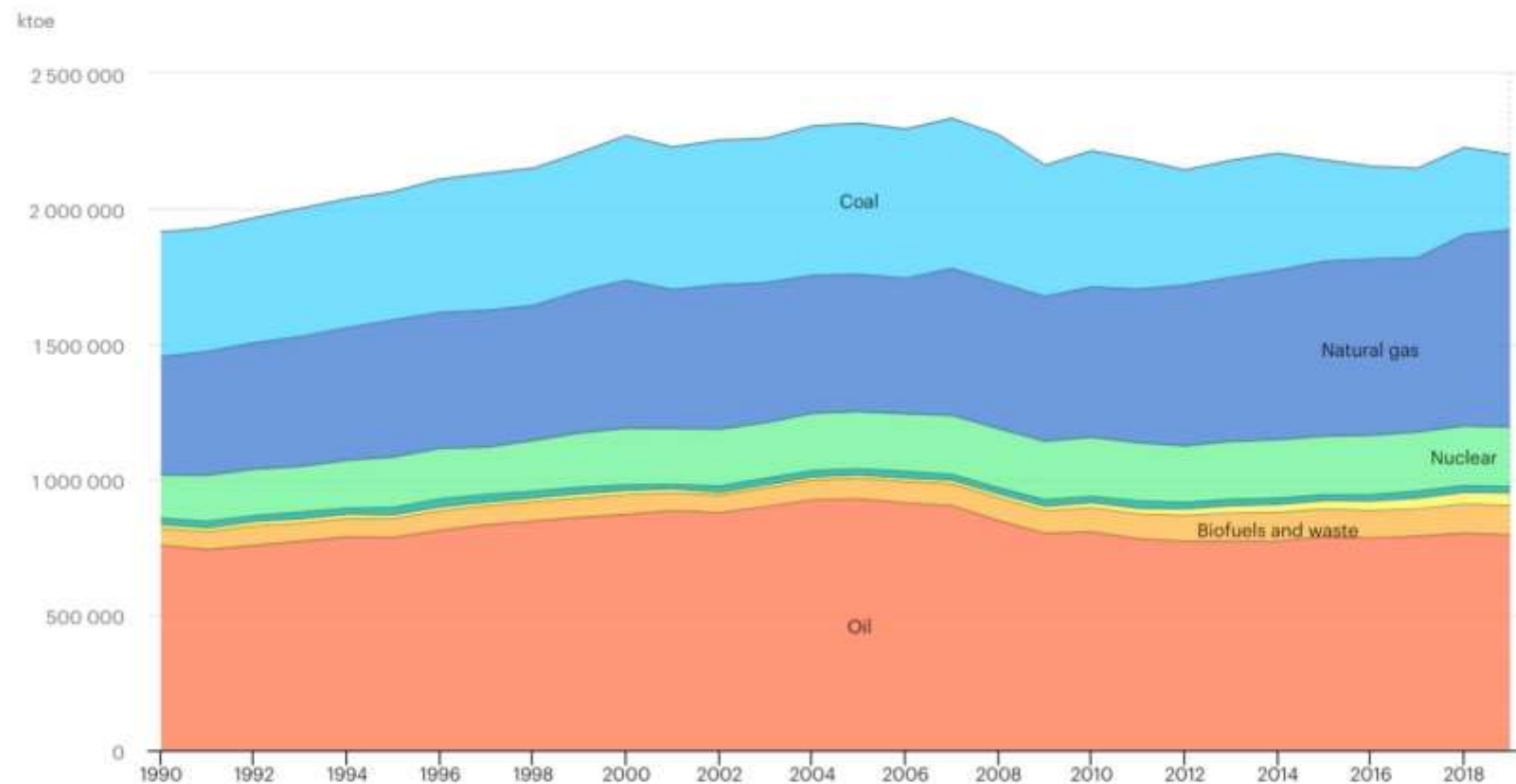
Italia 104,5 €/MWh UE 89,8 €/MWh (delta: 14,7 €/MWh, + 16%)

Con ragionevole approssimazione, il diverso mix di fonti determina per l'Italia un extra-costo dell'ordine di 15 €/MWh, equivalente a circa **4,5 MLD €/anno** (circa 8 % della «bolletta» elettrica nazionale)

Commenti su fonti energia in UE

- Nell'ambito dei maggiori paesi dell'UE il totale delle fonti rinnovabili, comprendente i biocombustibili, ammonta al 19.4% per la Spagna, al 18.9% per l'Italia, al 12.5% la Germania, al 9.7% per la Francia e al 8.0% per l'UK
- È interessante rilevare che l'incidenza delle fonti fossili nel 2014 che ammontava a livello mondiale all'85.7%, è del 74.5% per L'UE e dell'81.1% per l'Italia

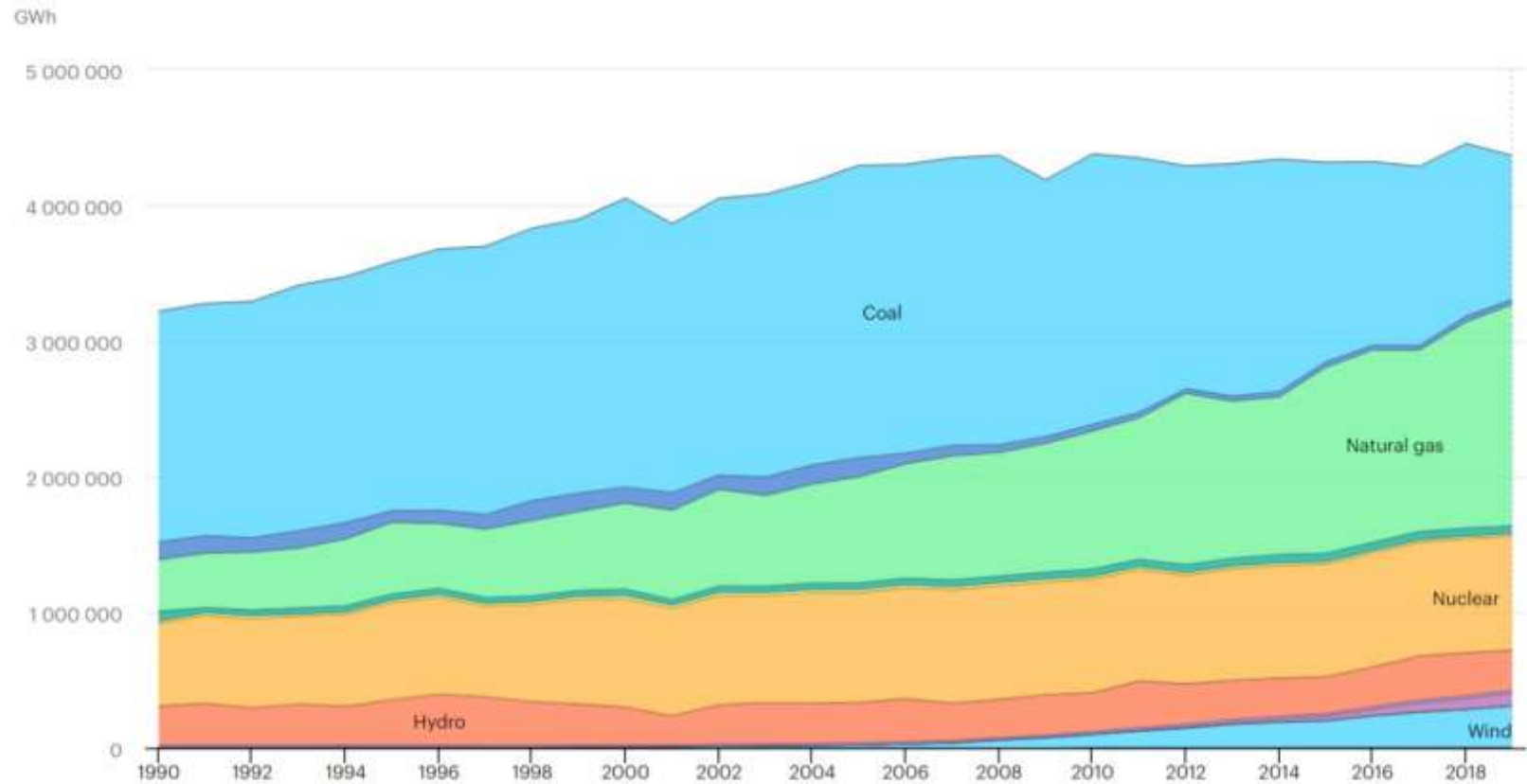
Total energy supply (TES) by source, United States 1990-2019



IEA. All rights reserved.

● Coal
● Natural gas
● Nuclear
● Hydro
● Wind, solar, etc.
● Biofuels and waste
● Oil

Electricity generation by source, United States 1990-2019



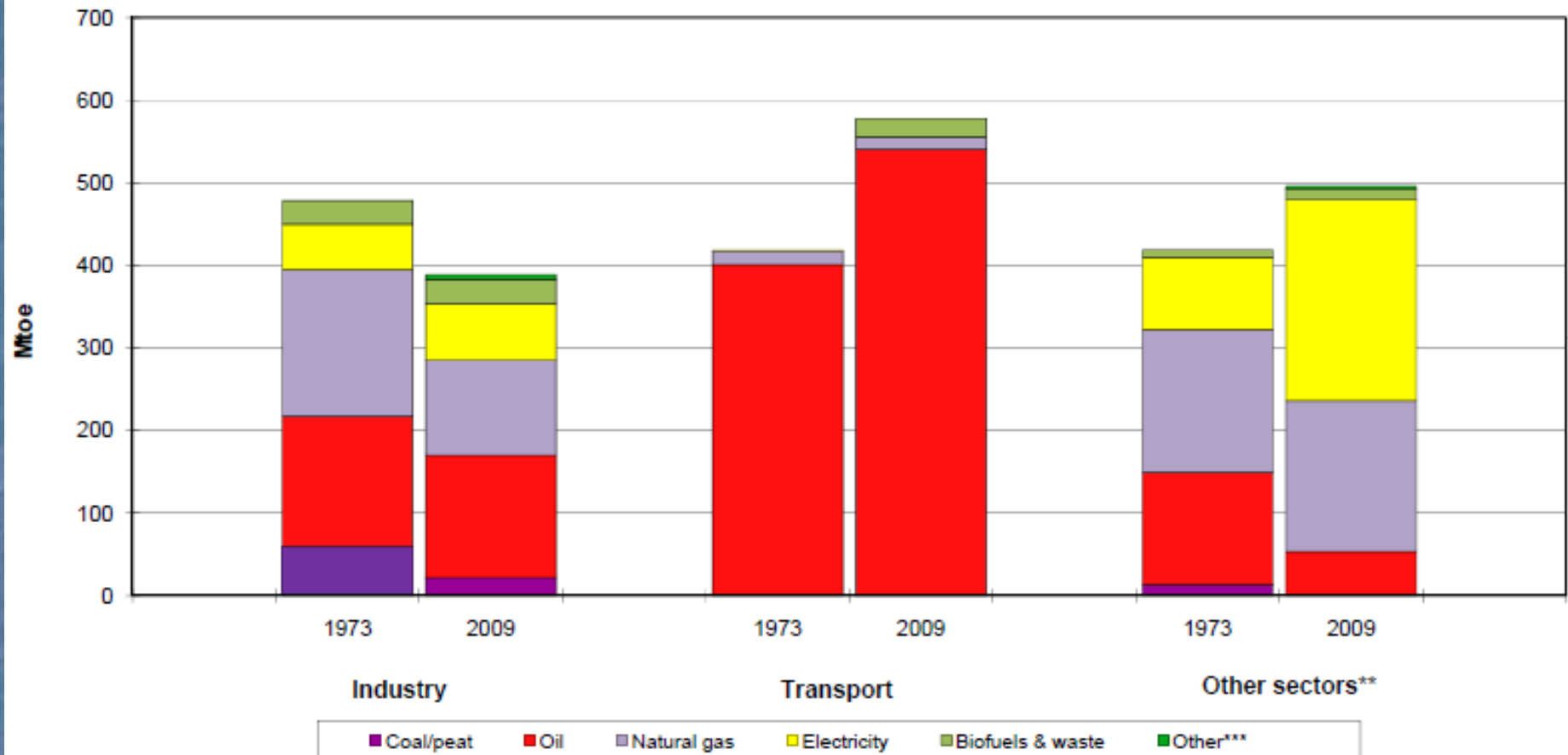
IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Geothermal Solar PV Solar thermal Wind Other sources



Breakdown of sectoral final consumption by source*

United States

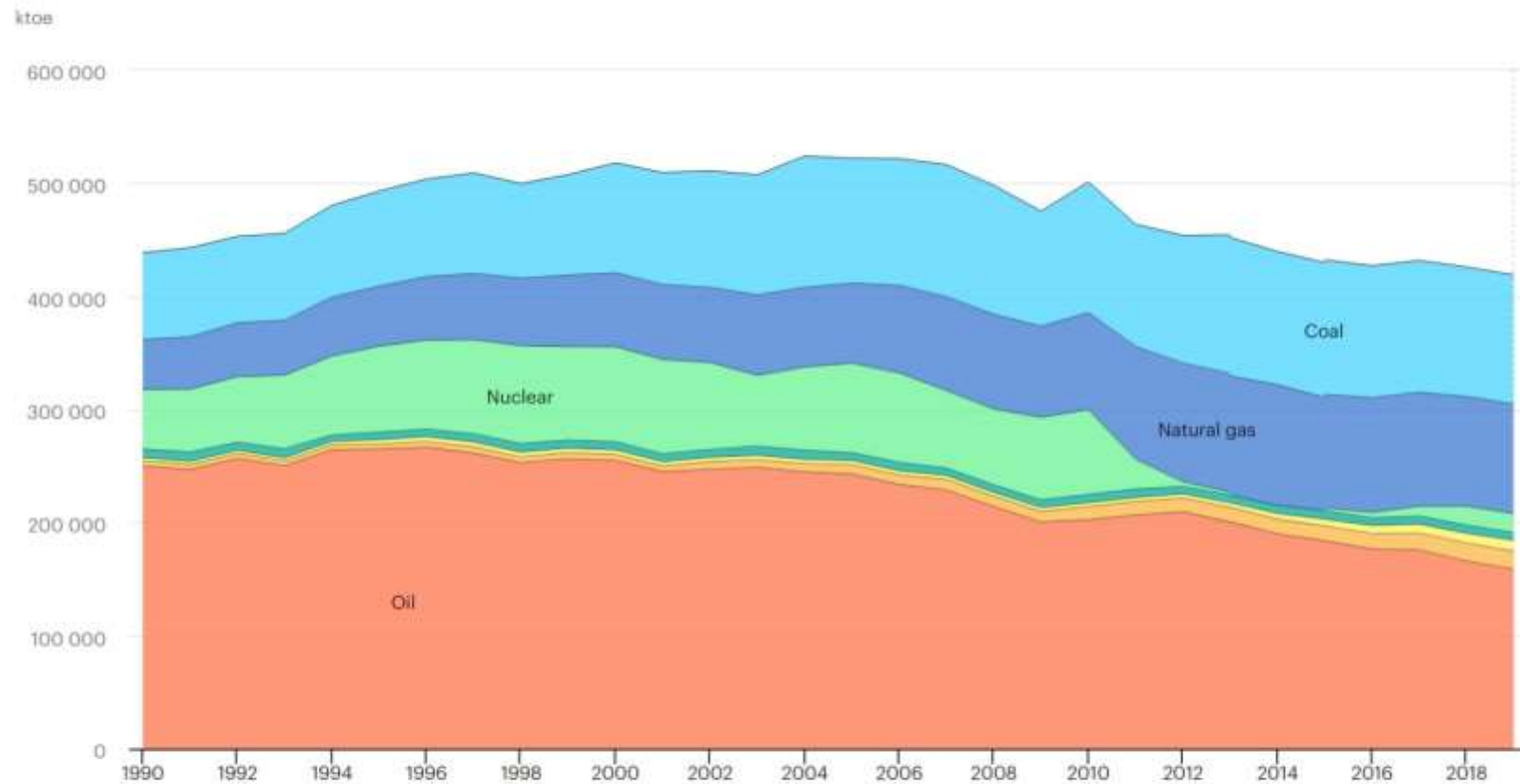


* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.

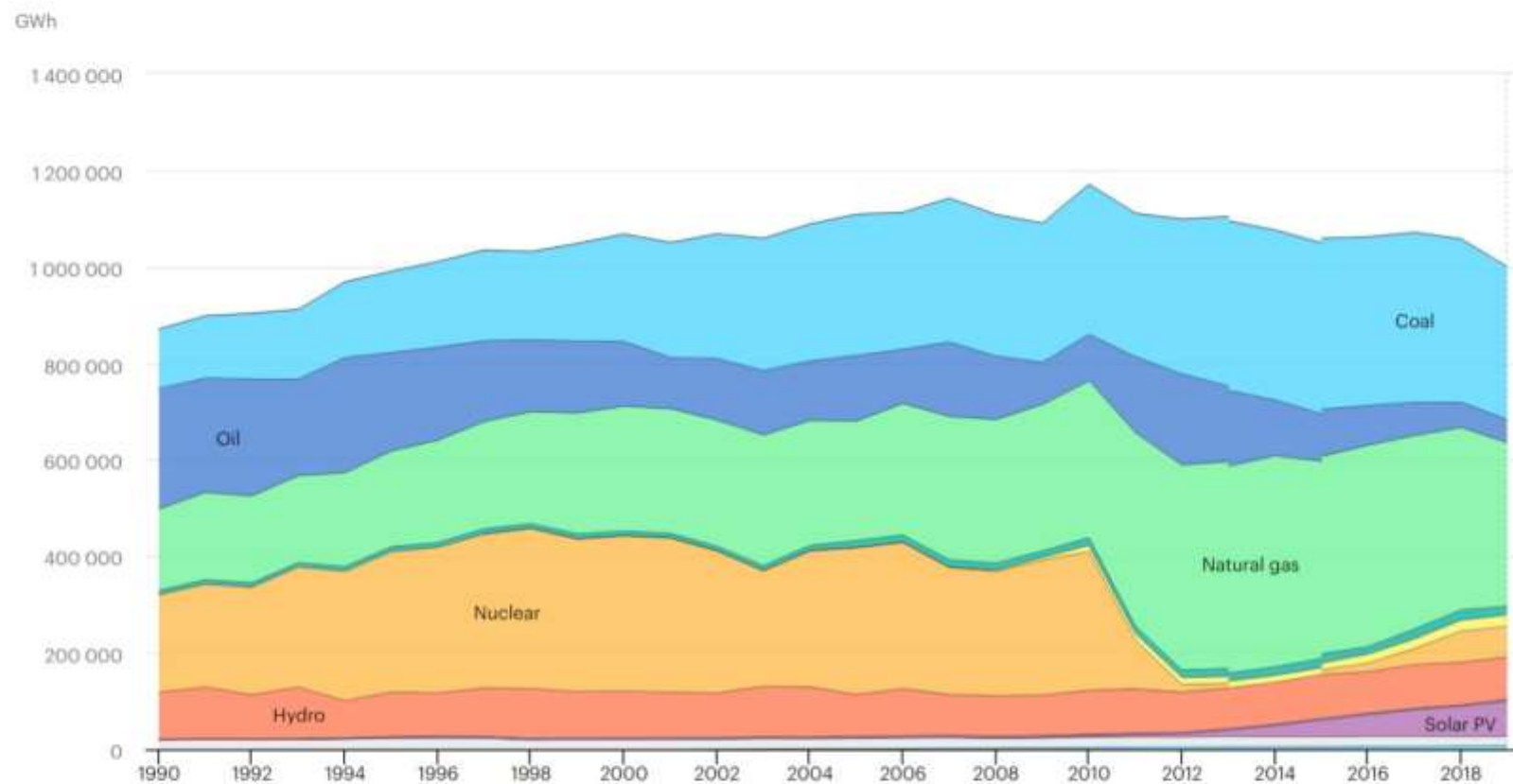
Total energy supply (TES) by source, Japan 1990-2019



IEA. All rights reserved.

Coal Natural gas Nuclear Hydro Wind, solar, etc. Biofuels and waste Oil

Electricity generation by source, Japan 1990-2019



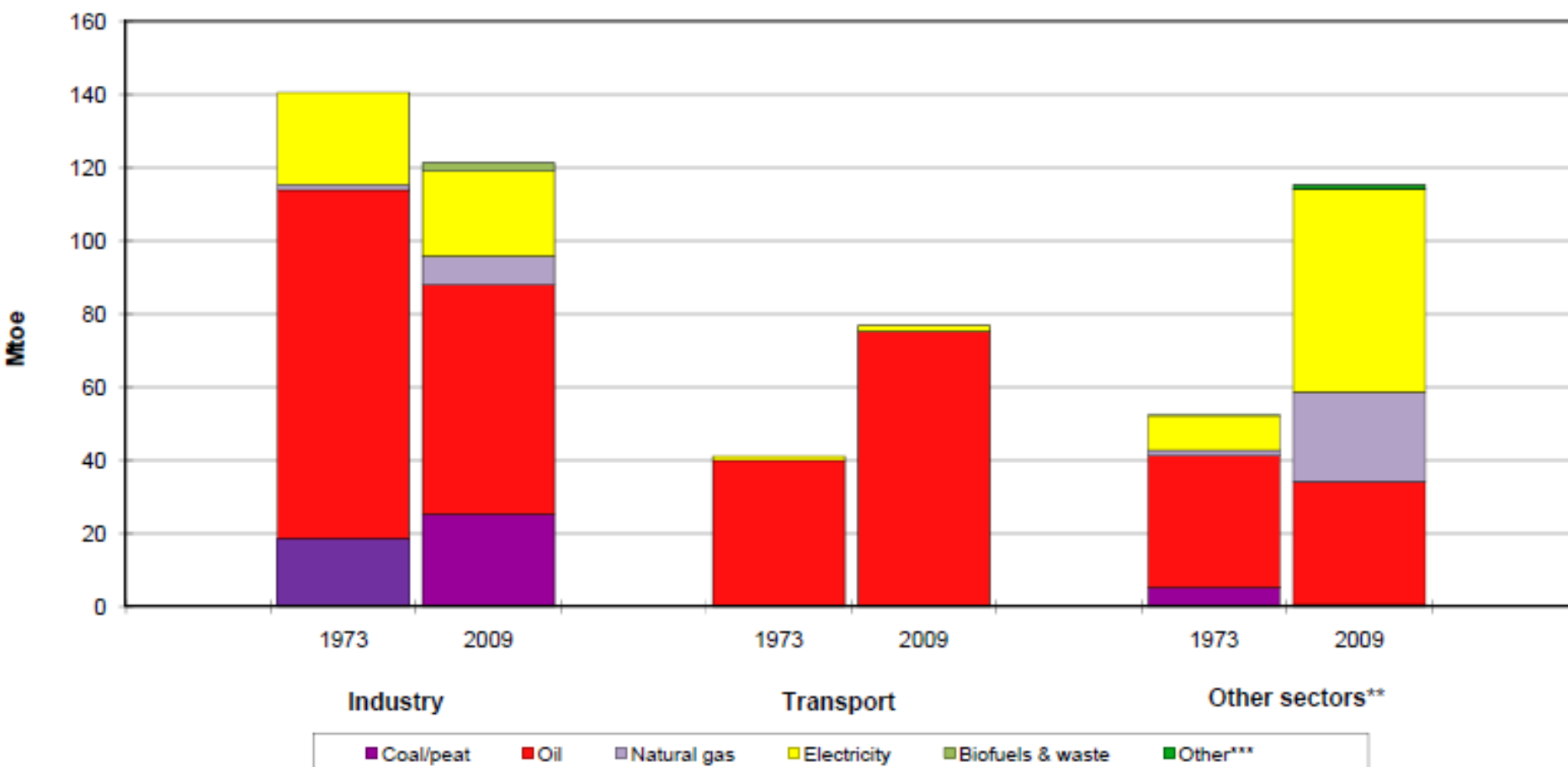
IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Biofuels Waste Nuclear Hydro Geothermal Solar PV Other sources Wind



Breakdown of sectoral final consumption by source*

Japan

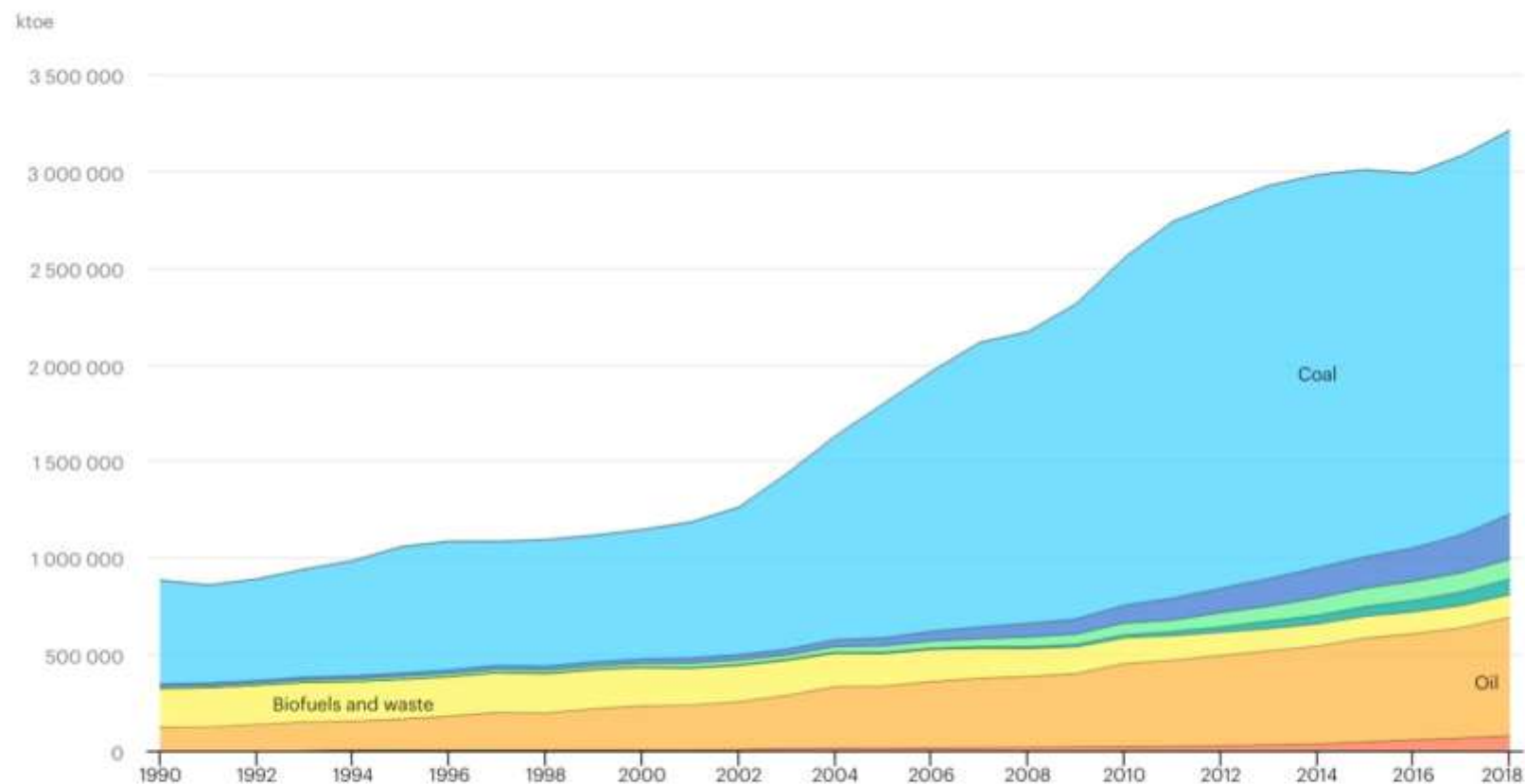


* Includes non-energy use.

** Includes residential, commercial and public services, agriculture/forestry, fishing and non-specified.

*** Includes direct use of geothermal/solar thermal and heat produced in CHP/heat plants.

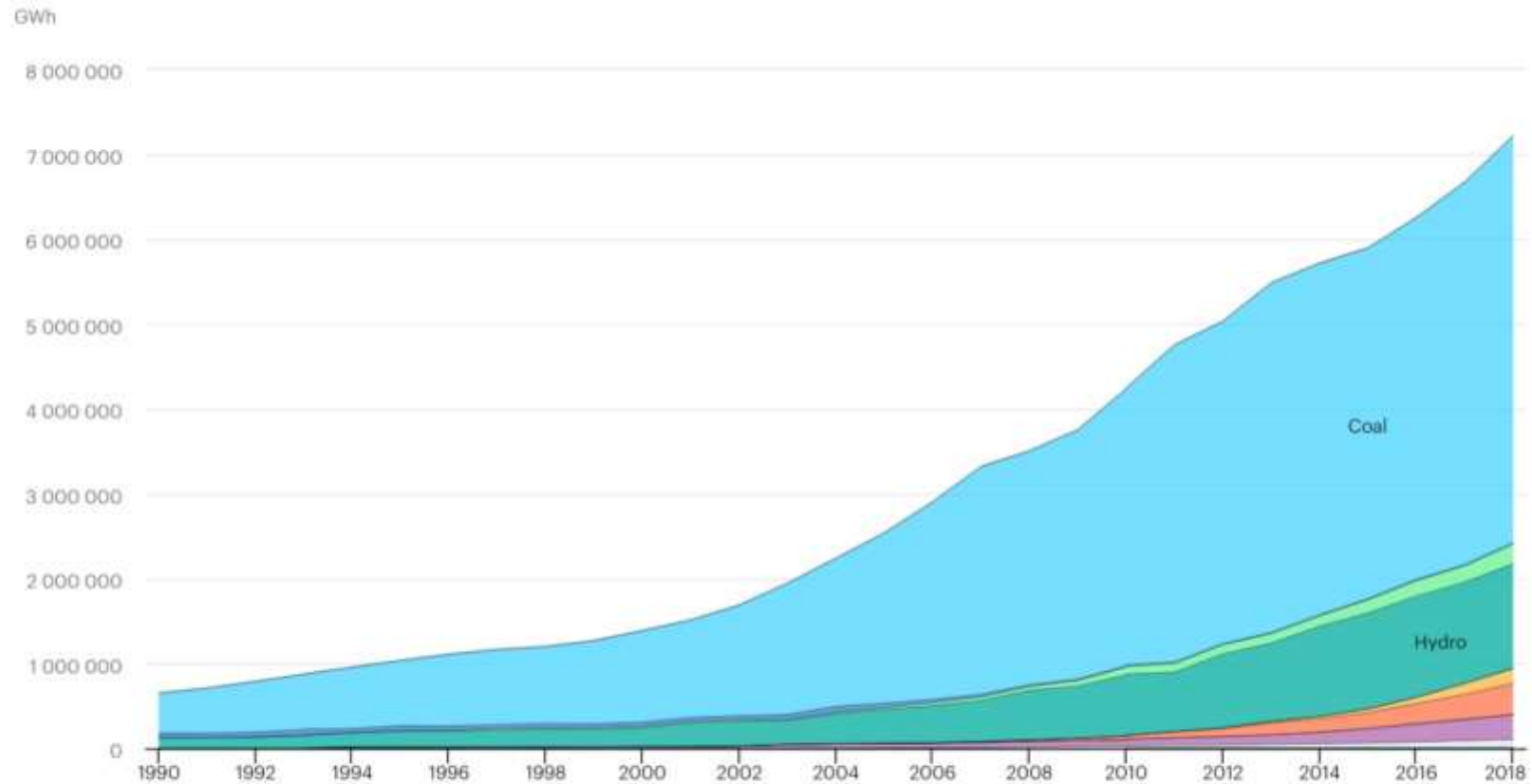
Total energy supply (TES) by source, China (People's Republic of China and Hong Kong China) 1990-2018



IEA. All rights reserved.

Coal Natural gas Hydro Wind, solar, etc. Biofuels and waste Oil Nuclear

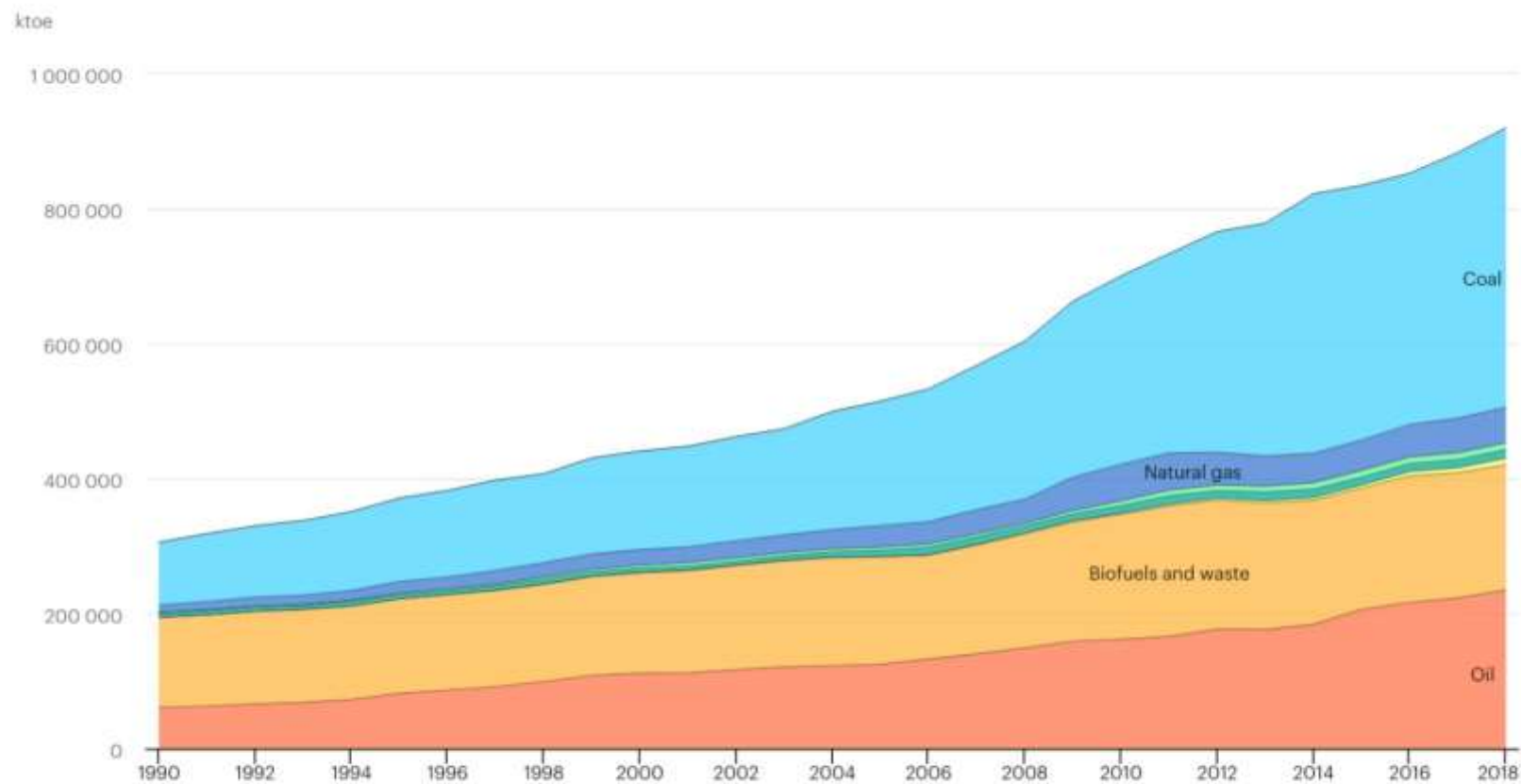
Electricity generation by source, China (People's Republic of China and Hong Kong China) 1990-2018



IEA. All rights reserved.

Coal Oil Natural gas Hydro Geothermal Solar PV Wind Tide Nuclear Biofuels Waste Solar thermal

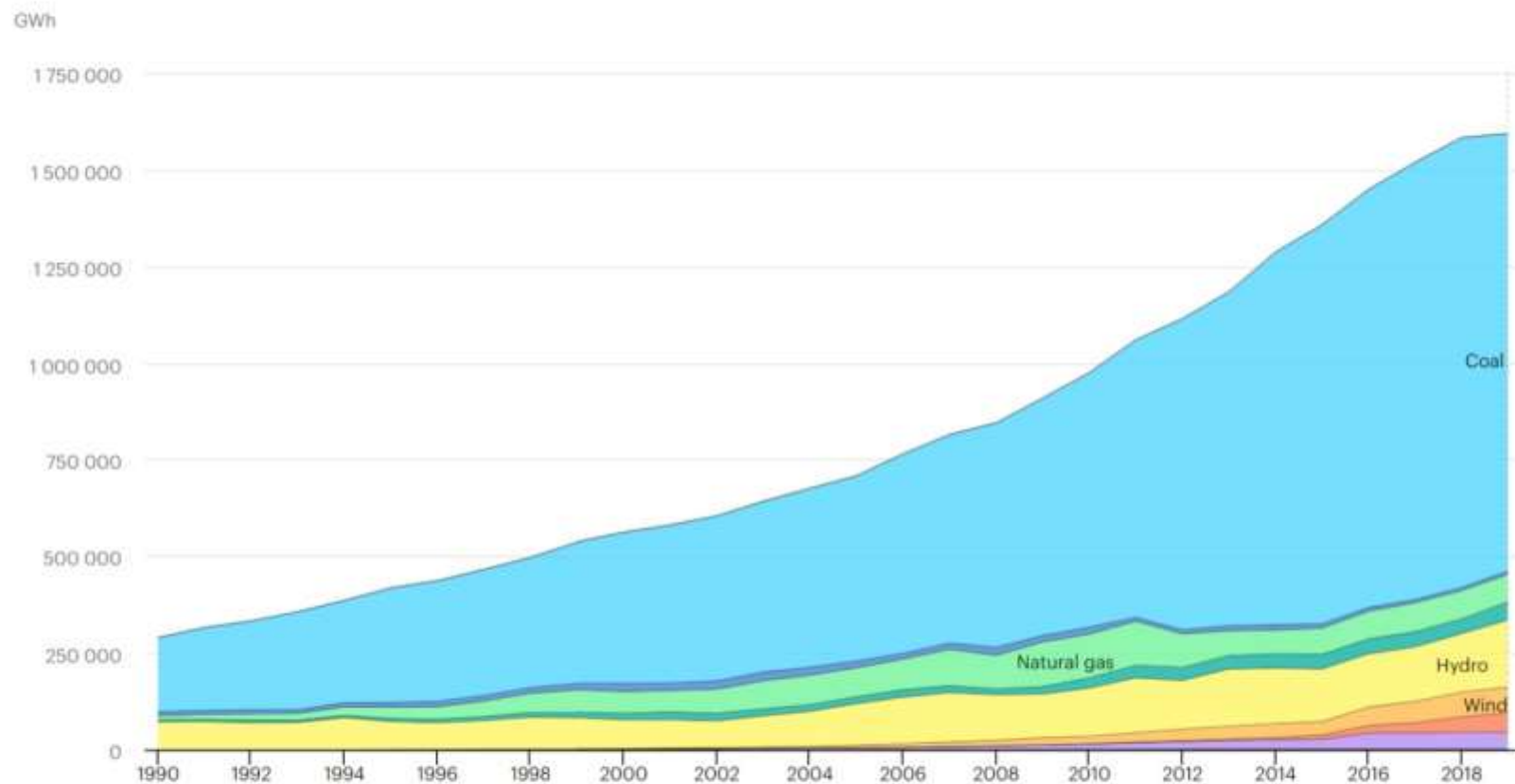
Total energy supply (TES) by source, India 1990-2018



IEA. All rights reserved.

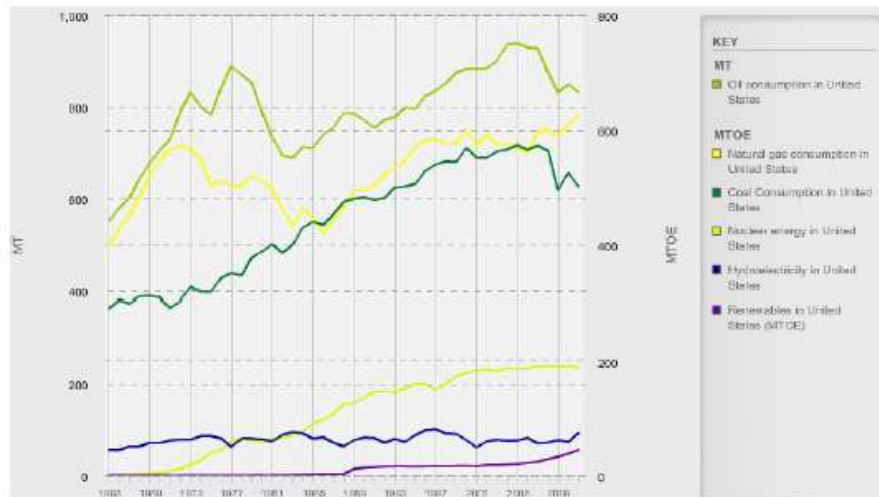
Coal Natural gas Nuclear Hydro Wind, solar, etc. Biofuels and waste Oil

Electricity generation by source, India 1990-2019

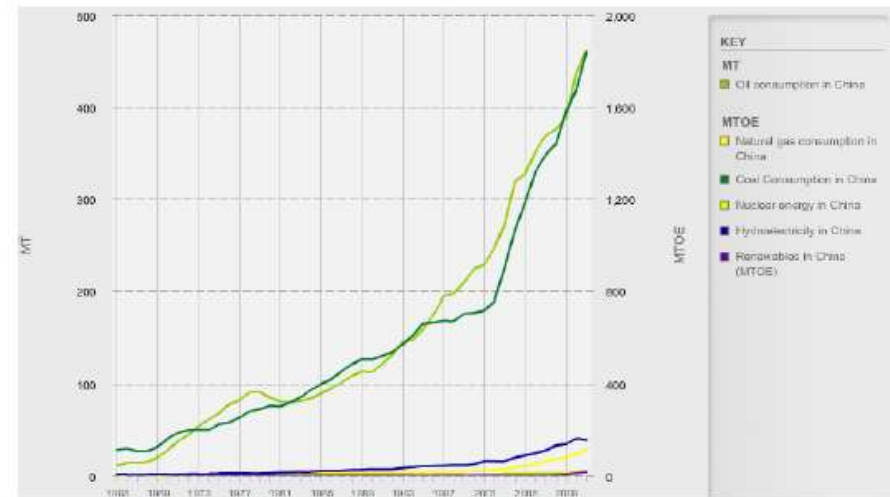


IEA. All rights reserved.

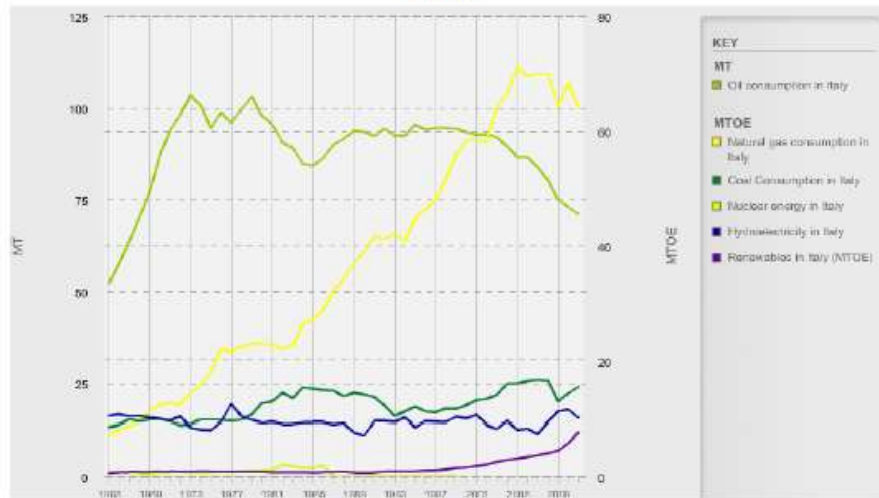
USA



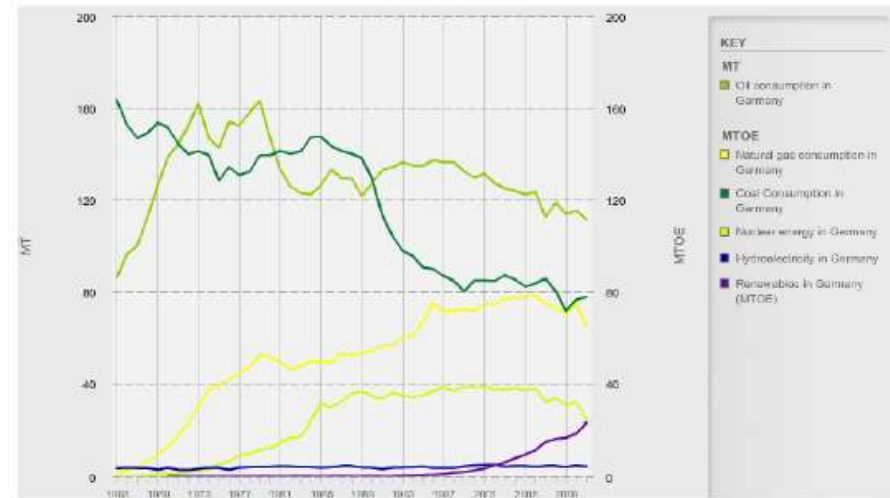
Cina



Italia



Germania



Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2012, bp.com/statisticalreview

Rinnovabili nel mondo

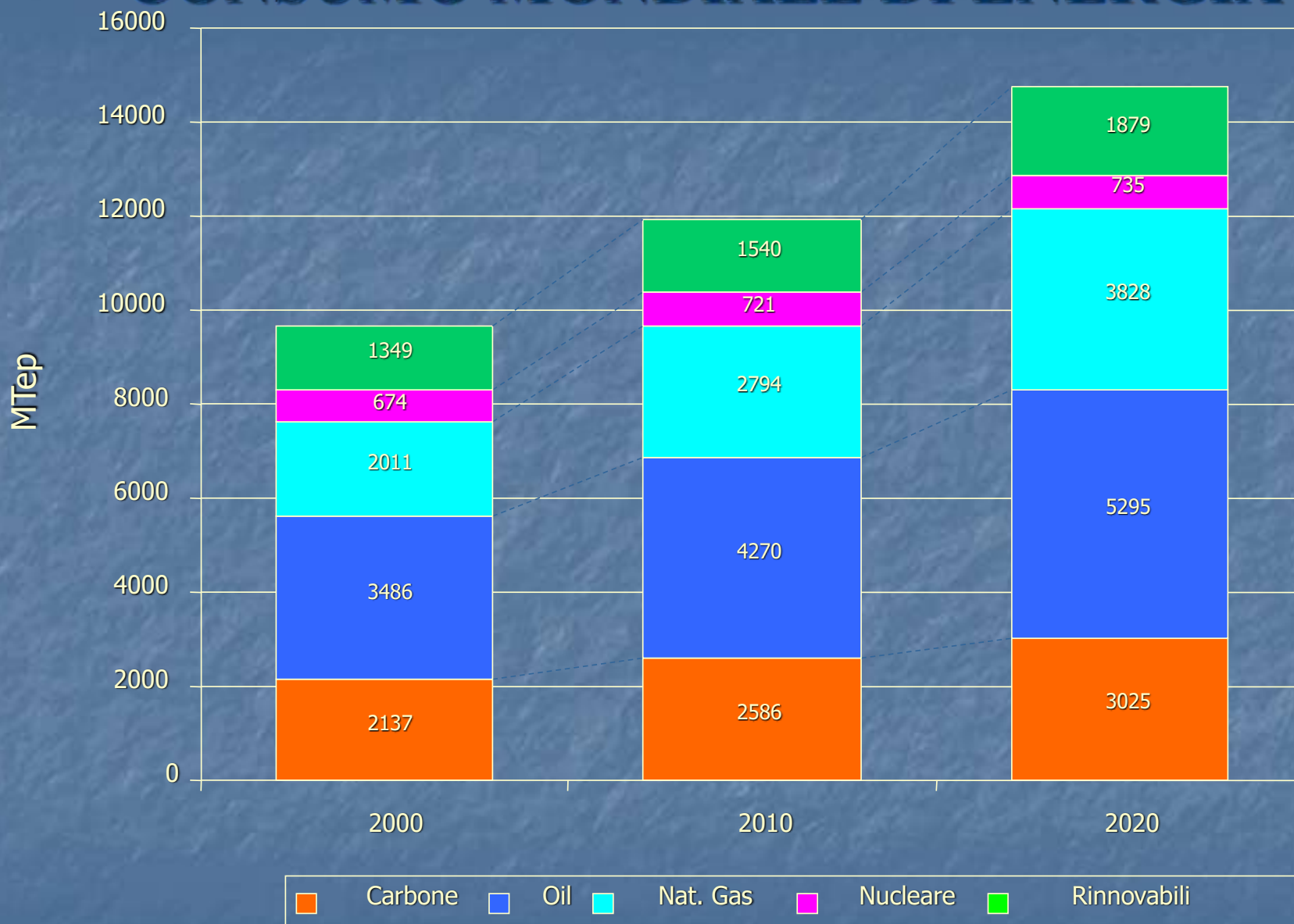
FONTE	Idroelettrico	Altre Rinnovabili	Biocombustibili	TOTALE
MONDO	6,80%	2,45%	0,55%	9,80%
CINA	8,10%	1,79%	0,01%	9,96%
USA	2,57%	2,83%	1,31%	6,71%
UE	5,20%	7,40%	0,61%	13,21%

- Cina, USA ed UE consumano il 53.3% (23.0%, 17.8% e 12.5% rispettivamente) dell'energia mondiale: nell'ambito delle fonti rinnovabili, l'UE supera del 3.41% la media mondiale, la Cina dello 0.16% mentre gli USA sono al disotto del 3.09%
- I risultati conseguiti dall'UE sono frutto della generosa incentivazione di tali fonti (l'Italia si è distinta per l'elevato livello dell'incentivazione)
- Il primato UE non ha prodotto risultati sotto il profilo ambientale globale visto che il differenziale rispetto al valore medio mondiale ha ridotto le emissioni complessive di CO₂ nell'ordine dello 0.5% mentre le emissioni mondiali aumentavano di oltre il 20%, né si è risolto in un vantaggio tecnologico di rilievo (ad esempio, la top-ten delle imprese produttrici di pannelli fotovoltaici vede nelle prime 8 posizioni aziende dell'estremo oriente seguite da due aziende USA)

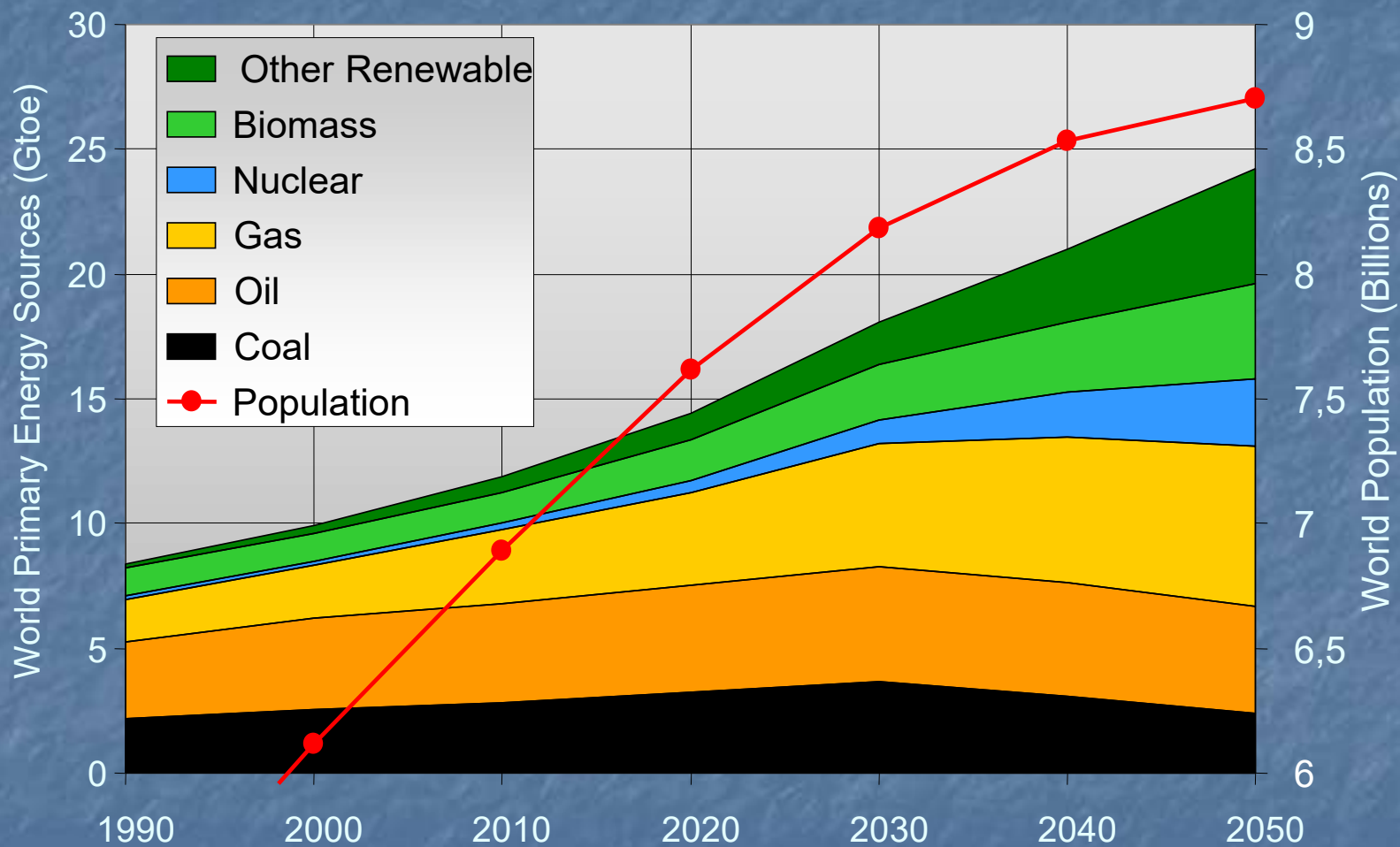
...e l'Africa?

- L'Africa, con il 16% della popolazione mondiale, produce il 3.2% dell'elettricità globale
- Circa il 30% della sua produzione è però in Sud Africa che ha meno del 5% della popolazione africana
- Escludendo i paesi del Nord Africa e del Sud Africa, nella regione sub-sahariana, a fronte di enormi risorse primarie sia fossili che idroelettriche e di biomasse e solari/eoliche, gli 880 milioni di abitanti hanno la più alta percentuale di persone senza elettricità (70%)
- In questi paesi il consumo medio pro capite annuo è dell'ordine di alcune centinaia di kWh e in alcuni si arriva al di sotto di 50

CONSUMO MONDIALE DI ENERGIA



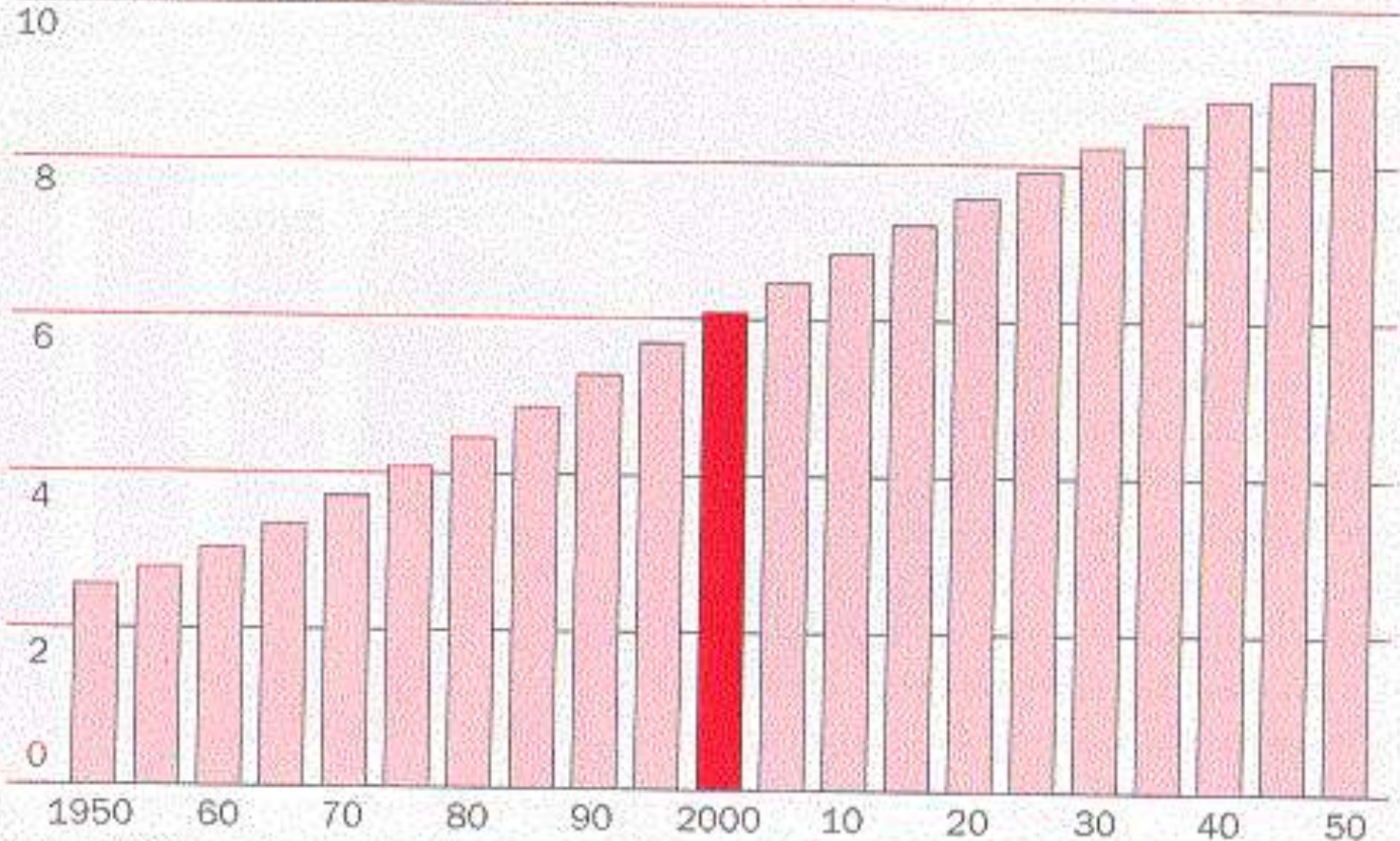
Domanda di energia e sviluppo demografico.....



Crescita della popolazione mondiale

Global Population Is Projected To Increase to 6.1 Billion by 2000 and 9.3 Billion by 2050

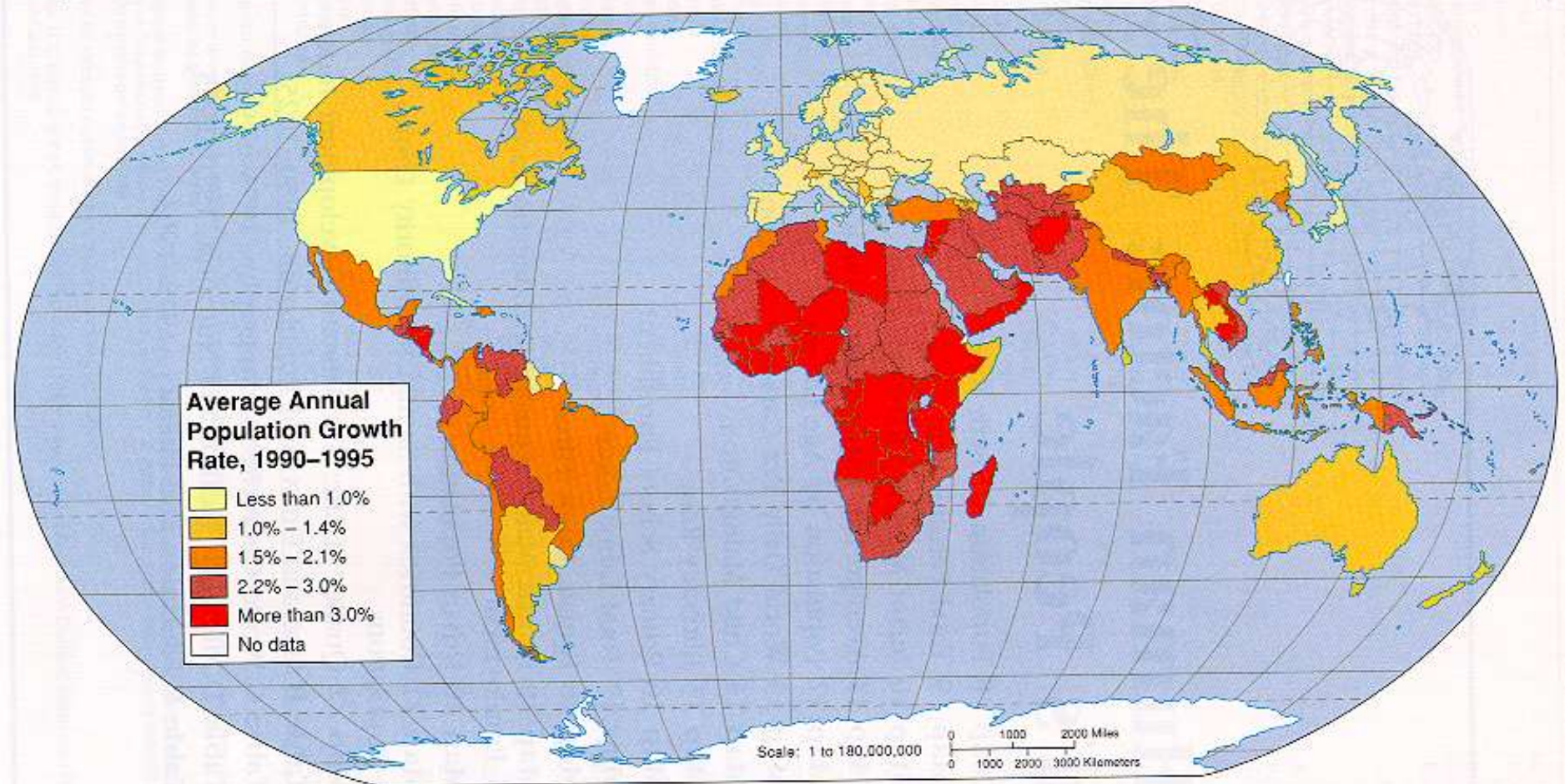
Billion people



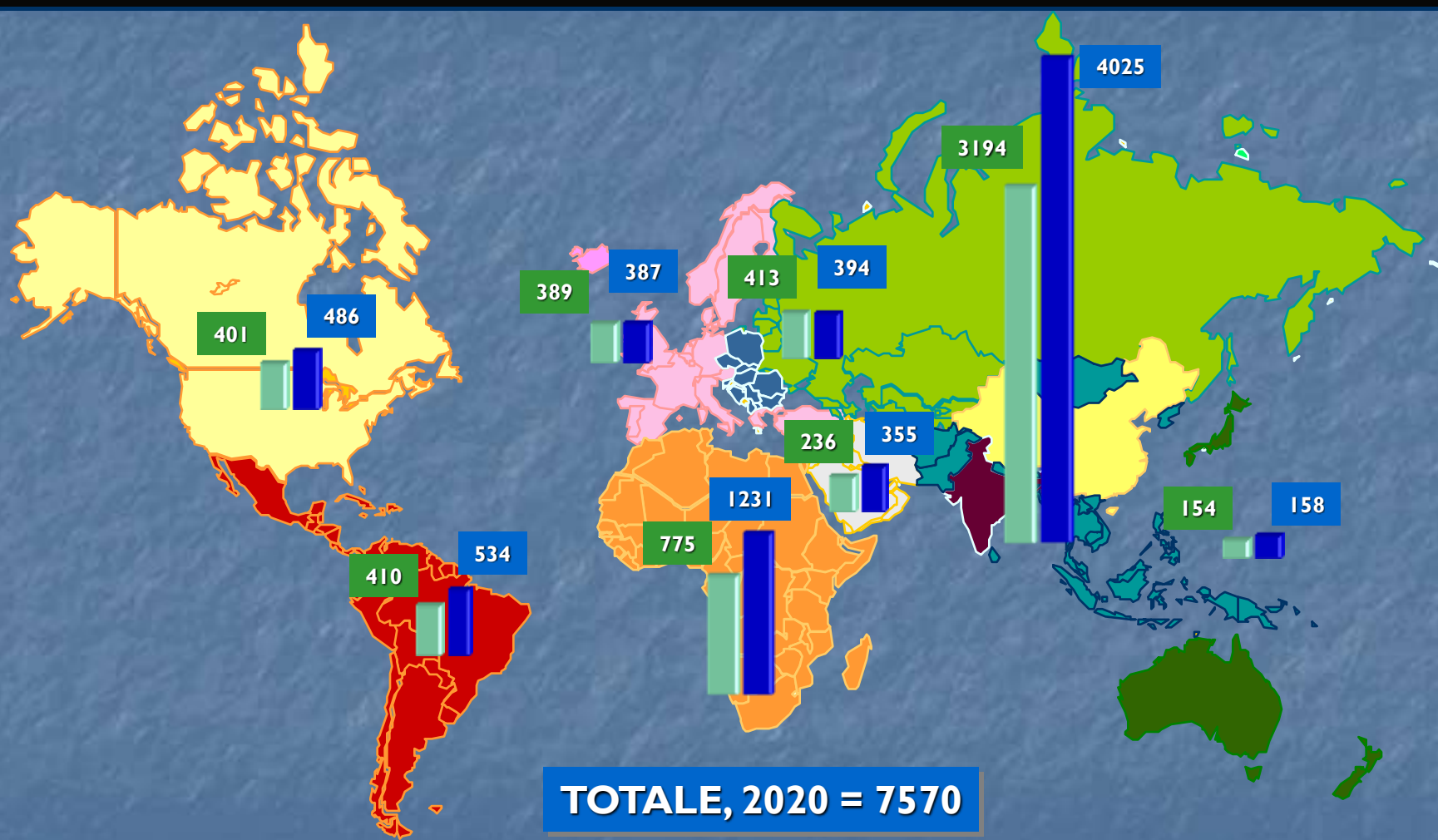
Source: U.S. Census Bureau population projections, October 1997.

Tassi di crescita della popolazione

Map 8 Population Growth Rates



SITUAZIONE DEMOGRAFICA 2000 - 2020



1900		1950		2000	
Londra	6.4M	New York	12.3M	Città del Messico	31M
New York	4.2M	Londra	10.4M	San Paolo	25.8M
Parigi	3.3M	Agglom. Renana	6.9M	Tokyo-Yokohama	24.2M
Berlino	2.4M	Tokyo	6.7M	New York	22.8M
Chicago	1.7M	Shangai	5.8M	Shangai	22.7M
Vienna	1.6M	Parigi	5.5M	Pechino	19.9M
Tokyo	1.4M	Buenos Aires	5.3M	Rio de Janeiro	19M
San Pietroburgo	1.4M	Chicago	4.9M	Calcutta	17.7M
Filadelfia	1.4M	Mosca	4.8M	Bombay	17.1M
Manchester	1.2M	Calcutta	4.6M	Djakarta	16.6M
Birmingham	1.2M	Los Angeles	4M	Seoul	14.2M
Mosca	1.1M	Osaka	3.8M	Los Angeles	14.2M
Pechino	1.1M	Milano	3.6M	Il Cairo	13.1M
Calcutta	1M	Bombay	3M	Madras	12.9M
Boston	1M	Città del Messico	3M	Manila	12.3M
Glasgow	1M	Filadelfia	2.9M	Buenos Aires	12.1M
Liverpool	0.94M	Rio de Janeiro	2.9M	Bangkok	11.9M
Osaka	0.93M	Detroit	2.8M	Karachi	11.8M
Istanbul	0.9M	Napoli	2.6M	Delhi	11.7M
Amburgo	0.89M	Leningrado	2.6M	Bogotà	11.7M

Impegno del suolo

Un impianto elettrico da 1000 MW_e occupa le seguenti aree:

Tipo di impianto	Area occupata (ettari)
Nucleare	15
Carbone	30
Olio combustibile	20
Gas (ciclo combinato)	12
Solare (fotovoltaico)	200
Solare (termico, progetto Archimede)	2000
Eolico	12500

Nel caso la Regione Campania (al 2002, potenza installata 2000 MWe, potenza assorbita 10000 MWe, deficit di potenza 8000 MWe) perseguisse il riequilibrio con impianti eolici, sarebbe necessario occupare una superficie di 1.000 km² (l'intera provincia di Napoli)

Manutenzione e disponibilità

Il funzionamento dell'impianto comporta i seguenti oneri per manutenzione e le seguenti disponibilità:

Tipo di impianto	Manutenzione (m\$/kWh)	Disponibilità (%)
Nucleare	7	85
Carbone	6	90
Olio combustibile	5	90
Gas (C.C.)	5	90
Fotovoltaico	10	15
Eolico	10	30

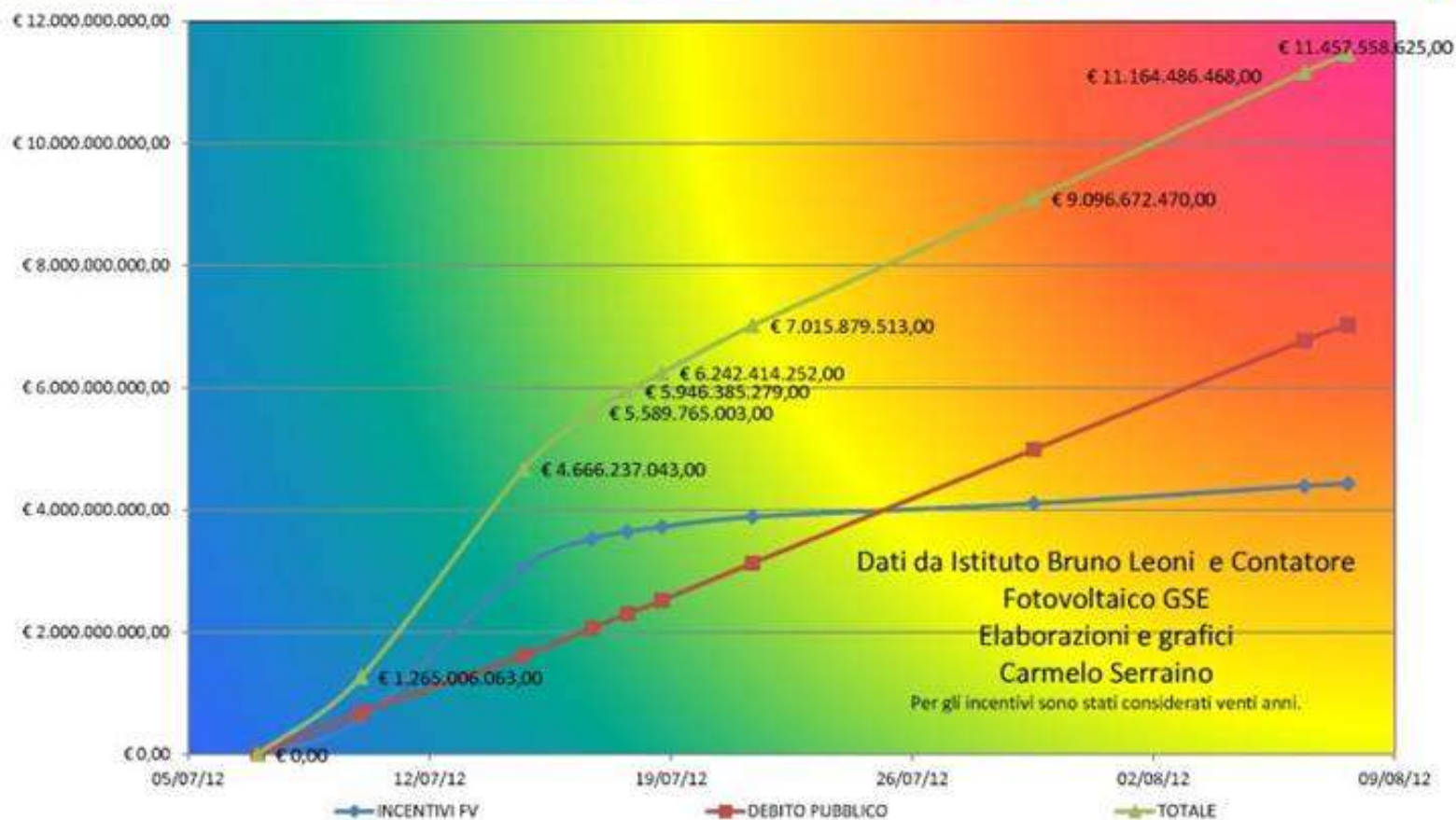
L'incentivazione delle fonti rinnovabili

LE EROGAZIONI NEL PERIODO 1975 – 2002 (DATI MAP)

- PEN '81:
 - 6100 miliardi (più 60 previsti dal PNRE).
 - 1400 miliardi (più 265 previsti dal PNRE).
- CIP 6/92 (in 10 anni):
 - 76000 miliardi di lire a favore dei produttori privati
 - 13000 miliardi di lire a favore dell'Enel
 - 2000 miliardi di lire a favore delle municipalizzate
- DM 22 dicembre 2000:
 - 12 miliardi di lire a favore dei comuni e delle municipalizzate
 - 2,5 miliardi di lire a favore dell'ENEA
- DM 29 marzo 2002:
 - 60 miliardi di lire in favore di Enti locali e soggetti privati
 - 2,5 miliardi a favore dell'ENEA

Impegno finanziario dello Stato per incentivare le fonti energetiche rinnovabili (1975-2002): **98902 miliardi di lire** (esclusi i costi sostenuti attraverso l'ENEA per R&S)

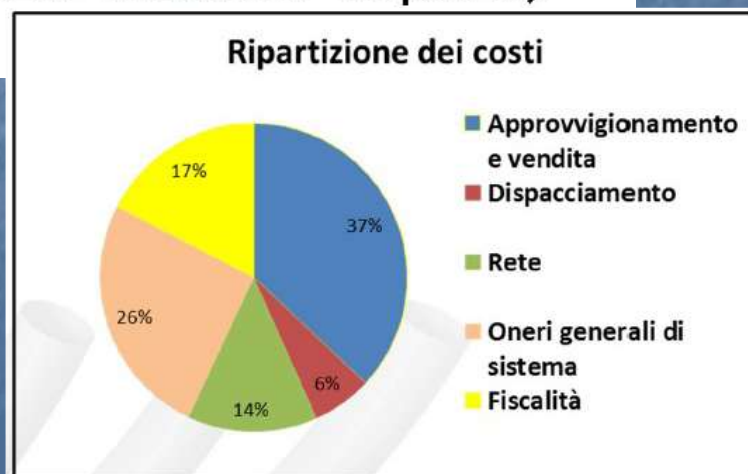
INCREMENTO DEL DEBITO PUBBLICO ITALIANO E DEL DEBITO FOTOVOLTAICO DEI CONSUMATORI DAL 7 LUGLIO AL 7 AGOSTO 2012



Costi bolletta elettrica

Tipo utente	Consumo annuo	Italia (€/MWh)	Francia (€/MWh)	Germania (€/MWh)	Regno Unito (€/MWh)	Spagna (€/MWh)	Media EU-27 (€/MWh)	Differenza % [(Italia-UE)/UE]
Domestico base	2,5 MWh	198	175	317	193	241	214	-7,48%
Domestico medi consumi	3,5 MWh	231	153	292	177	215	200	+15,5%
Domestico alti consumi	7 MWh	288	141	278	161	194	192	+50,0%
Piccola impresa	100 MWh	233	131	217	160	184	176	+32,4%
Media impresa	da 500 MWh a 2 GWh	197	108	189	129	147	148	+33,1%
Energivoro	5 GWh	176	94	170	128	129	132	+33,3%
Grande energivoro	>20 GWh	148	85	152	121	105	118	+25,4%

Con l'eccezione degli utenti domestici con bassi consumi, per tutte le fasce di consumo il prezzo italiano supera, tipicamente del 30 %, quello medio UE



Oneri bolletta elettrica

Componente	2010	2011	2012	2013
A2	410	255	151	170
A3	4.400	6.542	10.417	12.763
A4	376	345	295	459
A5	62	61	41	44
As	157	54	18	18
MCT	48	35	33	59
UC4	69	70	69	67
UC7	8	110	236	197
Totale	5.530	7.472	11.260	13.777

A2 – Nucleare : costi di smantellamento delle centrali elettronucleari

A3 – Rinnovabili e assimilate: costi incentivazione rinnovabili e assimilate (CIP6, Conto Energia, Tariffa Omnicomprensiva, ritiro CV, scambio sul posto...)

A4 – Regimi tariffari speciali: agevolazioni tariffarie ad alcune utenze quali Ferrovie dello stato, industria siderurgica, ecc.

A5 – Ricerca: finanziamento di attività di R&S per innovazione tecnologica di interesse generale per il settore elettrico

As – Bonus elettrico: compensazione sconti a famiglie in difficoltà

MCT – Compensazione territoriale: compensazione delle erogazioni economiche a favore dei siti che ospitano impianti nucleari

UC3 – Perequazione: perequazione costi di distribuzione e misura per differenze territoriali

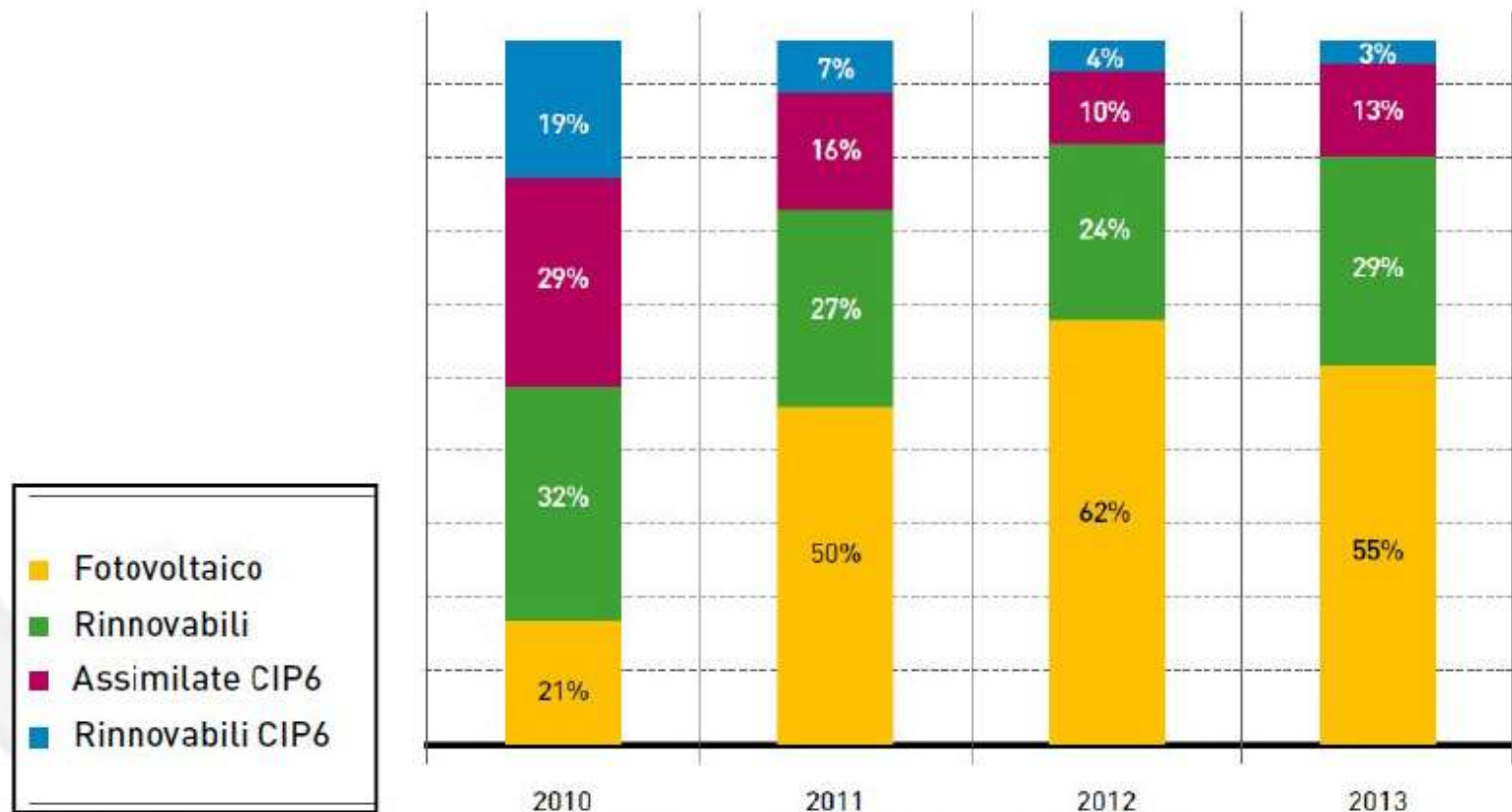
UC4 – Imprese minori: a integrazione dei costi imprese «verticalmente integrate» delle isole minori

UC6 – Qualità: a remunerazione dei gestori di rete che abbiano raggiunto i livelli di qualità attesi

UC7 – Efficienza energetica: a compensazione dei costi sostenuti per l'acquisto dei Certificati Bianchi

Ae – Agevolazione Imprese energivore: a compensazioni di sconti a imprese manifatturiere con elevati consumi di energia (dal 2014)

Ripartizione della componente A3

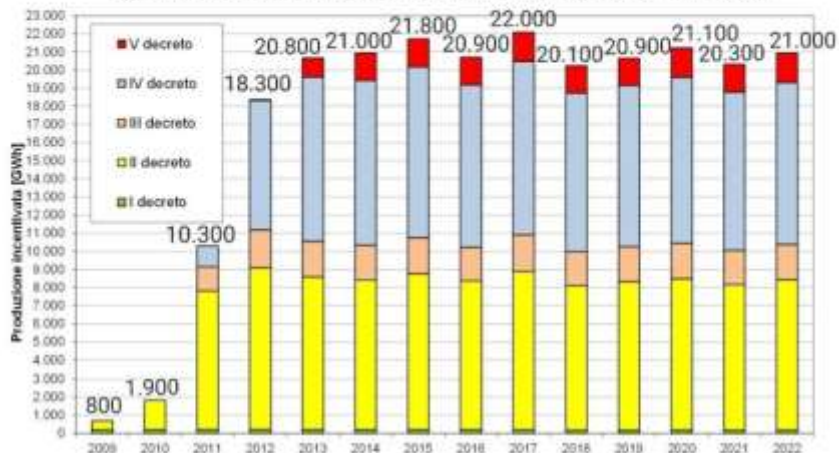


Ormai più dell'80% degli oneri di sistema è dovuto alle fonti rinnovabili (55% FV). Le assimilate CIP6 sono marginali.

Dei quasi 11 MLD € di incentivi alle rinnovabili, RSE stima che 3-4 MLD € eccedano il corrispondente valore basato sugli attuali LCOE.

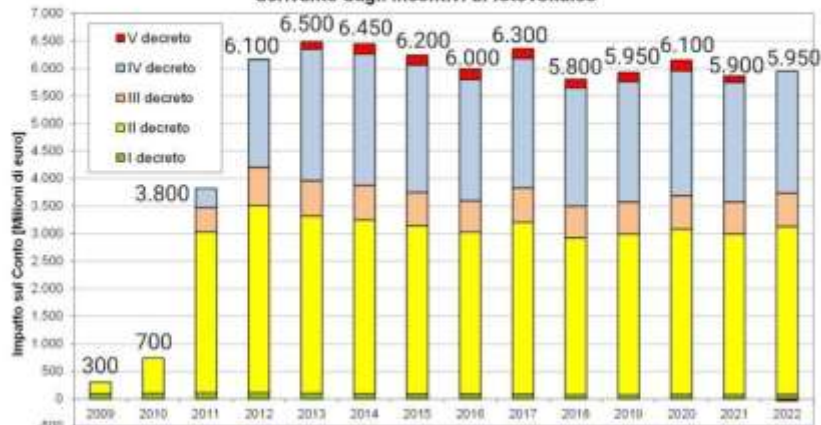
Incentivazione Rinnovabili in Italia

Quantità di energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici e incentivata

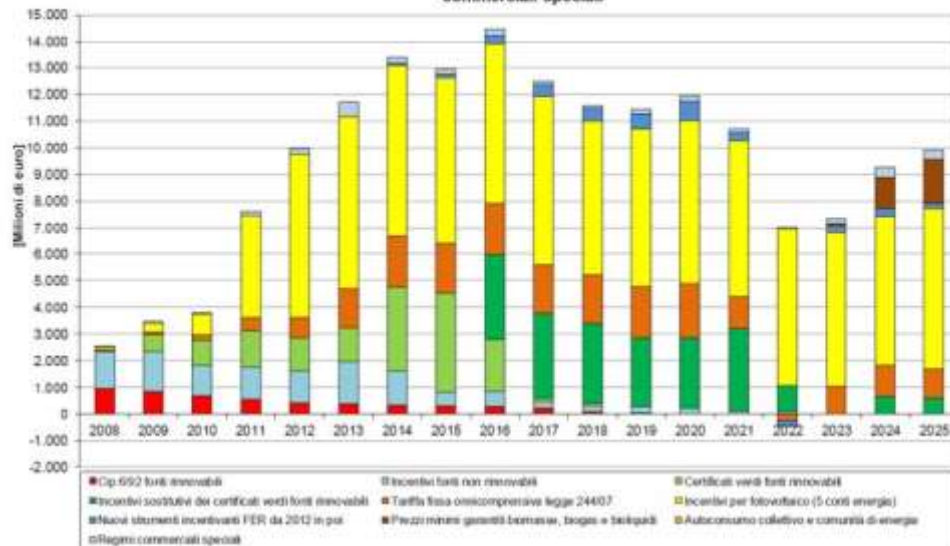


(a)

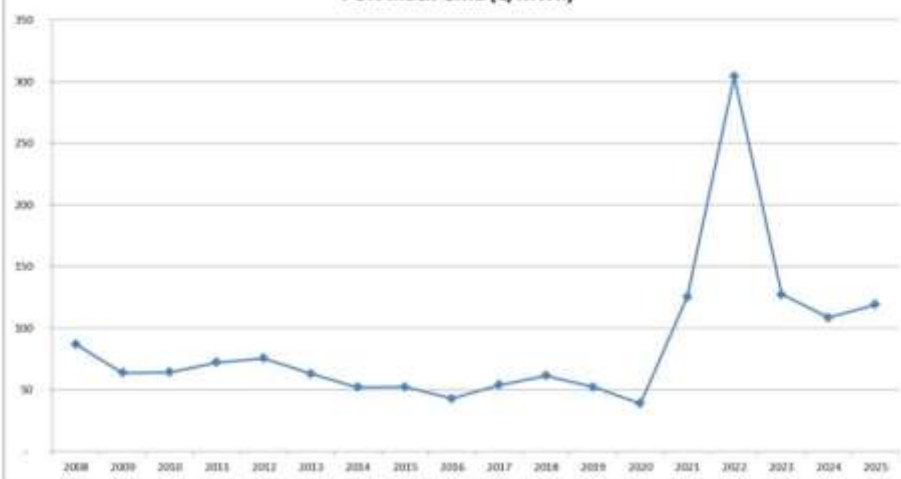
Impatto sul Conto per nuovi impianti da fonti rinnovabili e assimilate derivante dagli incentivi al fotovoltaico



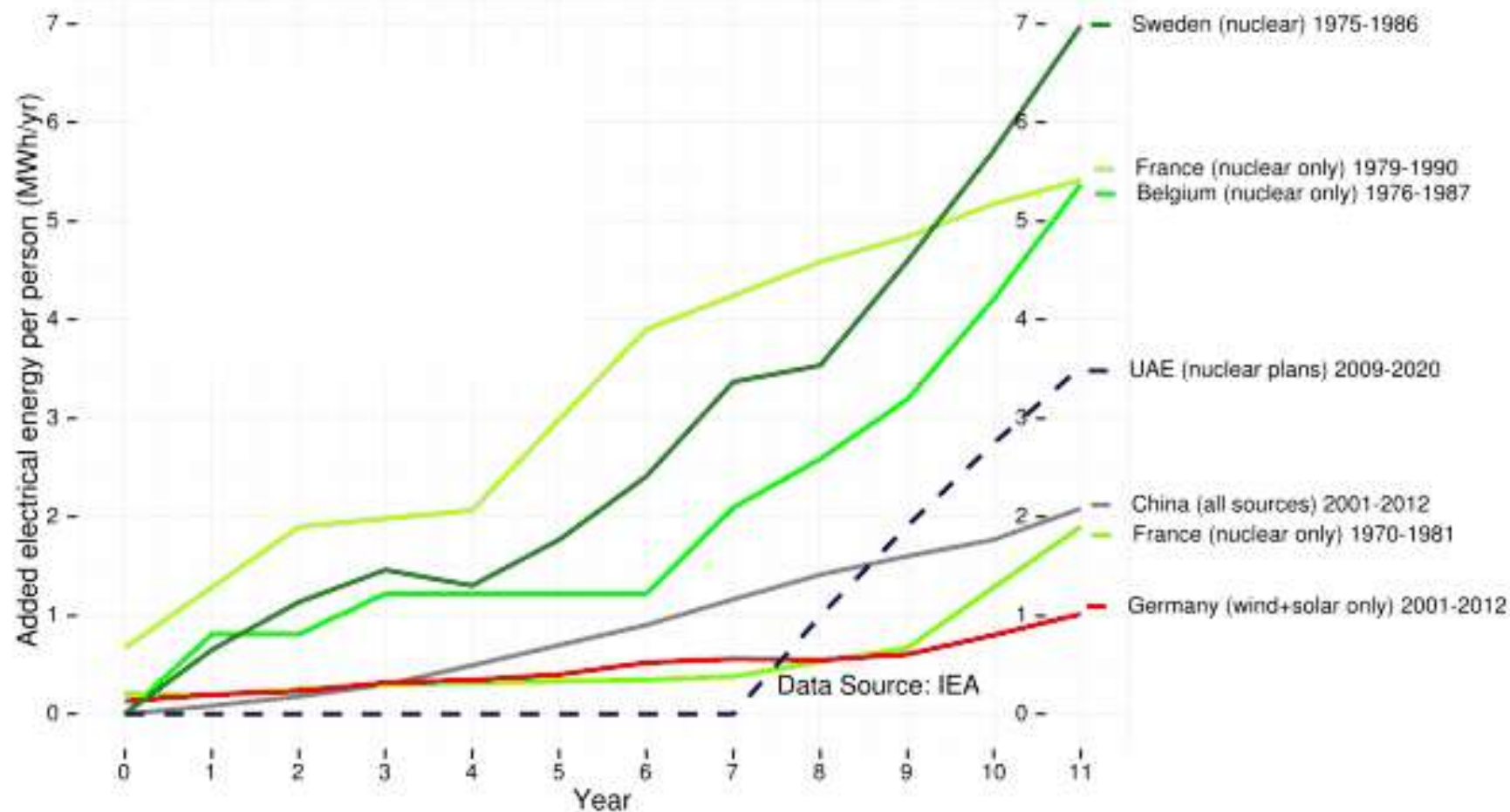
Impatto sul Conto per nuovi impianti da fonti rinnovabili e assimilate derivante dagli strumenti di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili e assimilate e dai regimi commerciali speciali



PUN Index GME (€/MWh)

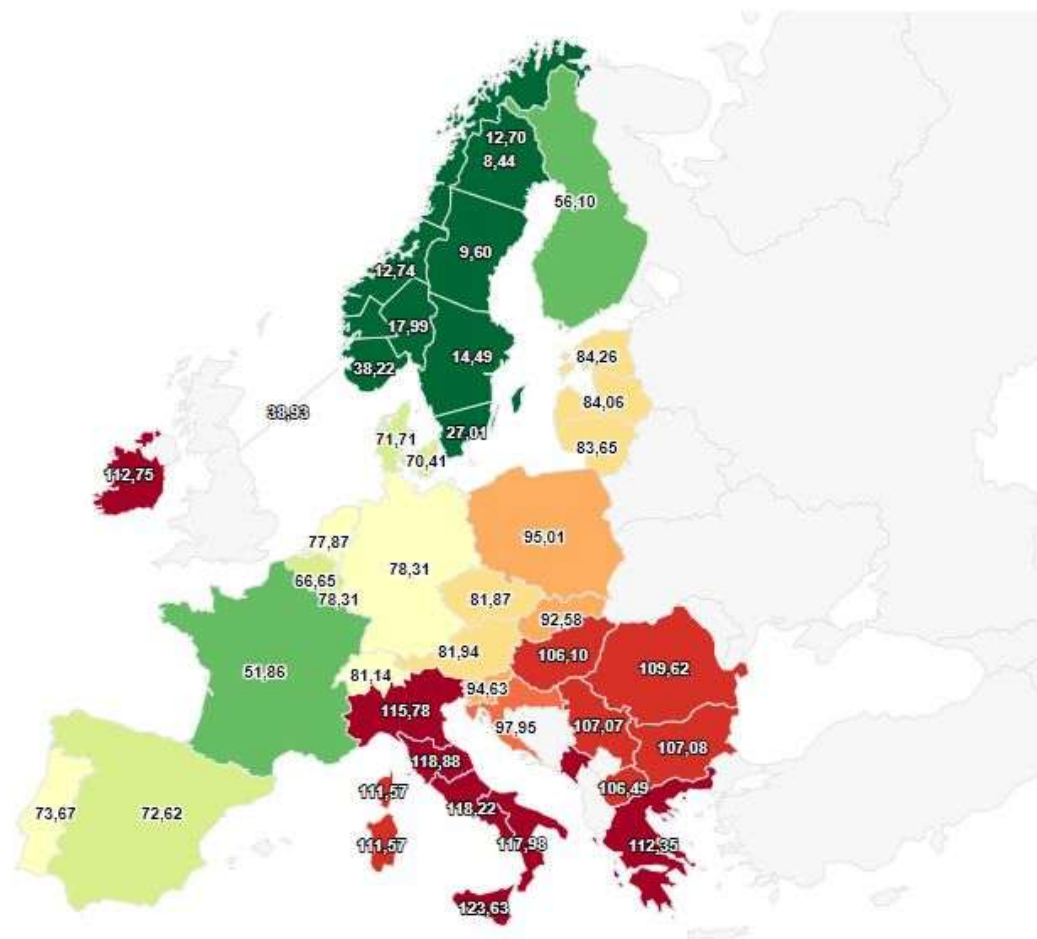


How much extra electrical energy can you add in 11 years?



Prezzi medi sul mercato spot dell'elettricità (day-ahead) a Settembre 2024

in EUR/MWh

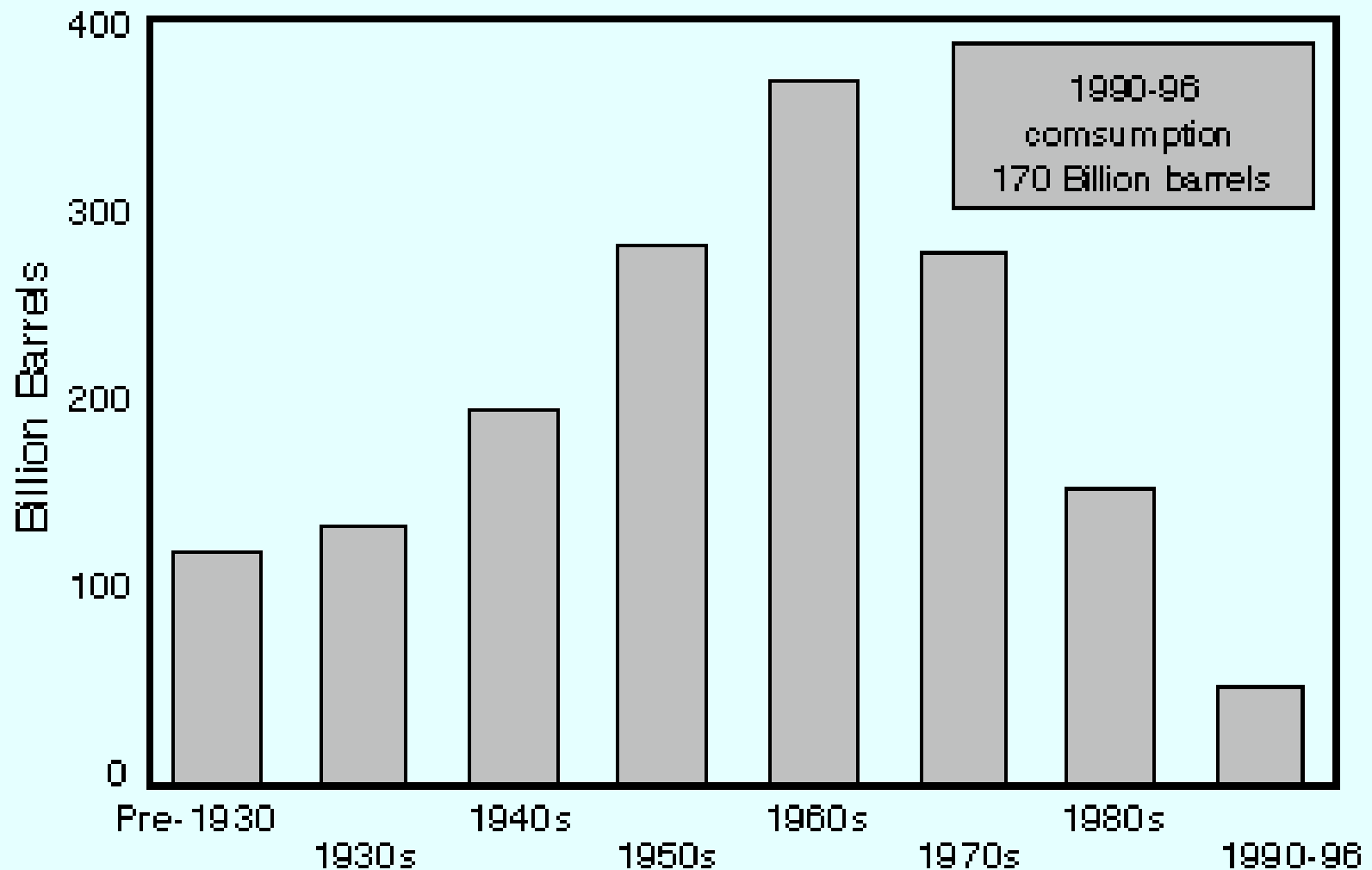


Energy-Charts.info; Ultimo Aggiornamento: 08/10/2024, 11:43 CEST

La verità scomoda

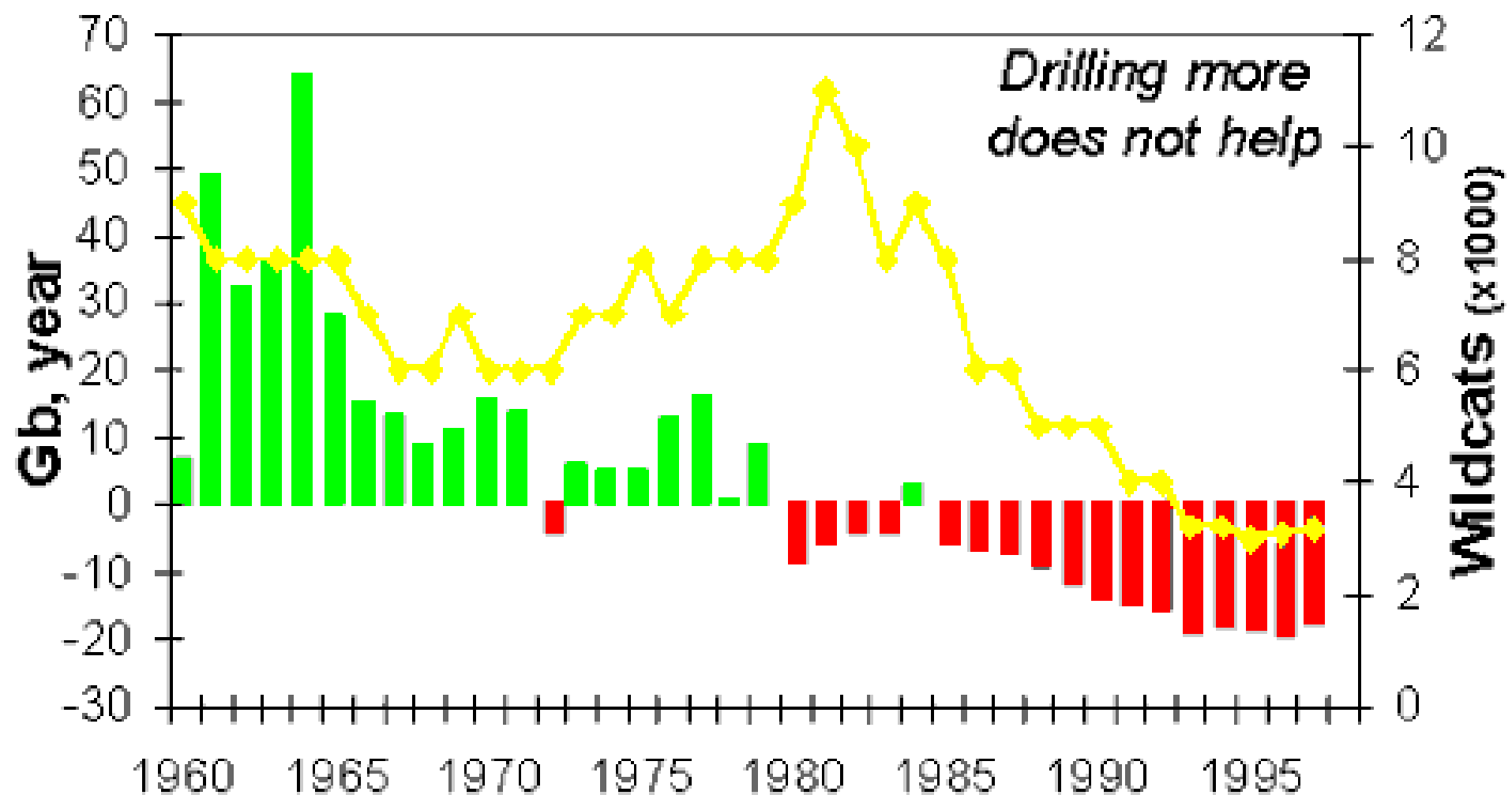
- Circa l'80% del petrolio oggi prodotto fino a qualche anno fa nel mondo proveniva da giacimenti scoperti prima del 1973
- La capacità produttiva della grande maggioranza dei giacimenti sta già declinando
- Le nuove scoperte hanno toccato un massimo all'inizio degli anni '60 e da allora hanno cominciato a diminuire
- Alla fine degli anni Novanta
 - il mondo disponeva di riserve per circa 1000 Gbp
 - la produzione cumulativa era stimabile in oltre 800 Gbp
- Le riserve convenzionali oggi disponibili sono quindi dello stesso ordine di grandezza dei quantitativi di petrolio già estratti

CONVENTIONAL OIL DISCOVERY By decade

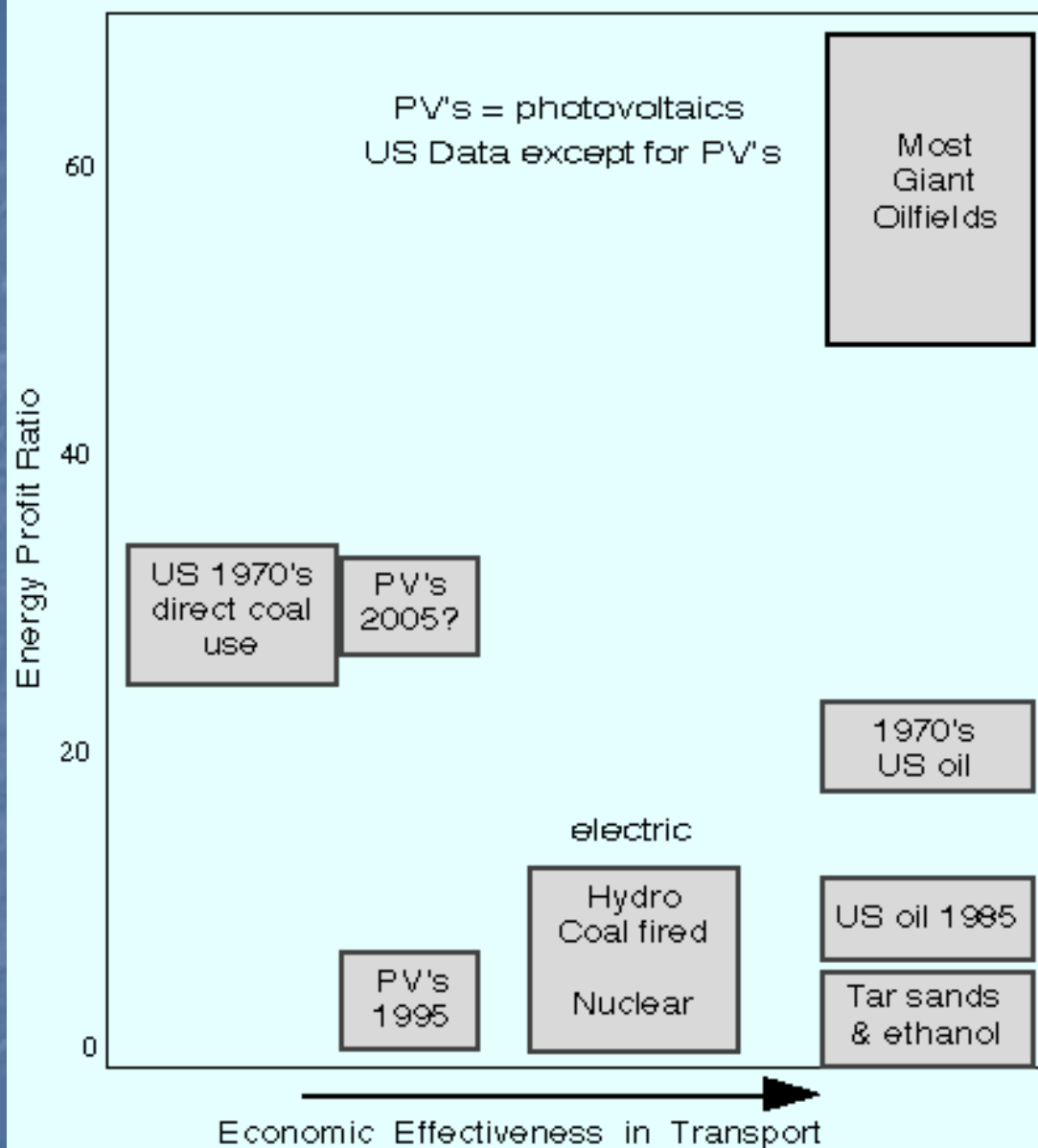


Campbell: "The Coming Oil Crisis" 1997, p.52

The Growing Gap between Discovery and Production



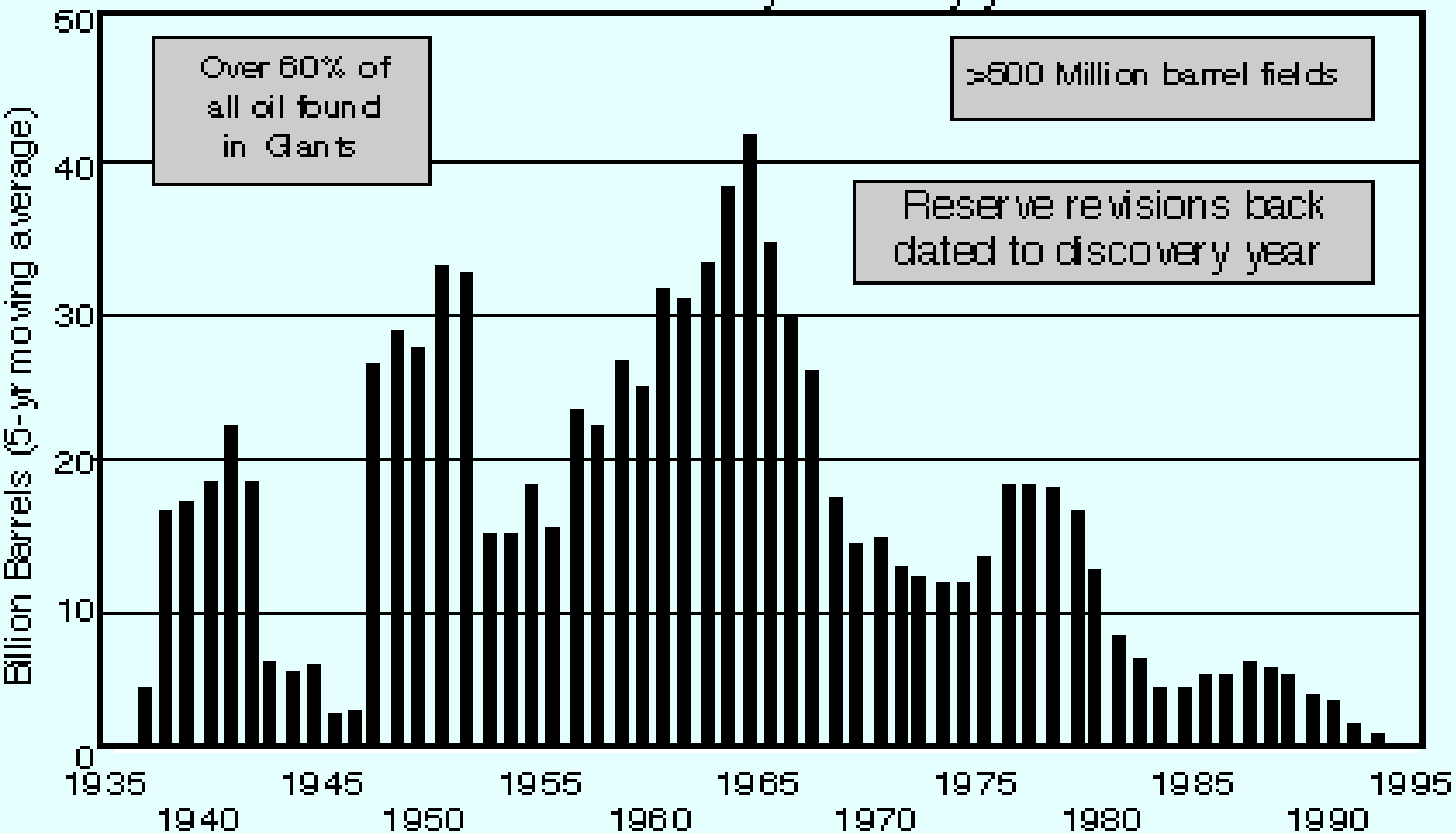
ENERGY PROFIT RATIOS FOR SEVERAL FUELS



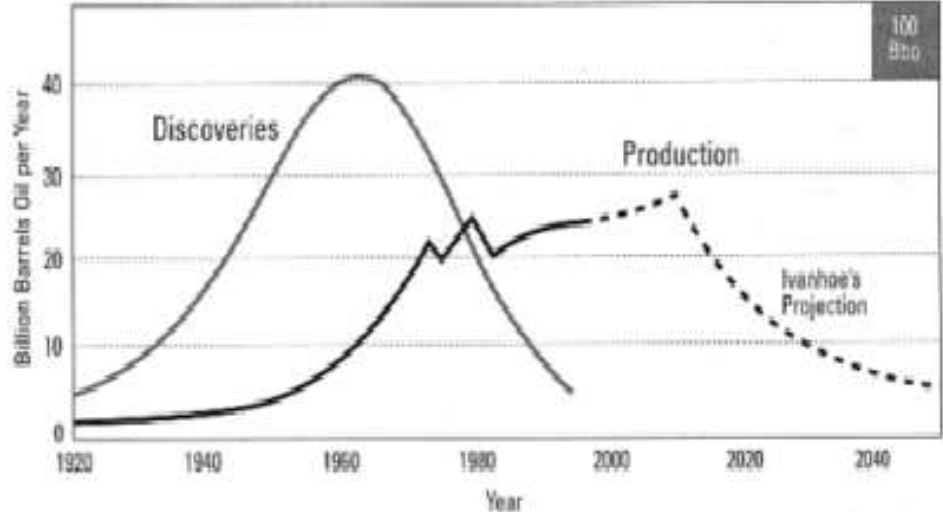
Data from *Beyond Oil 1991*, p.70

GIANT FIELDS

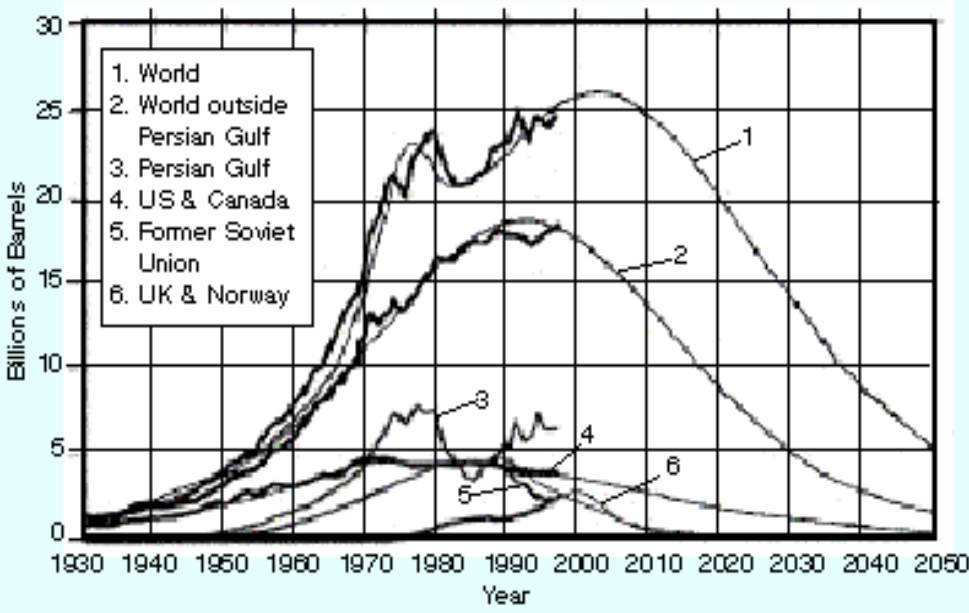
Initial reserves by discovery year



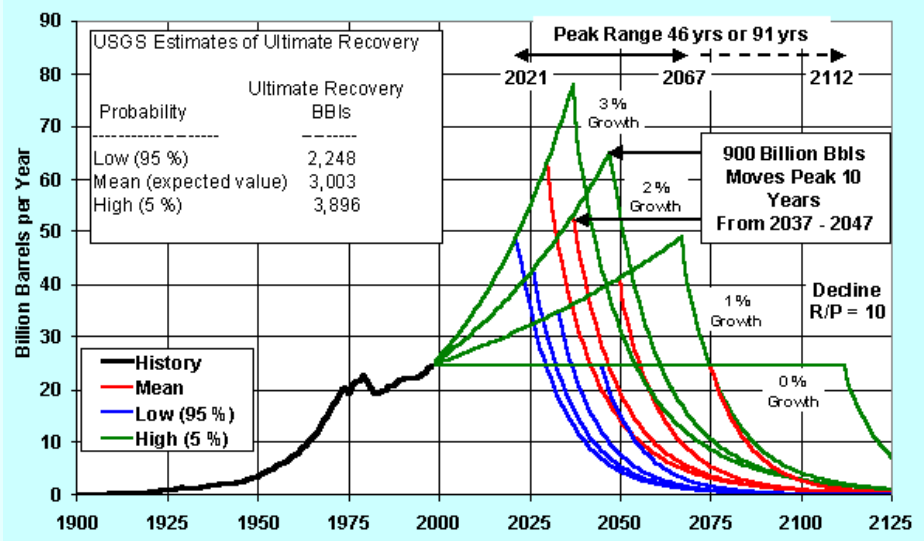
Campbell: "The Coming Oil Crisis" 1997, p 52



ANNUAL CONVENTIONAL OIL PRODUCTION



12 EIA World Conventional Oil Production Scenarios

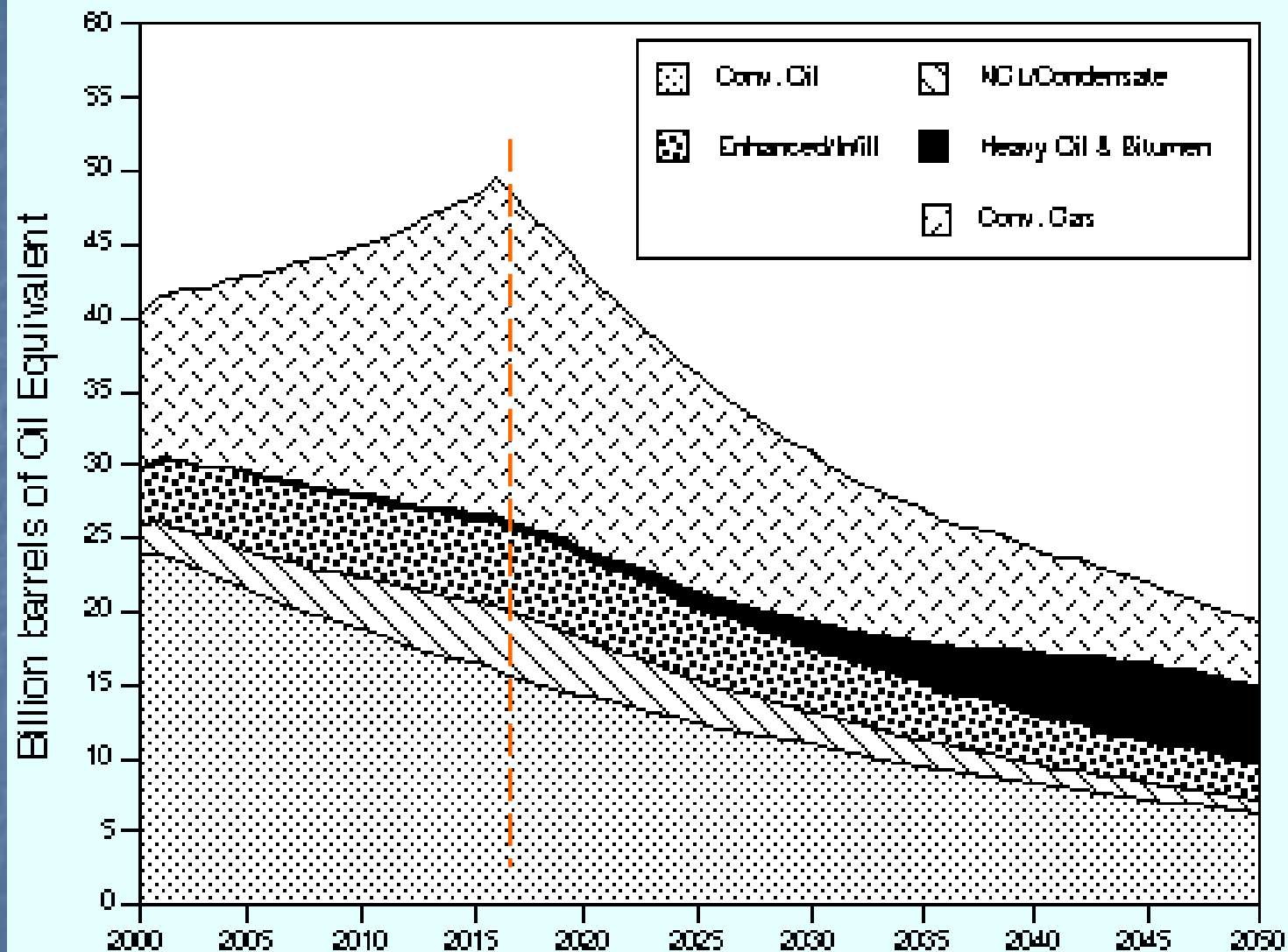


Note: U.S. volumes were added to the USGS foreign volumes to obtain world totals.

Campbell & Laherrera:

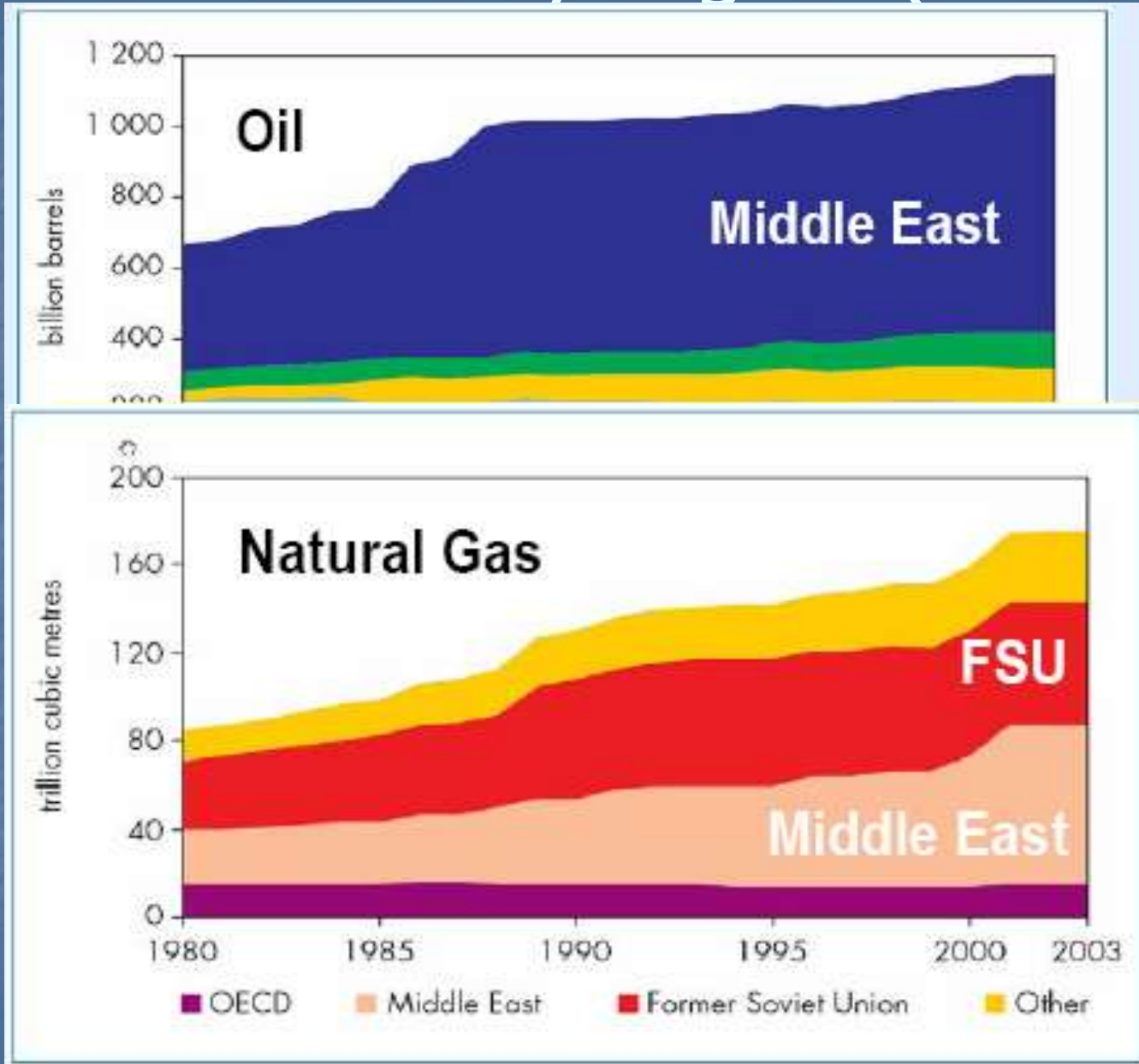
TOTAL HYDROCARBON PRODUCTION 2000 - 2050

Estimated Oil & Gas Output

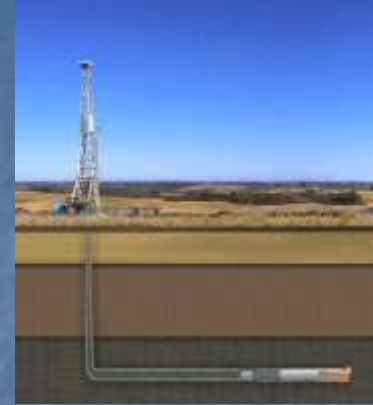


Data from Fig B-1 Campbell & Laherrere 1995

Proven reserves by region (no shale)



Shale gas/oil in USA



- Da importatore ad esportatore
- Quantità di macchinari specifici (2012):
 - 60% delle perforatrici presenti mondiali
 - 95% di queste esegue le perforazioni orizzontali necessarie (con la fratturazione delle rocce tramite iniezione di acqua, sabbia e solventi) per aumentare il tasso di recupero secondo le modalità «shale»
 - Esempio: giacimento di Bakken-Three Forks ~770000 barili al giorno (dicembre 2012) → 90 nuovi pozzi al mese
 - Nel 2012 ispezionati 45468 pozzi di gas e petrolio, contro "appena" 3921 di tutti gli altri paesi (Canada escluso)
- Densità popolazione: 1/3 di Europa (~100 ab./Kmq)

Petrolio «alternativo»

- Principali tipologie:
 - scisti bituminosi (80% negli Stati Uniti)
 - bitume naturale (60% in Canada)
 - petrolio extra pesante (95% in Venezuela)
- Economicamente sostenibile con prezzi del petrolio stabili intorno a 50 \$/barile
- Il principale problema reale non è quindi la mancanza di petrolio e gas naturale ma:
 - la distribuzione disomogenea tra aree di produzione e di consumo (ed i conseguenti effetti geopolitici)
 - l'impatto ambientale

Riserve Petrolio (2014)

PAESE	RISERVE % DEL TOTALE	RAPPORTO R/P
Venezuela	17,5	278
Arabia Saudita	15,7	64
Canada	10,2	107
Iran	9,3	122
Iraq	8,8	122
Russia	6,1	26
Kuwait	6,0	89
Emirati (EAU)	5,8	72
Stati Uniti	2,9	11
Libia	2,8	>100

Petrolio (2014)

Produzione

PAESE	% DEL TOTALE MONDIALE
Arabia Saudita	12,9
Russia	12,7
Stati Uniti	12,3
Cina	5,0
Canada	5,0
Emirati (EAU)	4,0
Iran	4,0
Irak	3,8
Kuwait	3,6
Venezuela	3,3

Consumo

PAESE	% DEL TOTALE MONDIALE
Stati Uniti	19,9
Cina (più HK)	12,8
Giappone	4,7
India	4,3
Russia	3,5
Brasile	3,4
Arabia Saudita	3,4
Germania	2,6
Corea del Sud	2,6
Canada	2,4

Riserve Gas naturale (2014)

PAESE	RISERVE,% DEL TOTALE MONDIALE	R/P
Iran	18,2	>100
Russia	17,4	56,4
Qatar	13,1	>100
Turkmenistan	9,3	>100
Stati Uniti	5,7	13,4
Arabia Saudita	4,4	75,4
Emirati (EAU)	3,3	65,5
Venezuela	3,0	>100
Nigeria	2,7	>100
Algeria	2,4	54,1

Gas naturale (2014)

Produzione

PAESE	% DEL TOTALE MONDIALE
Stati Uniti	21,4
Russia	16,7
Qatar	5,1
Iran	5,0
Canada	4,7
Cina	3,9
Norvegia	3,1
Arabia Saudita	3,1
Algeria	2,4
Indonesia	2,1

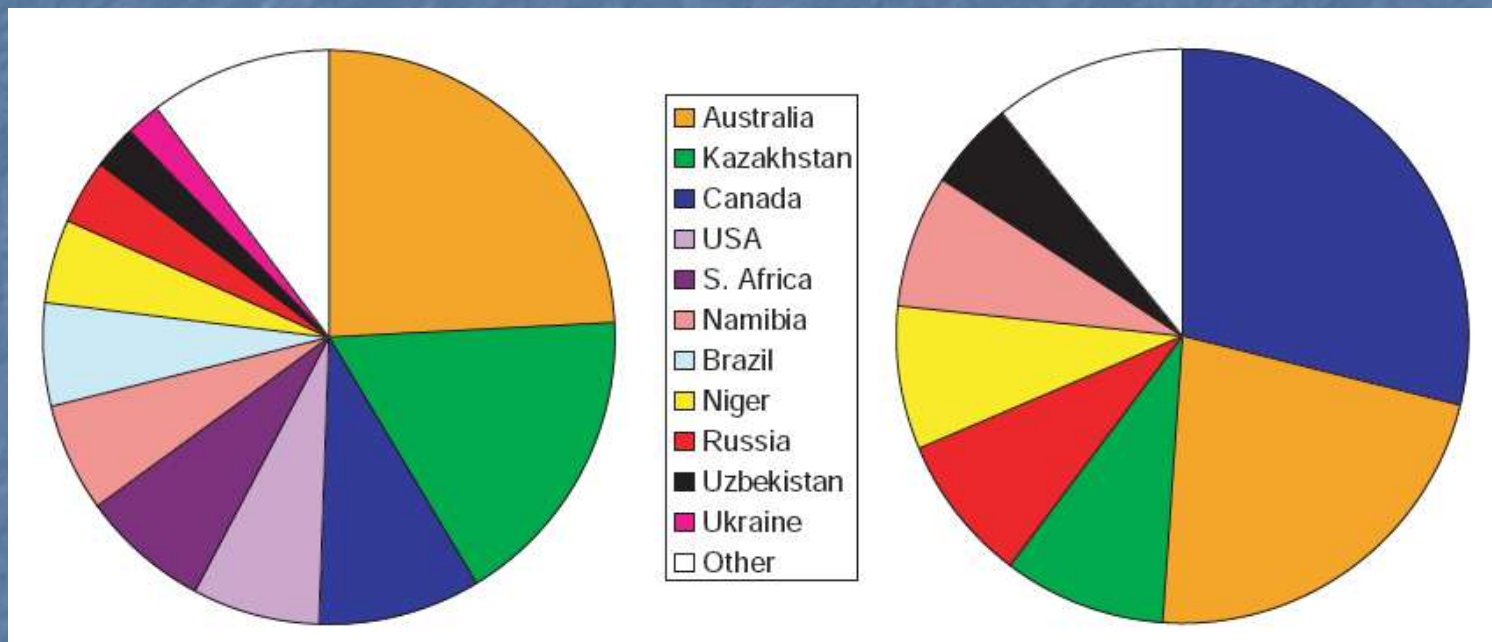
Consumo

PAESE	% DEL TOTALE MONDIALE
Stati Uniti	22,7
Russia	12,0
Cina	5,4
Iran	5,0
Giappone	3,3
Arabia Saudita	3,2
Canada	3,1
Messico	2,6
Germania	2,1
Emirati (EAU)	2,0

Uranio (2004)

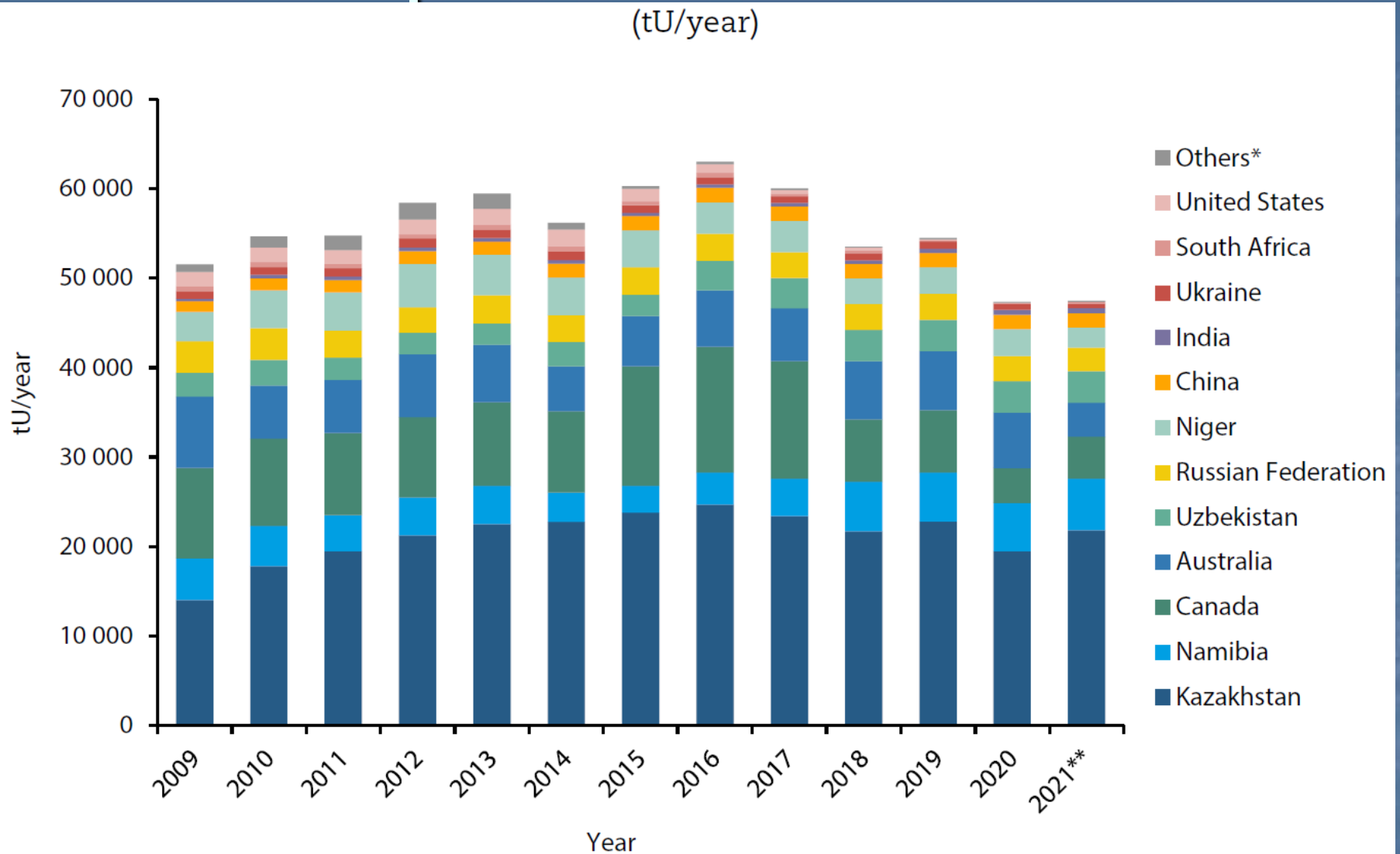
Risorse

Produzione



- **Necessità annua: 67320 t U**
- **Produzione 2004: 40263 t U (60%)**
- **Per copertura totale (100%): riserve in magazzino e disponibilità sul mercato di uranio dallo smantellamento di testate nucleari (smantellate in minima parte)**

U production trend

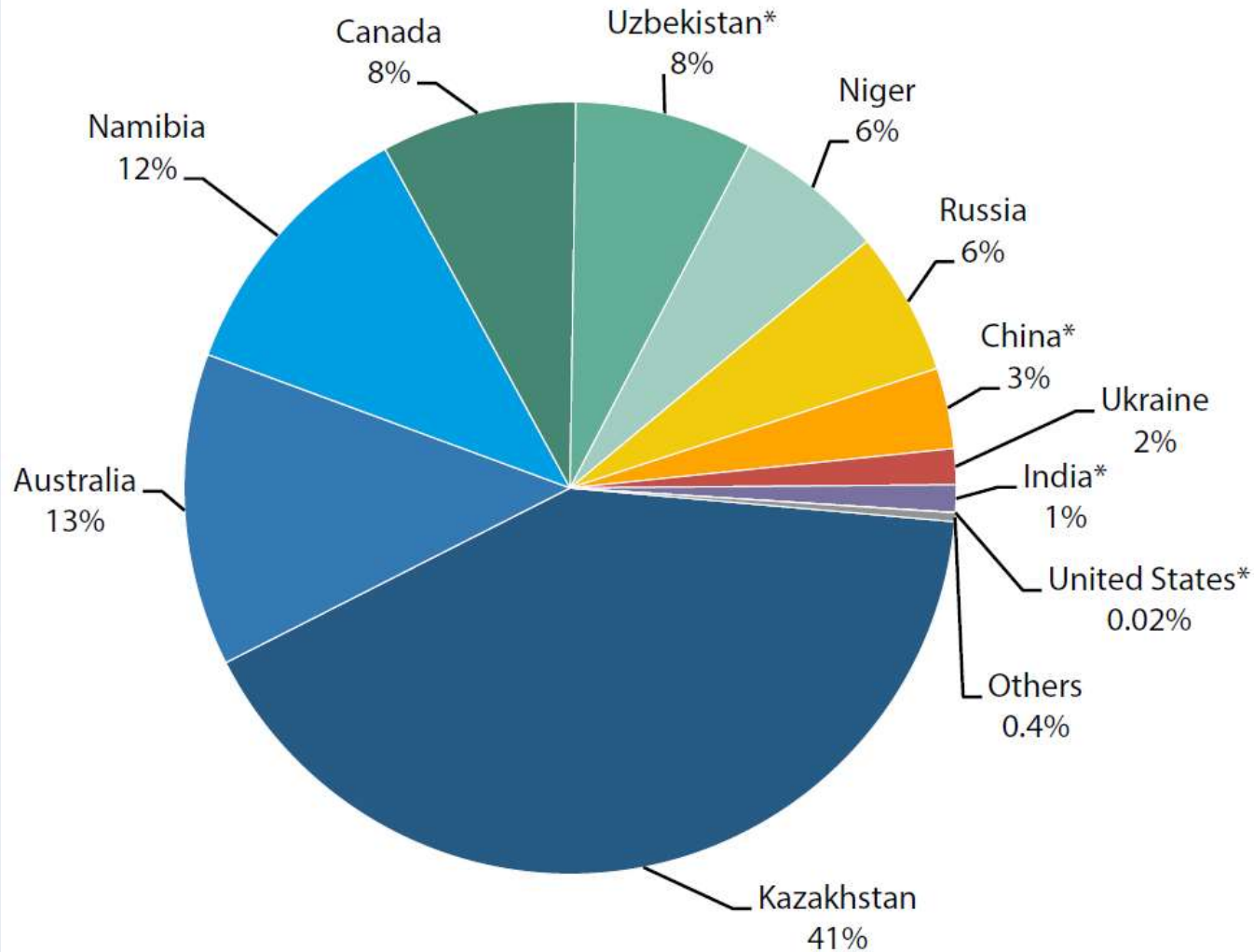


* "Others" includes the remaining producers (see Table 1.18 and previous Red Book editions).

** NEA/IAEA estimate.

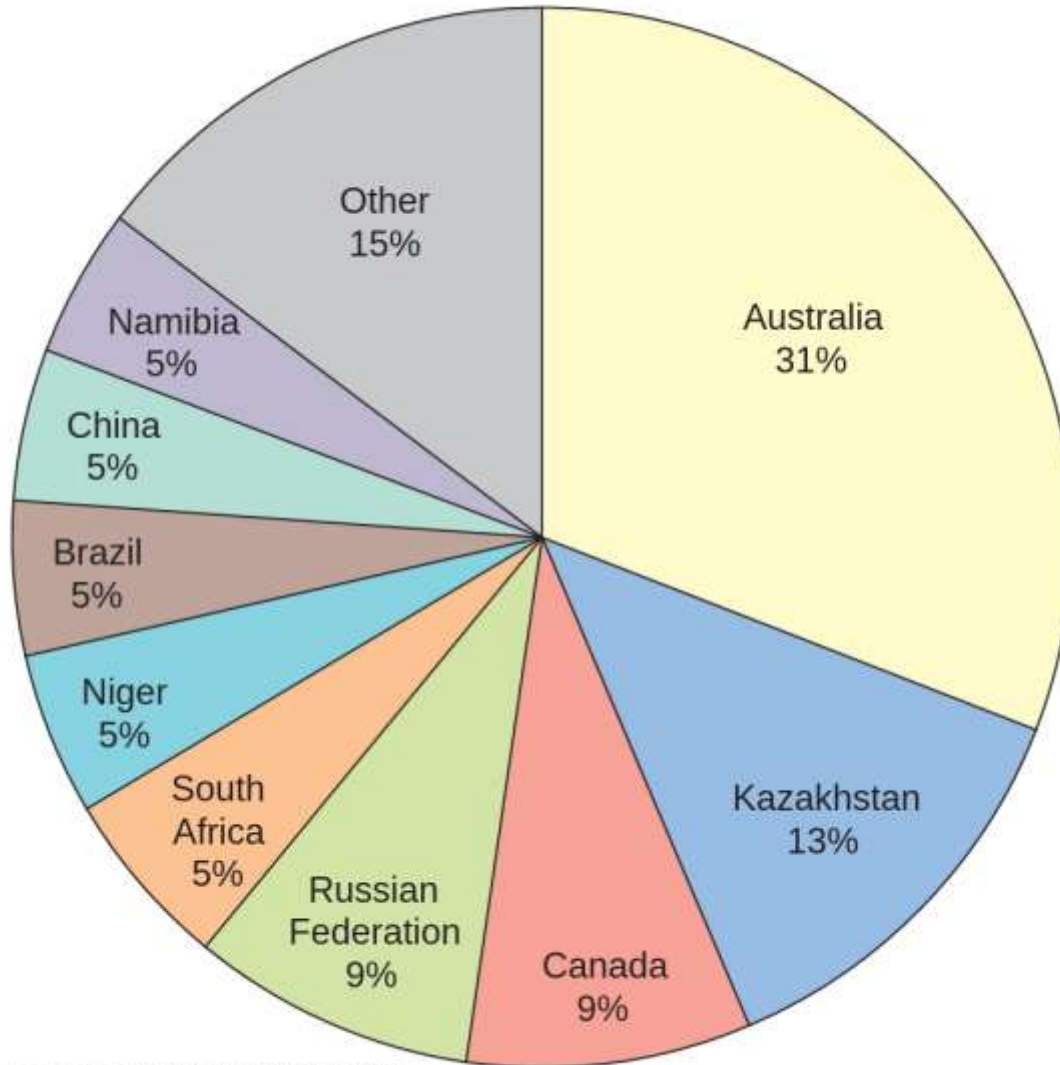
U production (2021)

(47 342 tU, as of 1 January 2021)



* NEA/IAEA estimate.

U Reasonably Assured Resources



Source: OECD NEA & IAEA 2016

Note: May not sum to 100% due to rounding

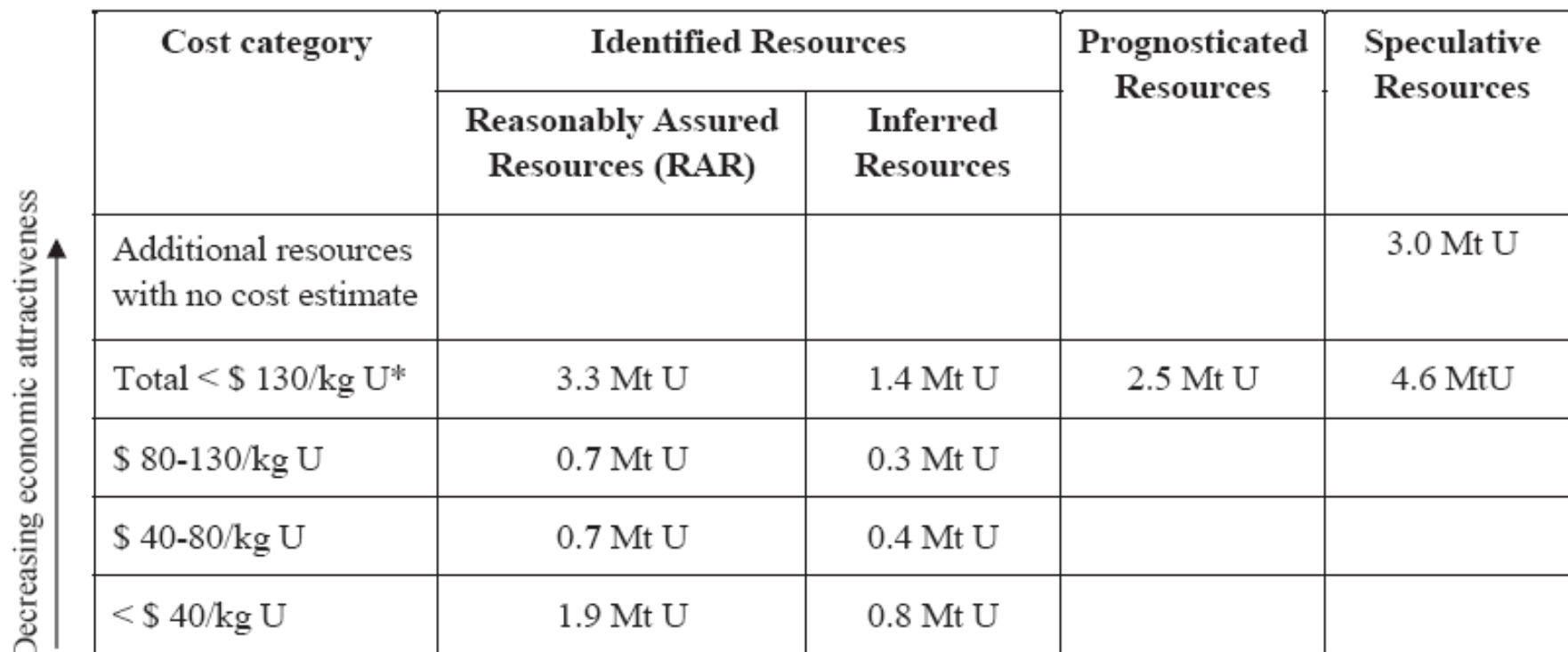
AERA 6.5

Recoverable Conventional Uranium Resources (2021)



Le risorse di Uranio

Classificazione per costo e categoria

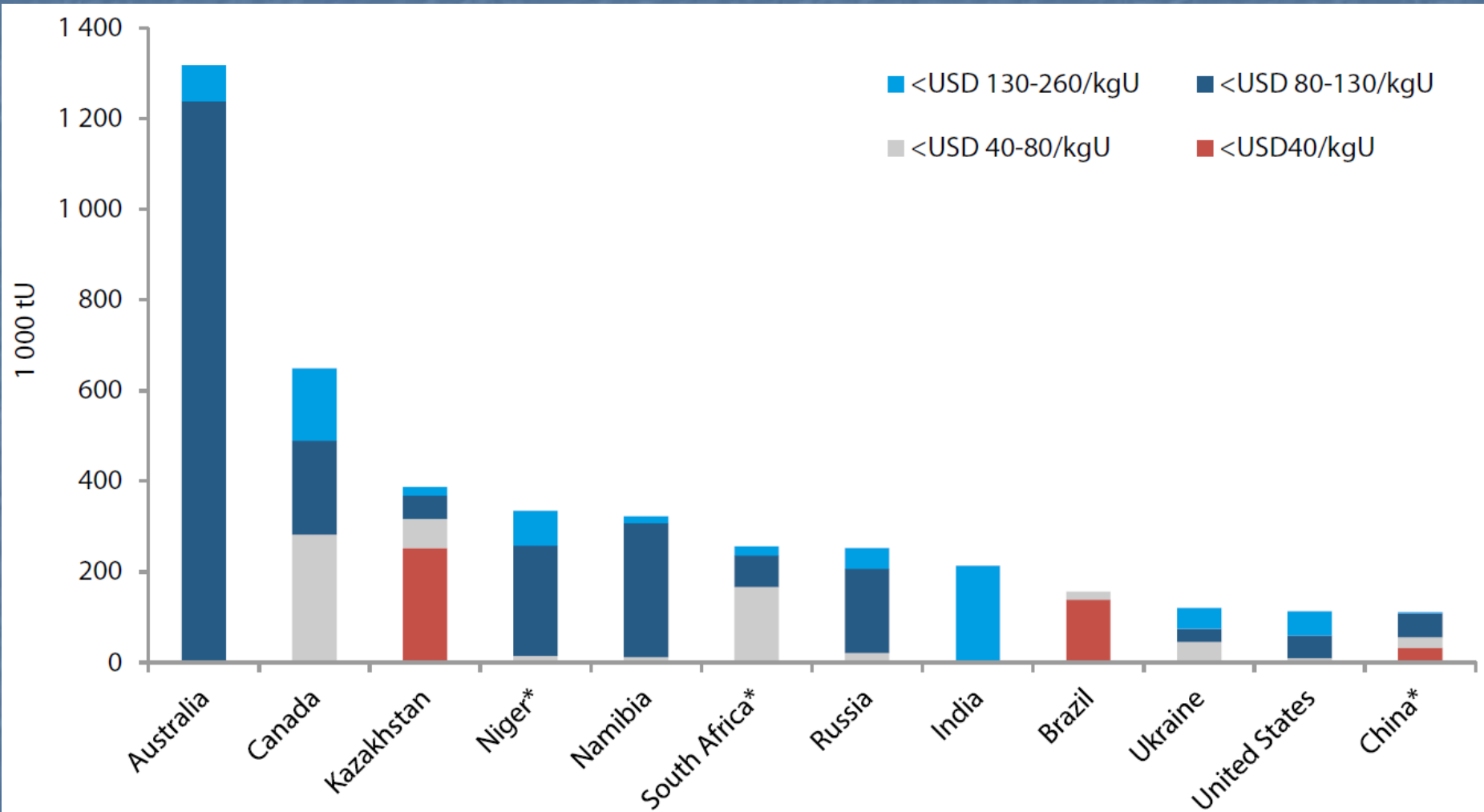


Cost category	Identified Resources		Prognosticated Resources	Speculative Resources
	Reasonably Assured Resources (RAR)	Inferred Resources		
Additional resources with no cost estimate				3.0 Mt U
Total < \$ 130/kg U*	3.3 Mt U	1.4 Mt U	2.5 Mt U	4.6 MtU
\$ 80-130/kg U	0.7 Mt U	0.3 Mt U		
\$ 40-80/kg U	0.7 Mt U	0.4 Mt U		
< \$ 40/kg U	1.9 Mt U	0.8 Mt U		

Decreasing confidence in estimates

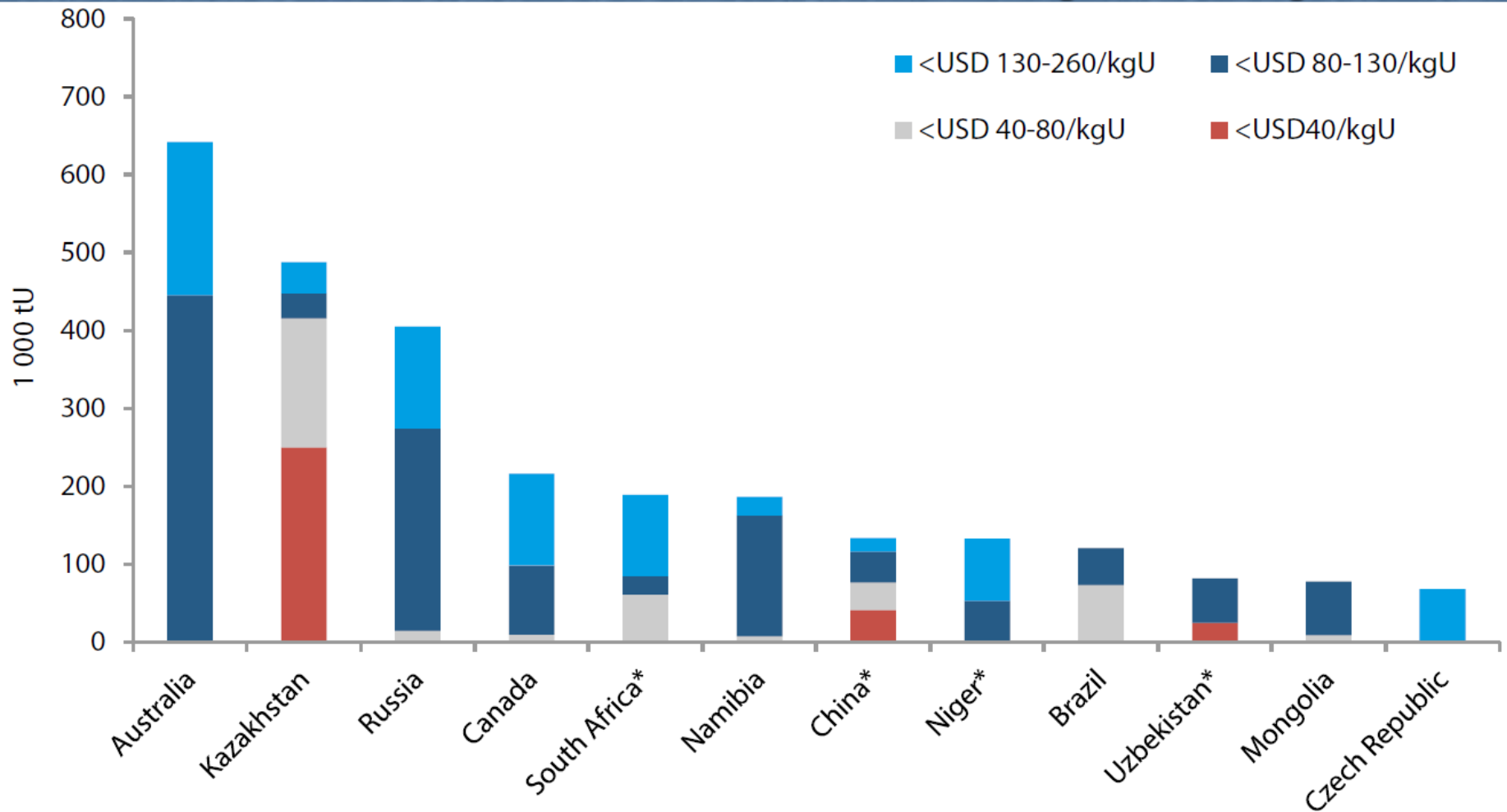
* Totals may not add due to rounding.

Reasonably Assured Recoverable Conventional Uranium Resources (2021)



* Secretariat estimate or partial estimate.

Inferred Recoverable Conventional Uranium Resources (2021)



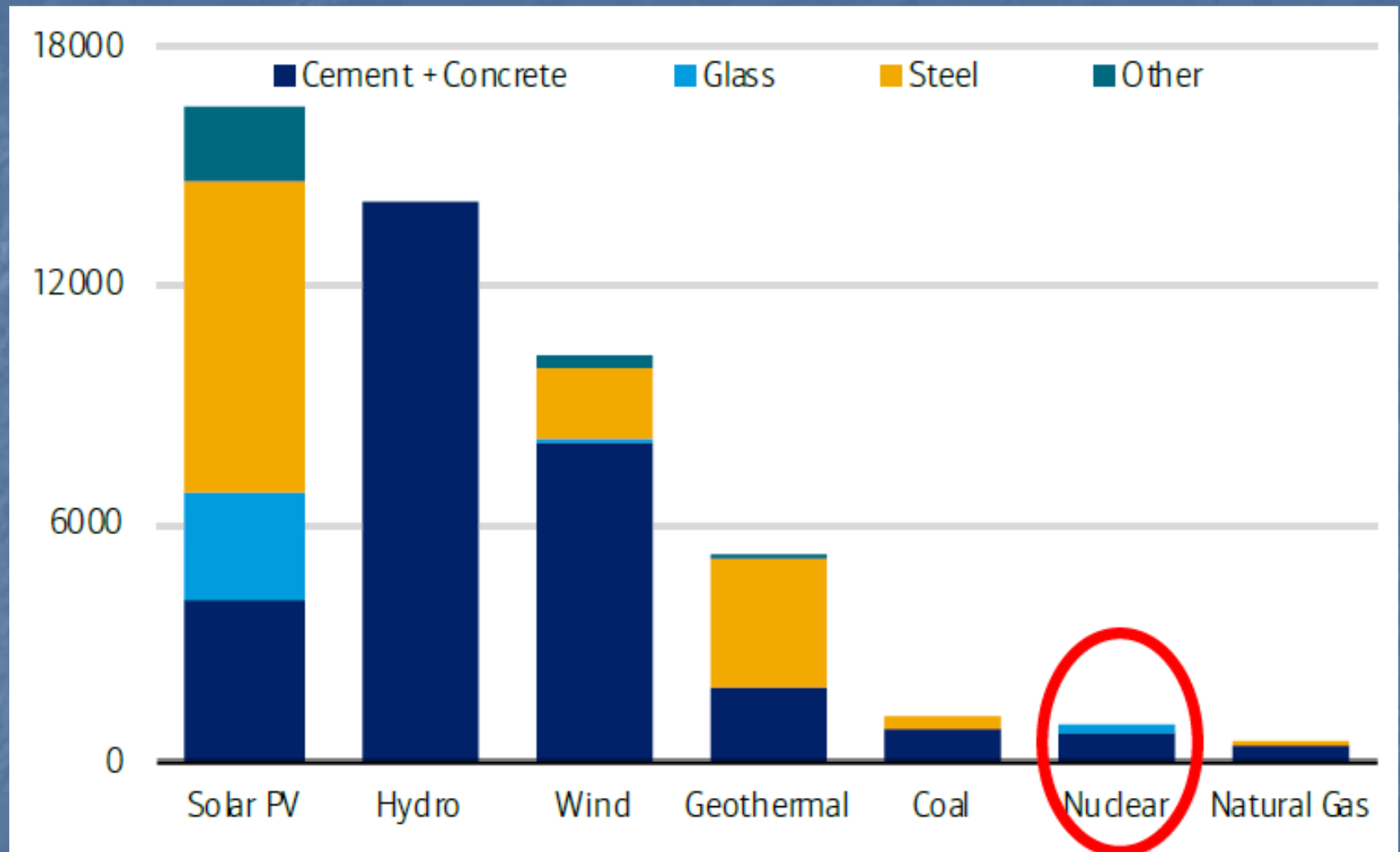
* Secretariat estimate or partial estimate.

Le risorse di Uranio

Anni di risorse di uranio disponibili, per tipologia di reattori
(attuali, IV generazione)

Reactor/Fuel cycle	Years of 2004 world nuclear electricity generation with identified conventional resources	Years of 2004 world nuclear electricity generation with total conventional resources
Current fuel cycle (LWR, once-through)	85	270
Pure fast reactor fuel cycle with recycling	5000–6000	16 000–19 000

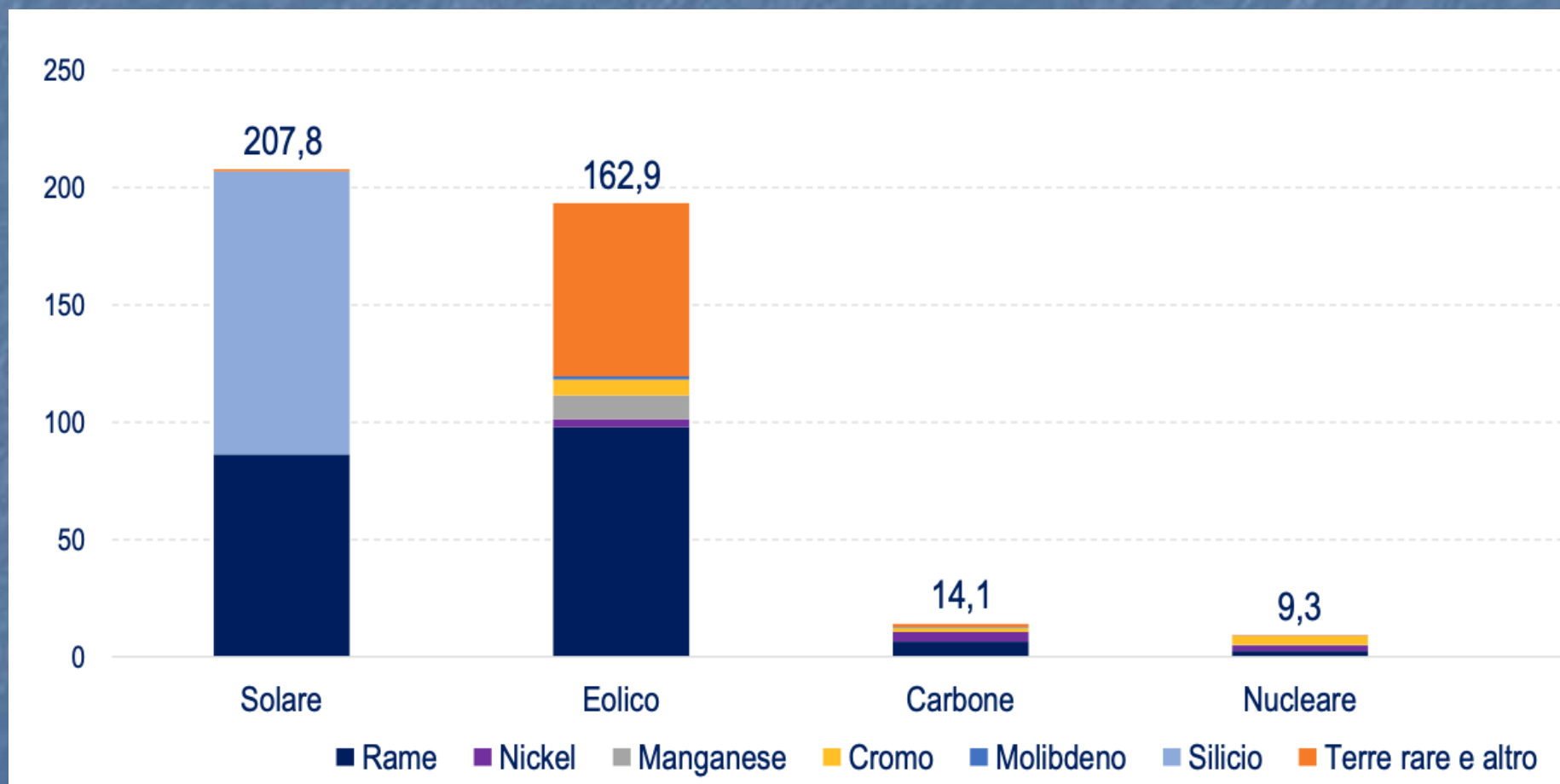
Materiali richiesti (ton per TWh)



Source: BofA Research Investment Committee, Quadrennial Technology Review, Sustainable Review

Fonti Energetiche e loro
Impatto

Materie prime critiche [kg/GWh]



Valutazione delle Esternalità Ambientali

A cost or benefit that is not included in the market price of a good because it is not included in the supply price or the demand price (Pearce & Turner, 1989)

- Le valutazioni di tutti i costi per l'ambiente, lungo tutta la catena produttiva termoelettrica sono stati finora trascurati
- Tutti i costi per l'ambiente, lungo tutta la catena produttiva, finora in gran parte trascurati, devono essere inclusi nel costo dell'energia
- Nel costo del kWh devono essere introdotte le "esternalità ambientali" cioè gli apporti della catena produttiva (ciclo di vita), che comprende l'estrazione, la lavorazione, il trasporto e l'uso del combustibile, i materiali necessari per la costruzione delle centrali, il trattamento dei residui inquinanti e la restituzione del sito per altri usi

Rifiuti nucleari pericolosi: la reale dimensione del problema

Un francese in un anno produce:

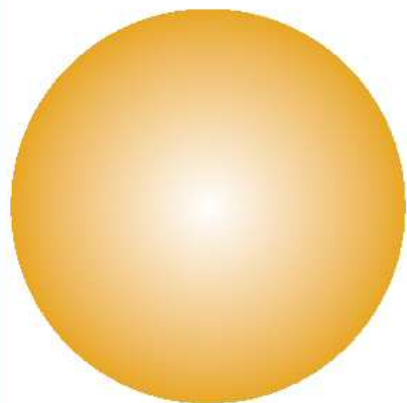
- **3000 kg** di rifiuti di ogni tipo, che comprendono:
- **100 kg** di rifiuti tossico-nocivi (chimici, metalli pesanti-mercurio piombo cadmio non degradabili,...), che comprendono:
 - **1 kg** di rifiuti nucleari, che comprende:
 - **0.05 kg** di rifiuti radioattivi pericolosi a lunga vita (>30 anni)

Quindi, in una intera vita (70 anni), un francese che consumi solo energia elettrica nucleare, produce un volume di rifiuti radioattivi pericolosi pari a...



Confronto tra "rifiuti"

Waste generation comparison – yearly production of waste in the European Union



Industrial waste
approx. 1 000 million m³



Toxic industrial waste
approx. 10 million m³



Radioactive waste
50 000 m³



High activity
radioactive waste
500 m³

Source: *Nuclear and Renewable Energies* (Rome: Accademia Nazionale dei Lincei, 2000), updated with data from the European Commission, *Radioactive Waste Management in the European Union* (Brussels: EC, 1998).

Emissioni di gas da impianti da 1 GW_e



CO₂



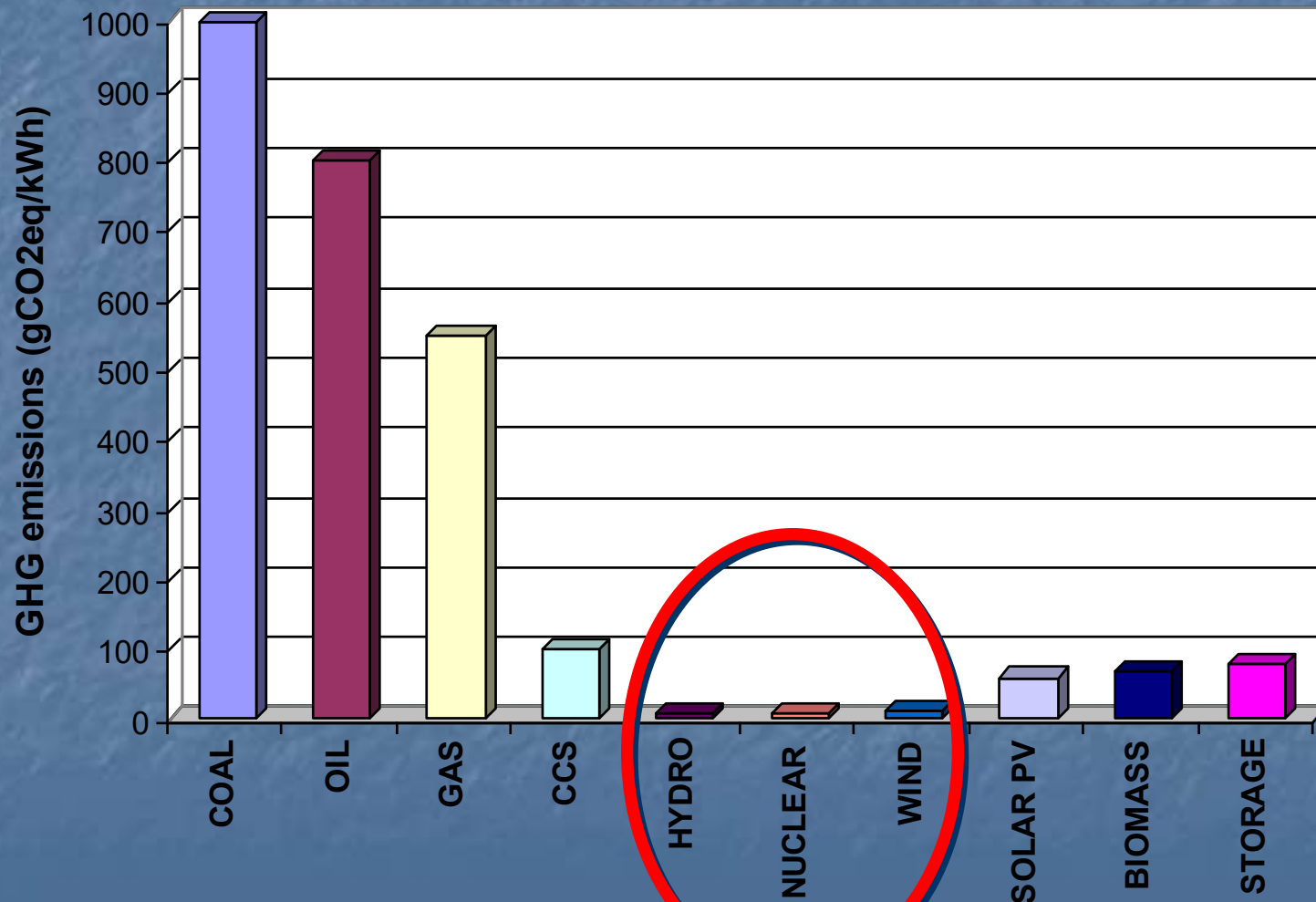
NO_x



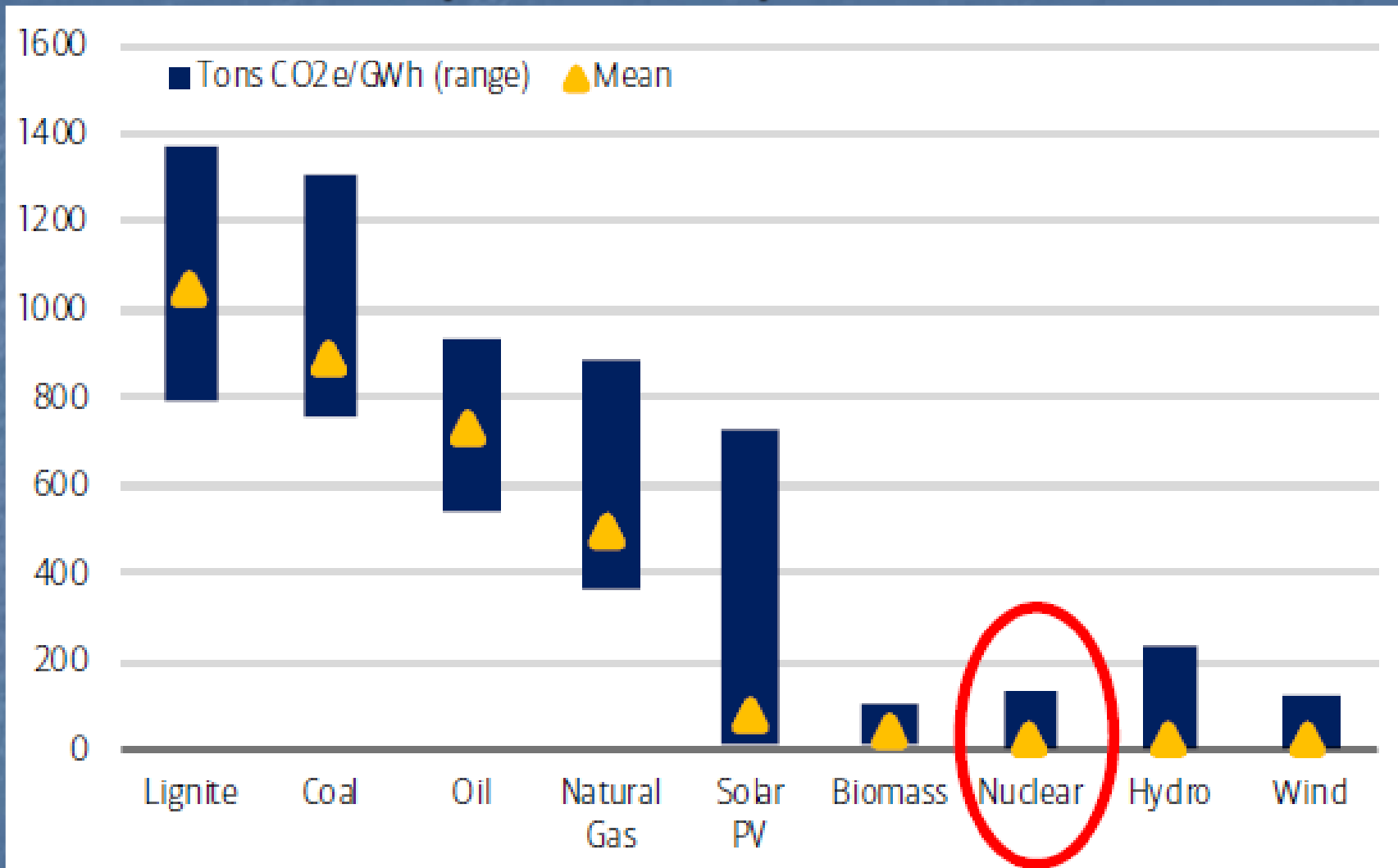
SO₂

CO₂ prodotta da varie fonti energetiche (intero ciclo di vita)

(D. Weisser, "Energy", 32, 2007, Elsevier Ed.)

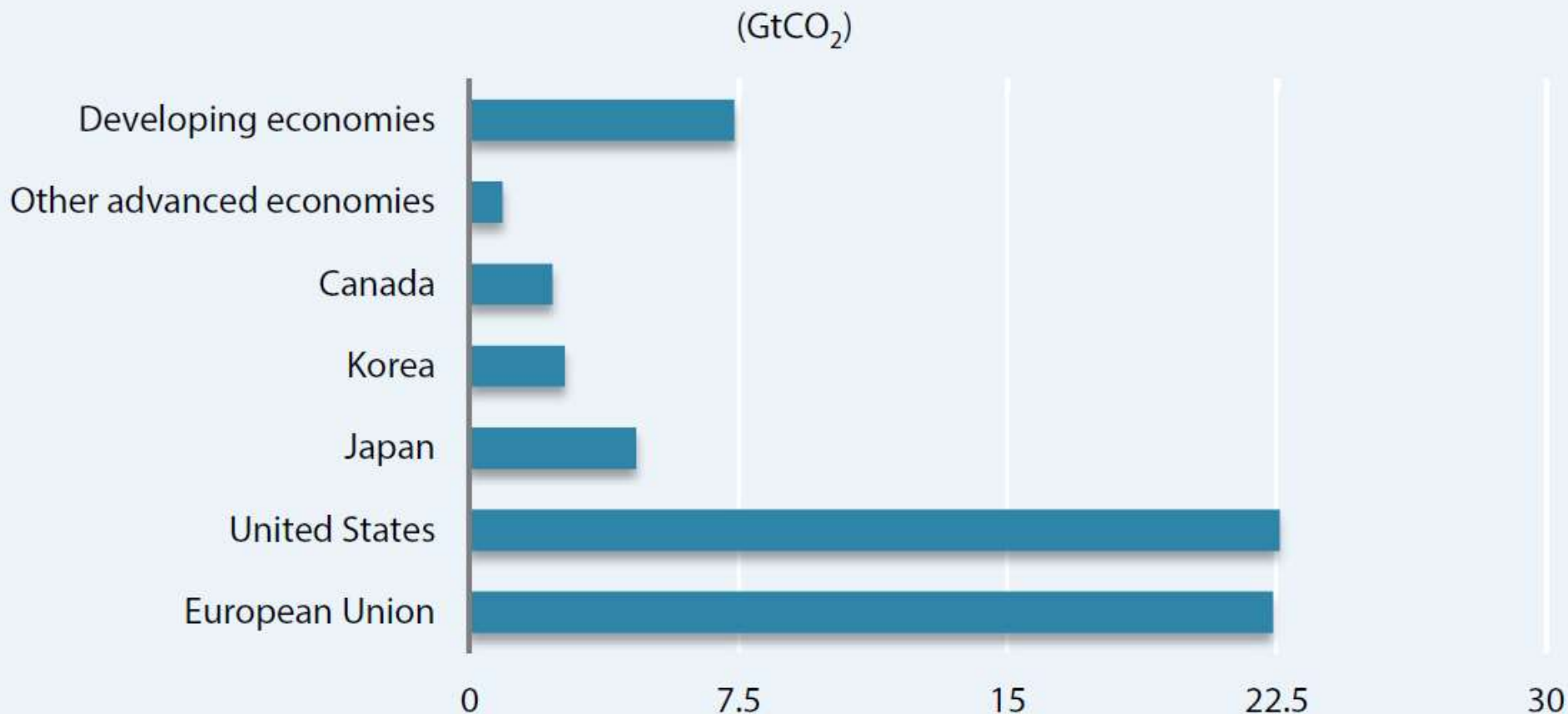


Lifecycle greenhouse gas (GHG) emission by electricity source



Source: BofA Global Research, World Nuclear Association

Cumulative CO₂ emissions avoided by nuclear power (1971-2018)



Source: IEA, 2019

Effetti delle piogge acide



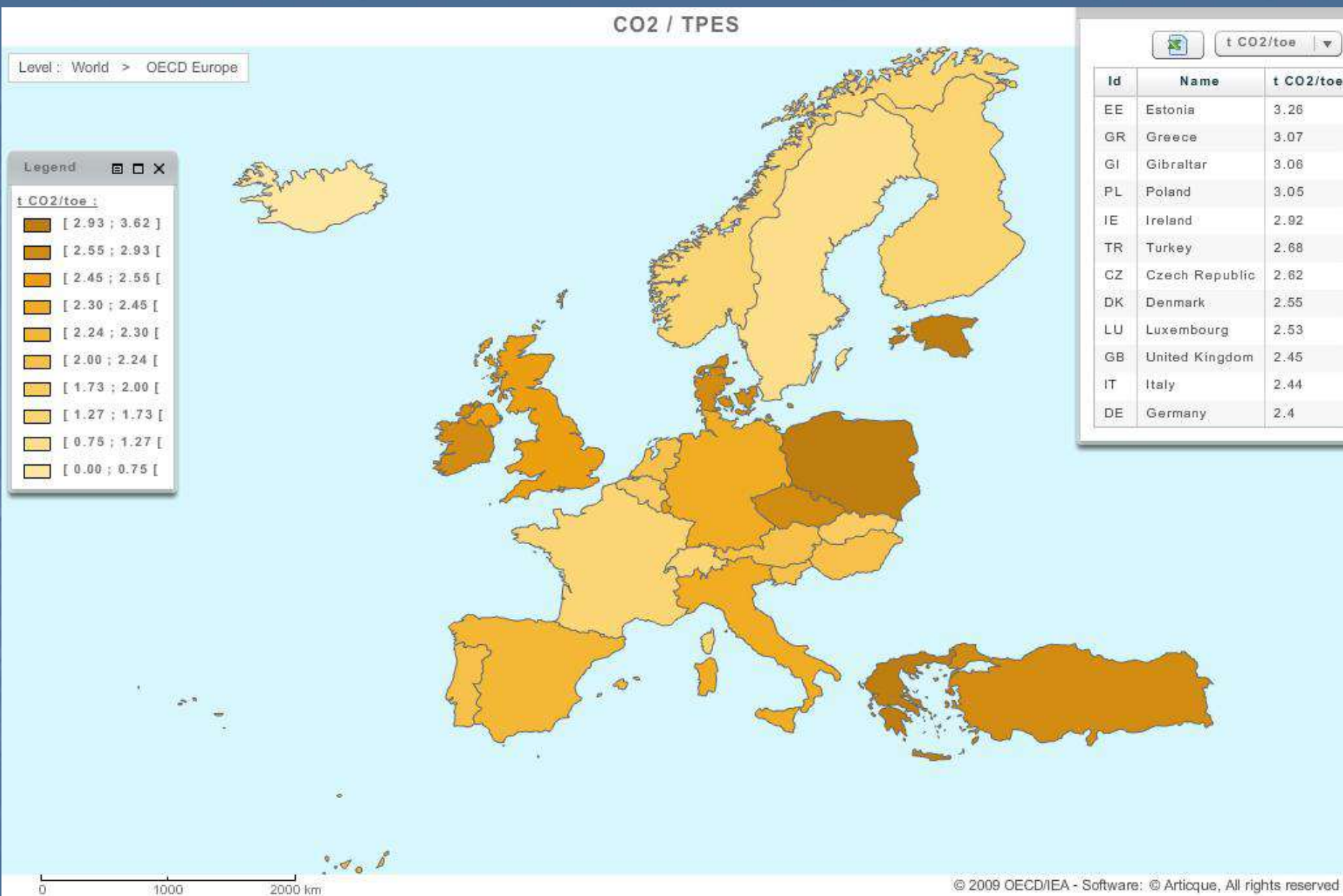
Westphalia 1908...

Effetti delle piogge acide

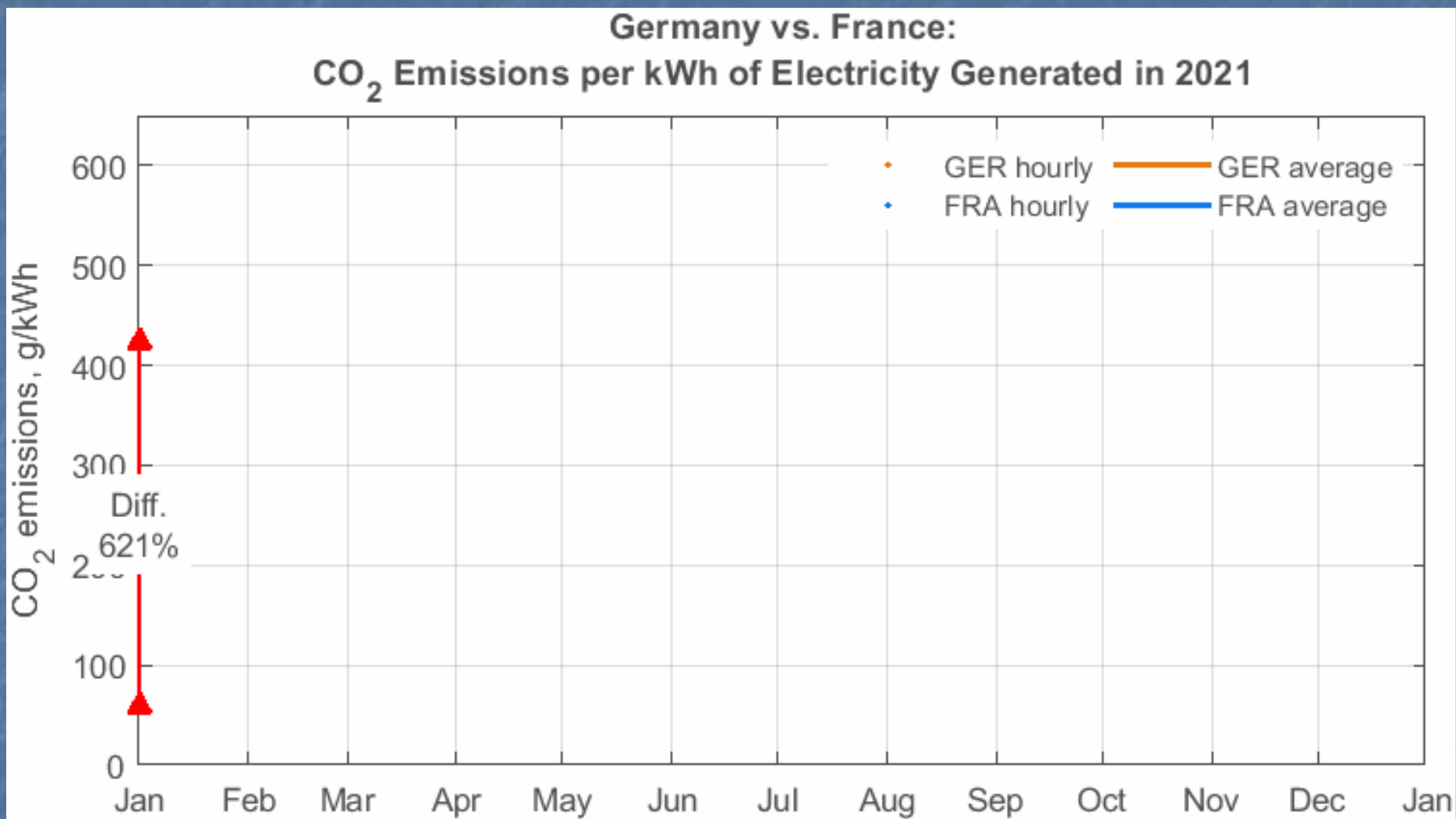


... Westphalia 1968

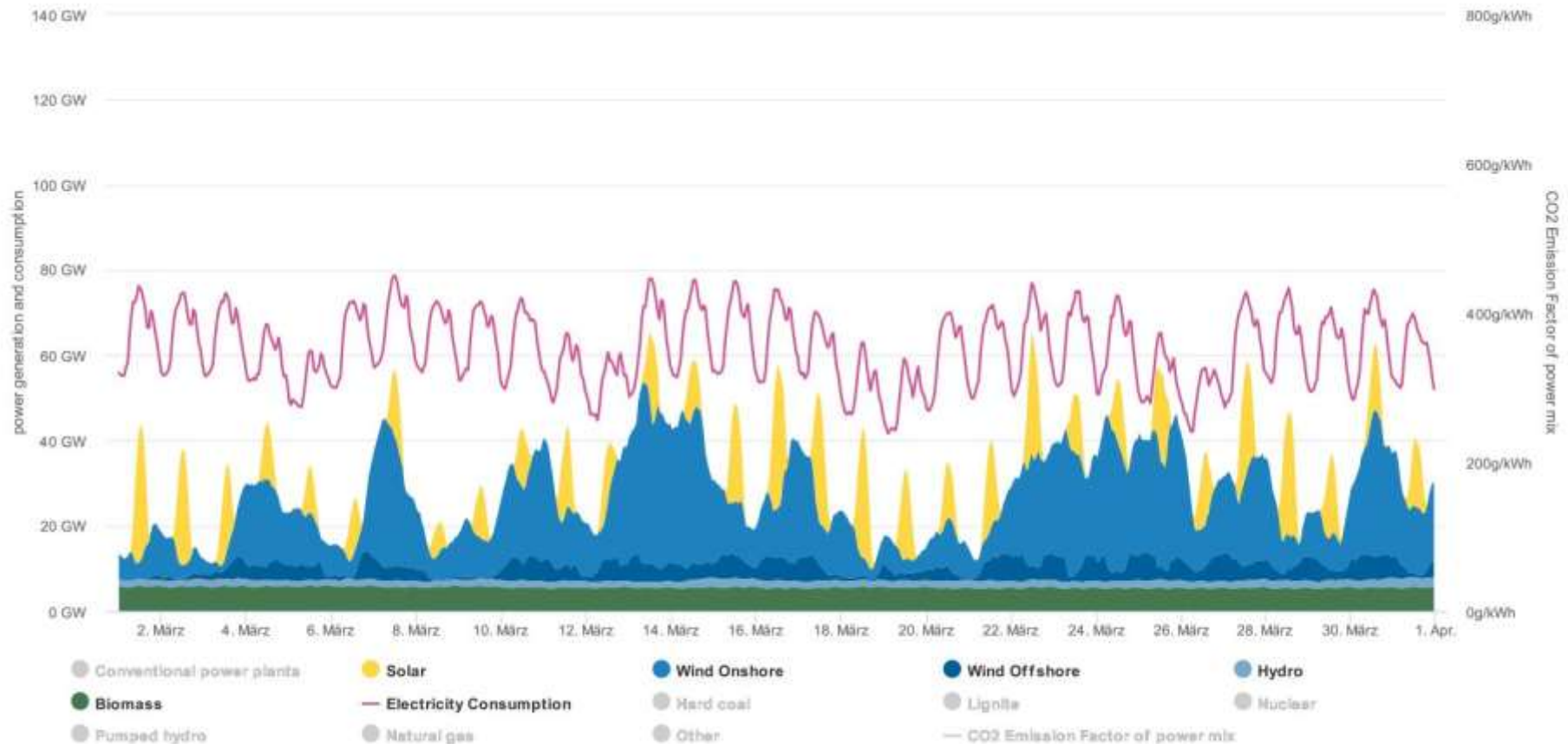
Rapporto tra emissioni di CO₂ e consumi di energia primaria (2009)



Rivoluzione «verde» in Germania? [1/2]





















Rivoluzione «verde» in Germania? [2/2]



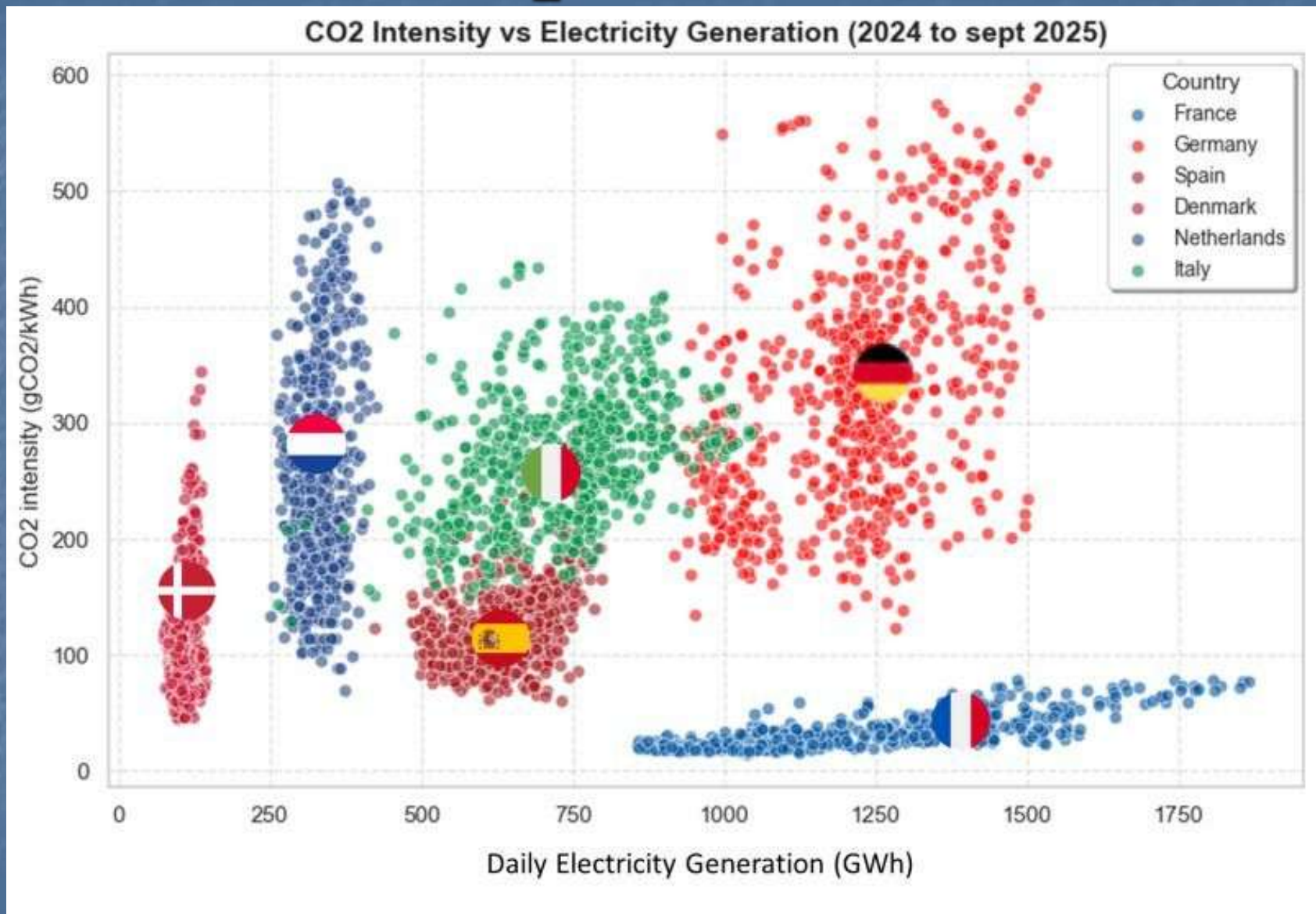
Agora Energiewende, Current to: 02.04.2023, 15:43

CO₂ vs. Fonti di Energia

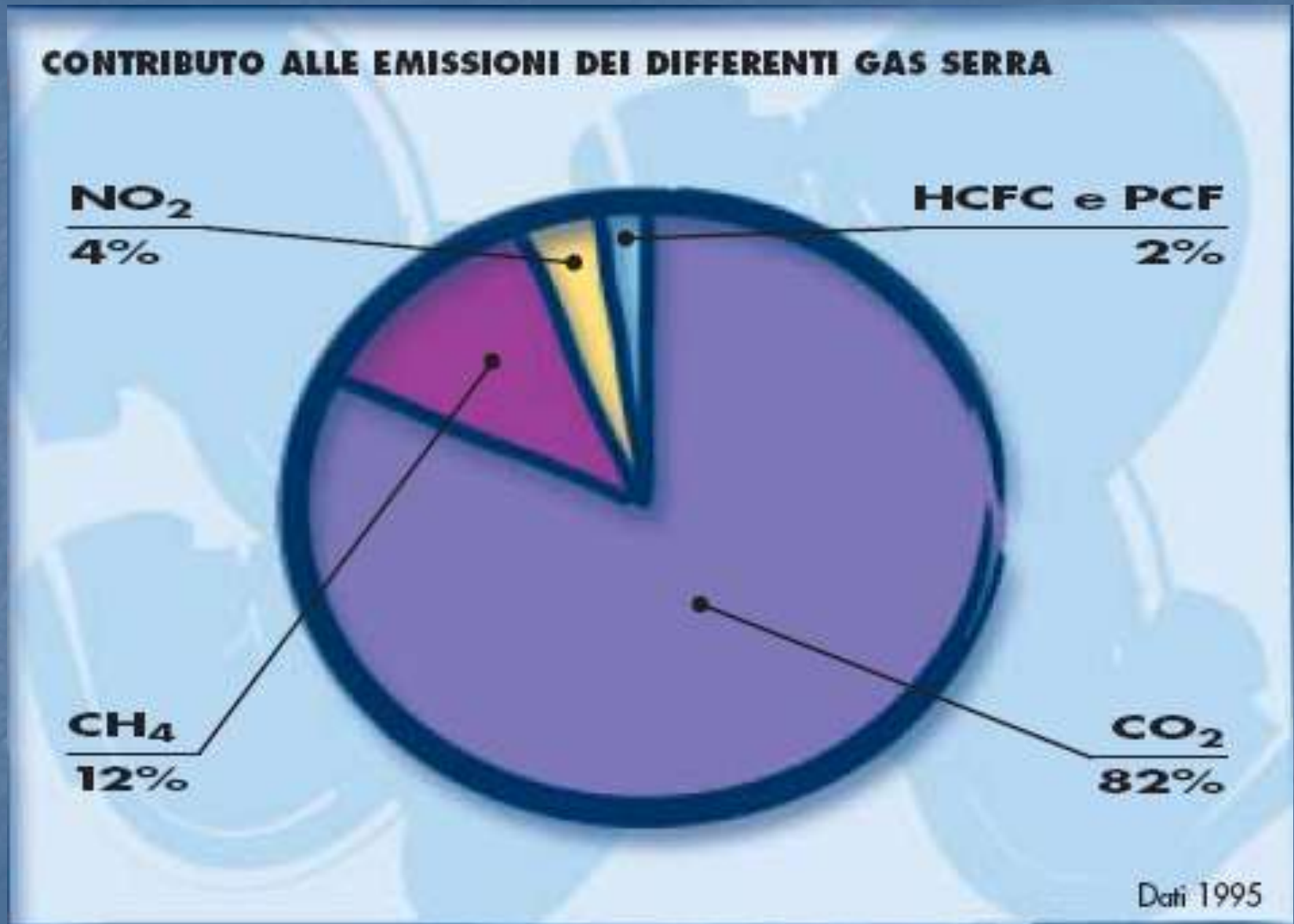
Il confronto tra i Paesi

 Area	 Intensità di carbonio (Co2/kwh)	 Energia nucleare	 Idroelettrica	 Eolica	 Solare	 Geotermica	 Biomasse	 Carbone	 Gas	 Petrolio	 Altro
 Francia	72	58,94%	9,76%	13,25%	4,13%	0%	1,61%	1,05%	9,62%	0,5%	1,13%
 Finlandia	126	38,51%	23,86%	19,68%	0,02%	0%	7,66%	9,17%	2,44%	0,01%	1,36%
 Spagna	126	22,7%	9,71%	28,86%	13,7%	0%	2,03%	1,92%	18,3%	0,24%	2,54%
 G. Bretagna	217	16,47%	4,32%	4,37%	4,37%	0%	5,02%	0,96%	35,98%	0,06%	1,72%
 Stato di New York	260	23,15%	26,34%	5,21%	0,19%	0%	0,23%	1,97%	41,29%	0,04%	1,58%
 Italia (Nord)	384	11,96%	13,32%	4,55%	7,29%	0,93%	2,17%	5,6%	41,89%	0,19%	12,1%

CO₂ intensity

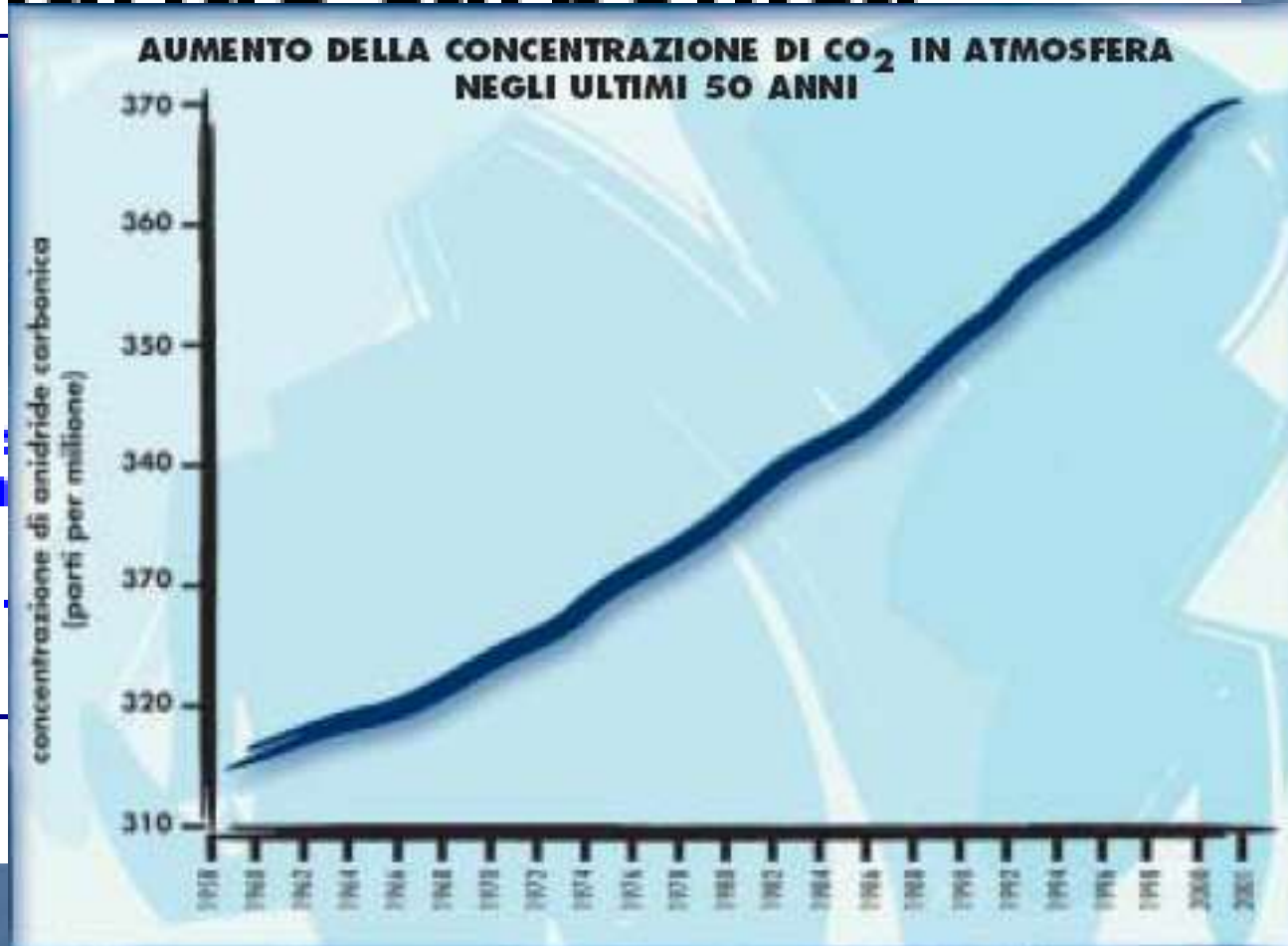
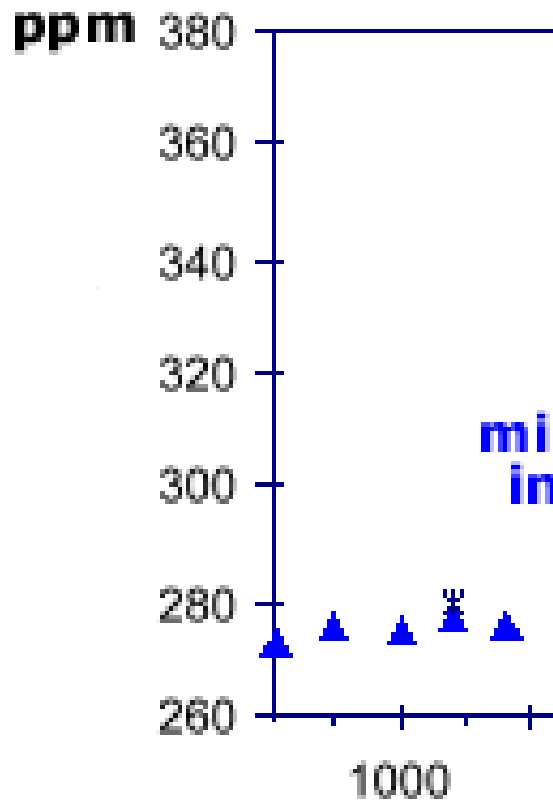


Effetto Serra



Andamento delle concentrazioni della CO₂

Anidride carbonica



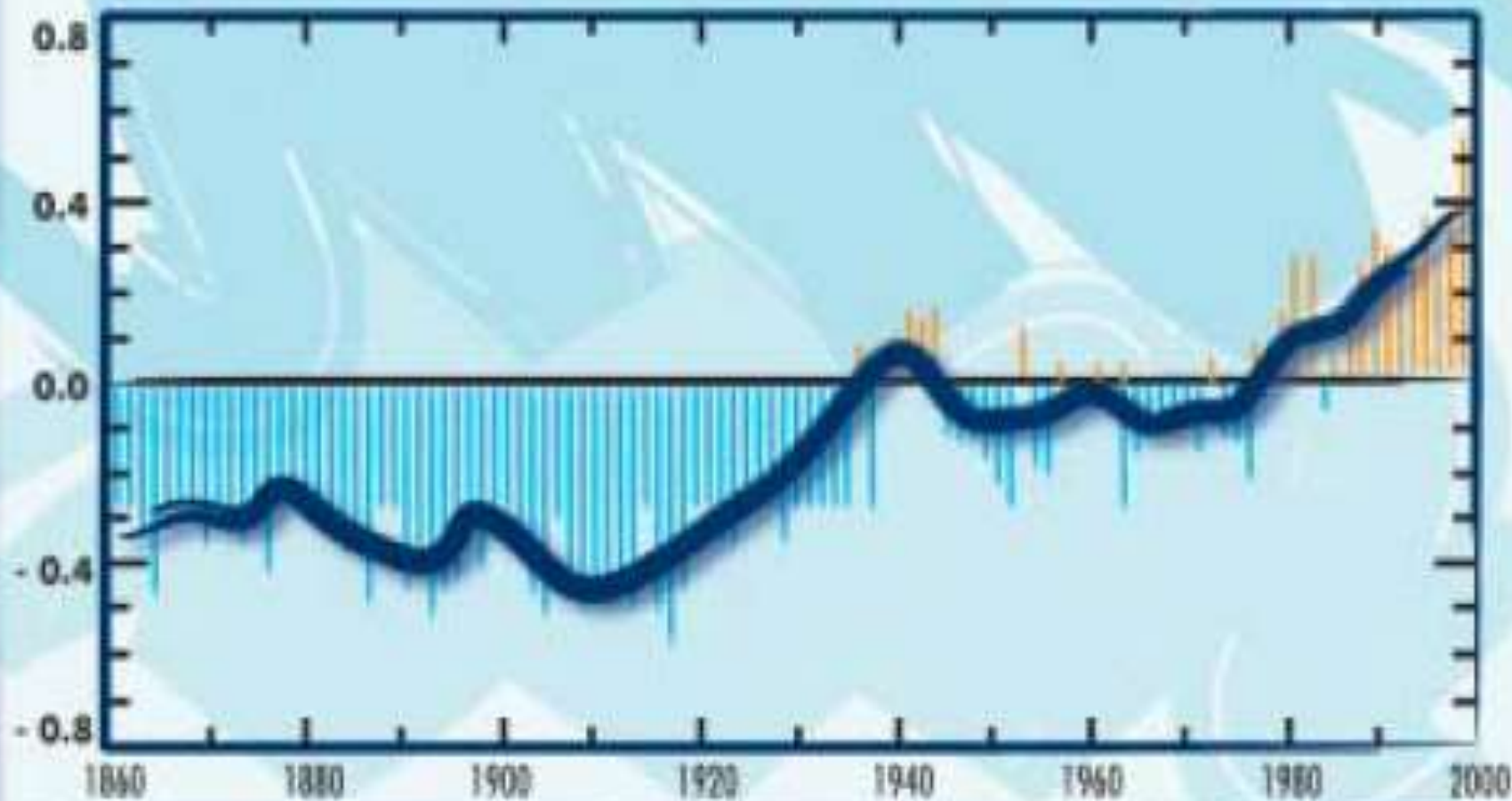
Gas Serra

LIVELLI DI CONCENTRAZIONE E PERSISTENZA IN ATMOSFERA PER ALCUNI DEI PIÙ IMPORTANTI GAS SERRA

	CO ₂	CH ₄	NO ₂	CFC-11	HFC-23	CF ₄ (PFC)
Pre rivoluzione industriale	~280 ppmv	~700 ppbv	~280 ppbv	-	-	40 pptv
1998	365 ppmv	1.745 ppbv	314 ppbv	268 pptv	14 pptv	80 pptv
Tasso di crescita annuo attuale	0,5	0,6	0,25			
Persistenza media (anni)	50/200	12	114	45	257	50.000
GWP (Potenziale di Riscaldamento Globale)	1	21	310	4.000	11.700	6.300

ppmv=parti per milione in volume, ppbv=parti per miliardo in volume, pptv=parti per migliaia di miliardi in volume.

VARIAZIONI DELLA TEMPERATURA MEDIA DELLA TERRA DAL 1860 (RISPETTO ALLA MEDIA 1961-1990)



Tendenze della temperatura globale dal 2500 a.C. al 2040 d.C.

Il maggiore rinfrescamento globale fu nel 2008
Precipitò di 0.4 °C da metà 2007 al Gennaio 2008

Eruzione del vulcano sul monte Pinatubo (Filippine)
La temperatura precipitò di 0.6 °C da 06/1991 a 03/1992
Da 0.36 °C sopra a 0.28 °C sotto il normale

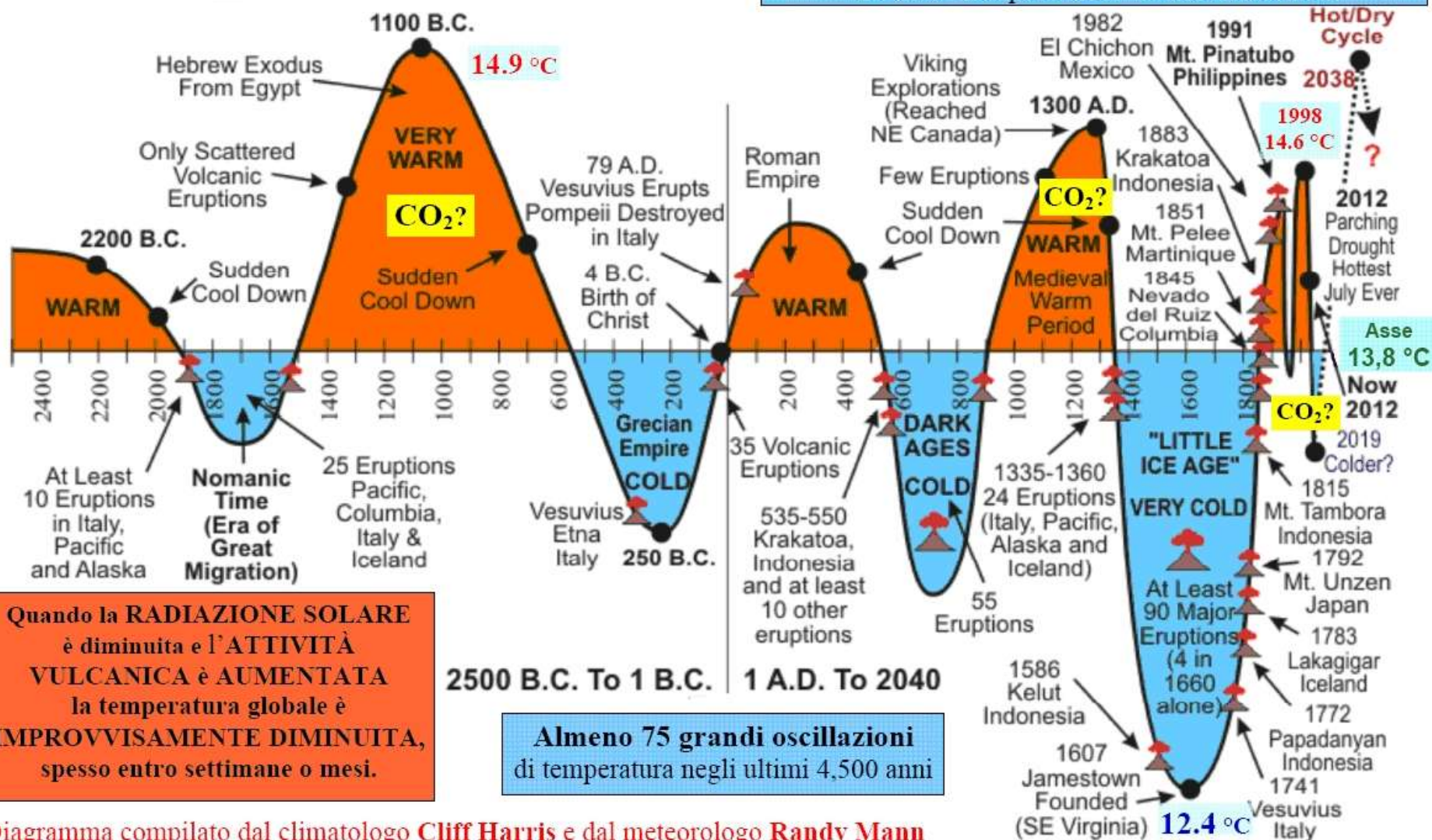
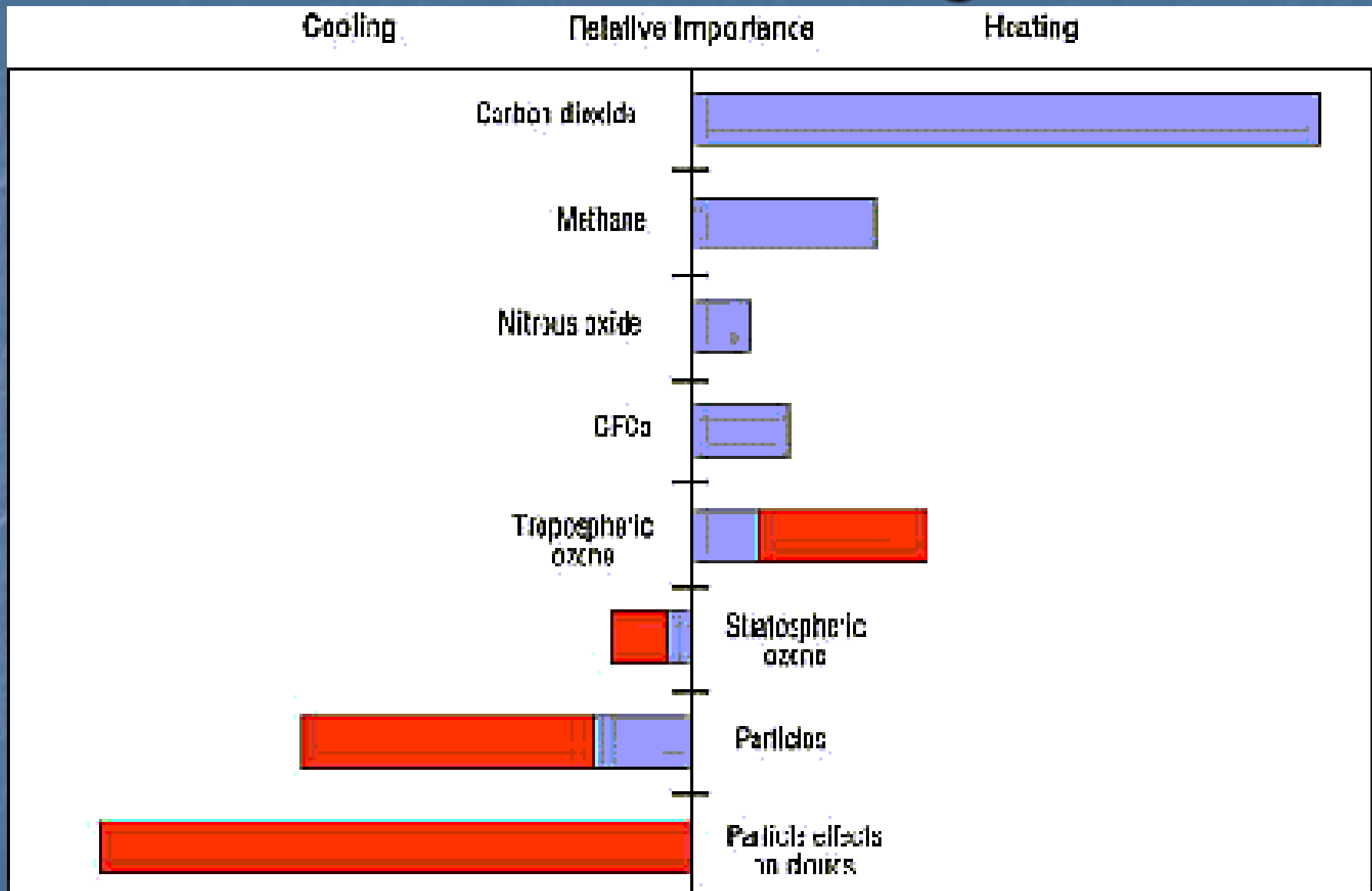
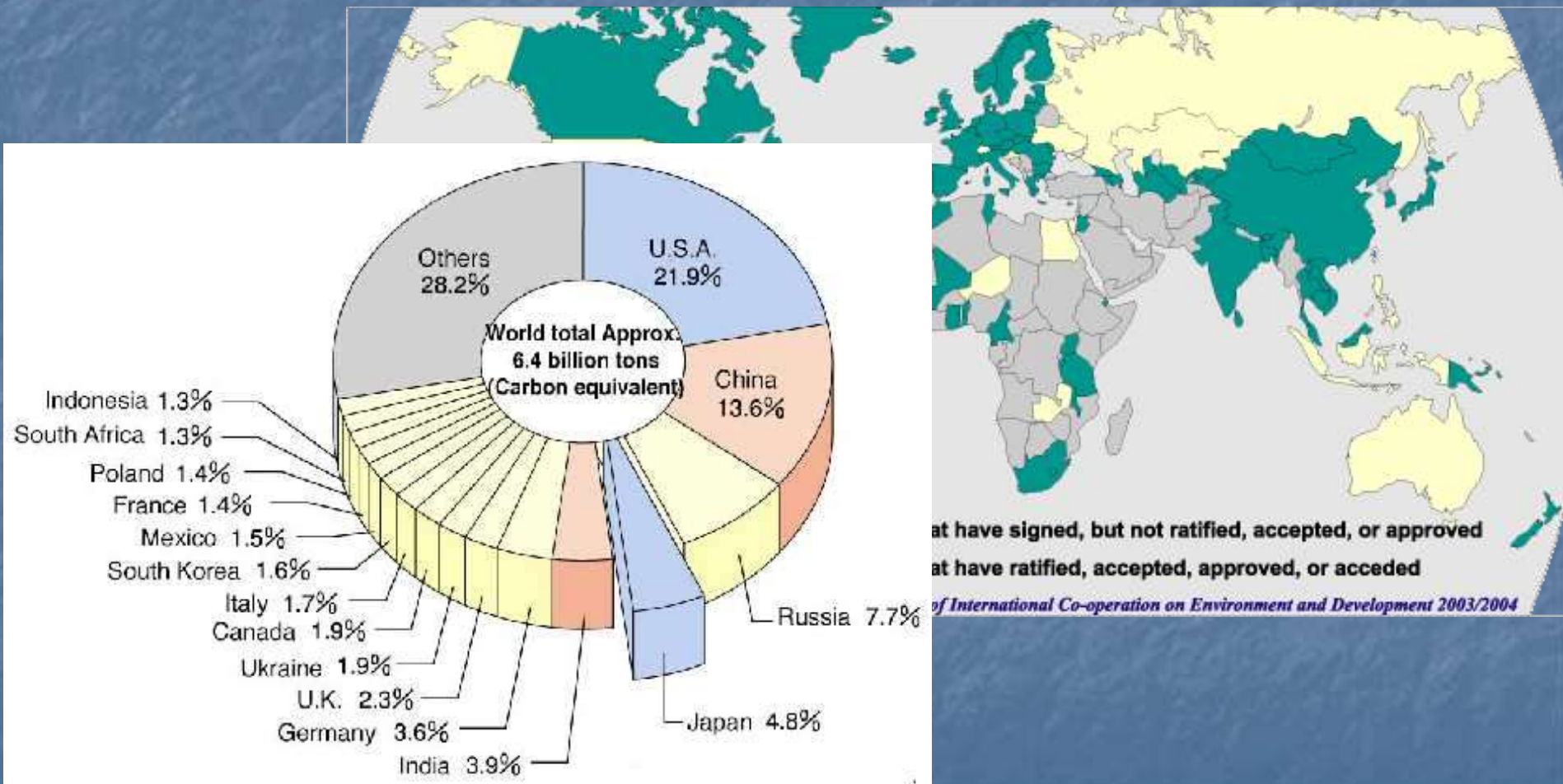


Diagramma compilato dal climatologo **Cliff Harris** e dal meteorologo **Randy Mann**

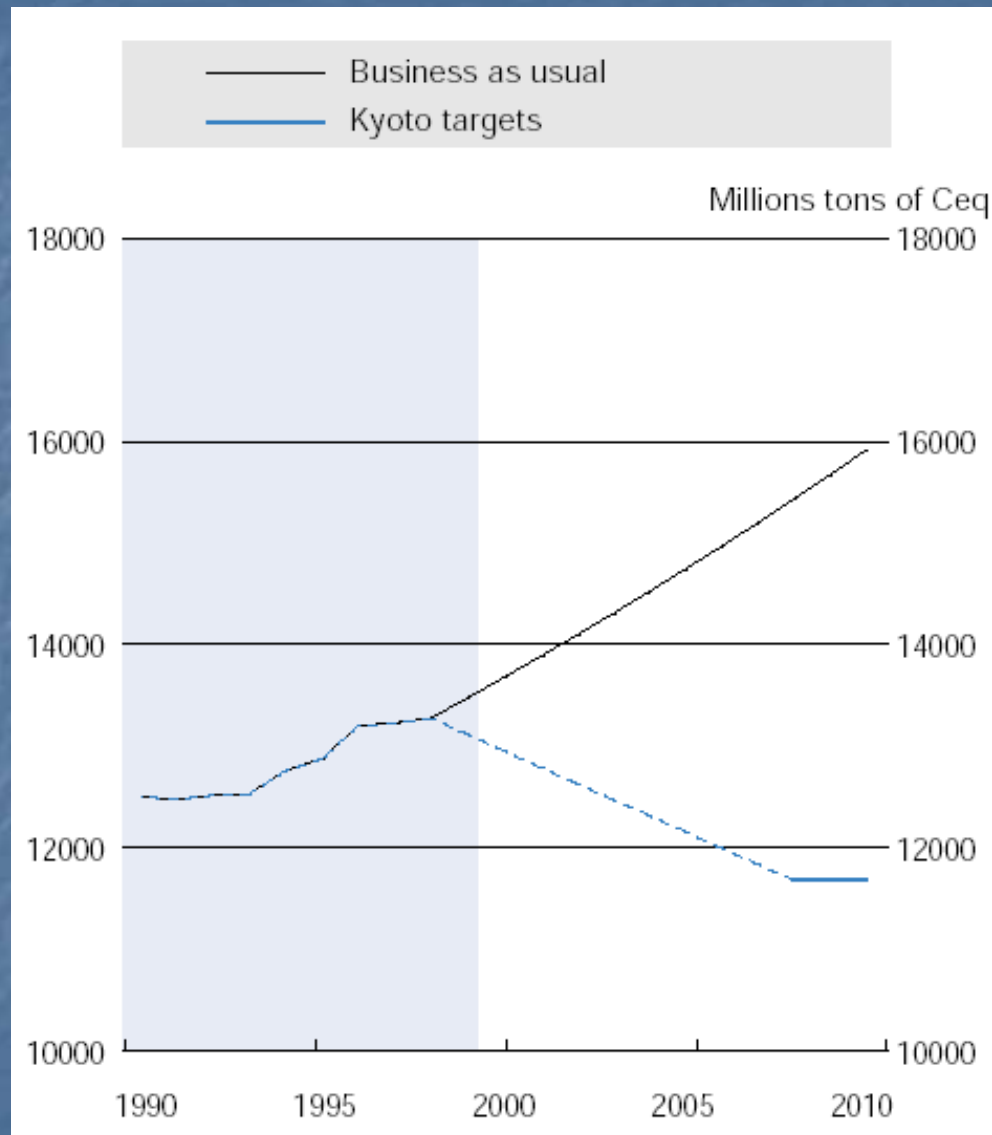
Effetti contrastanti dei gas serra



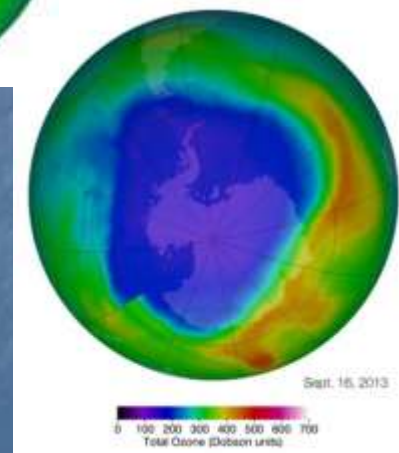
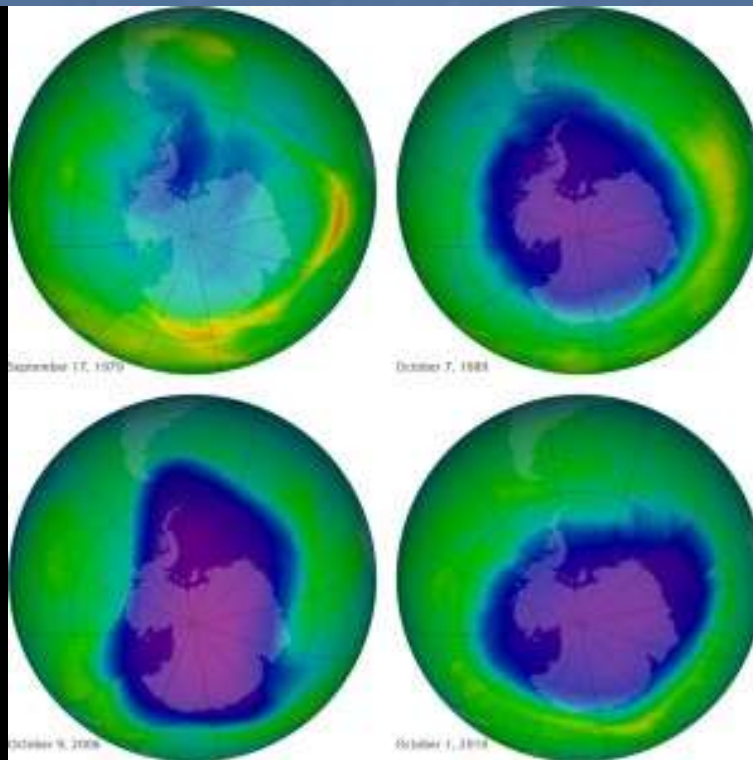
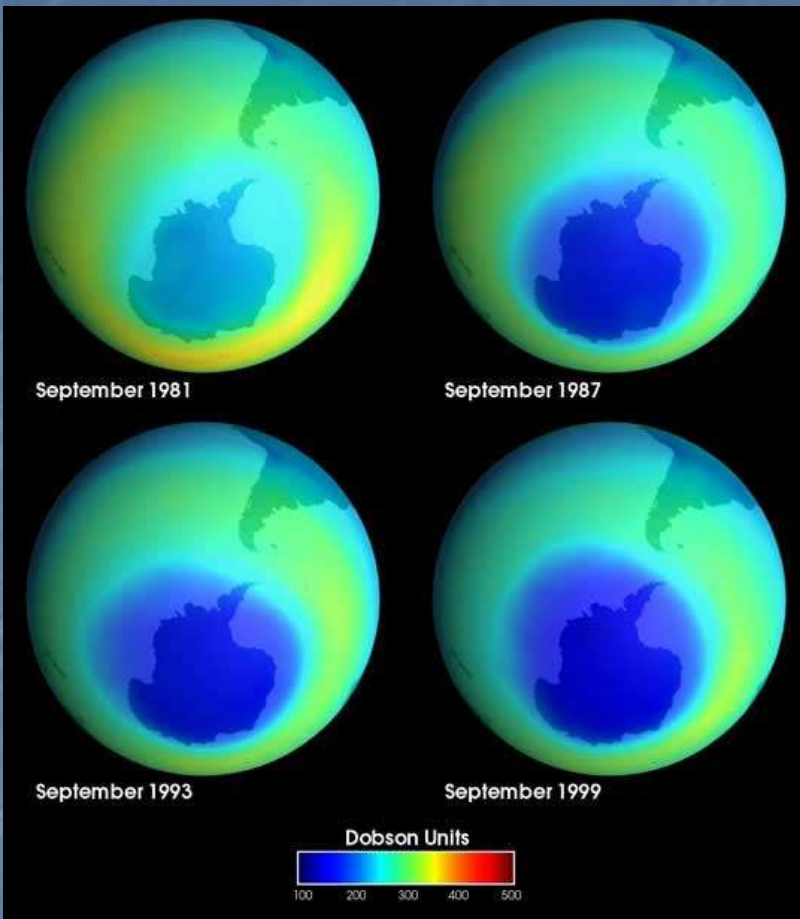
Protocollo di Kyoto



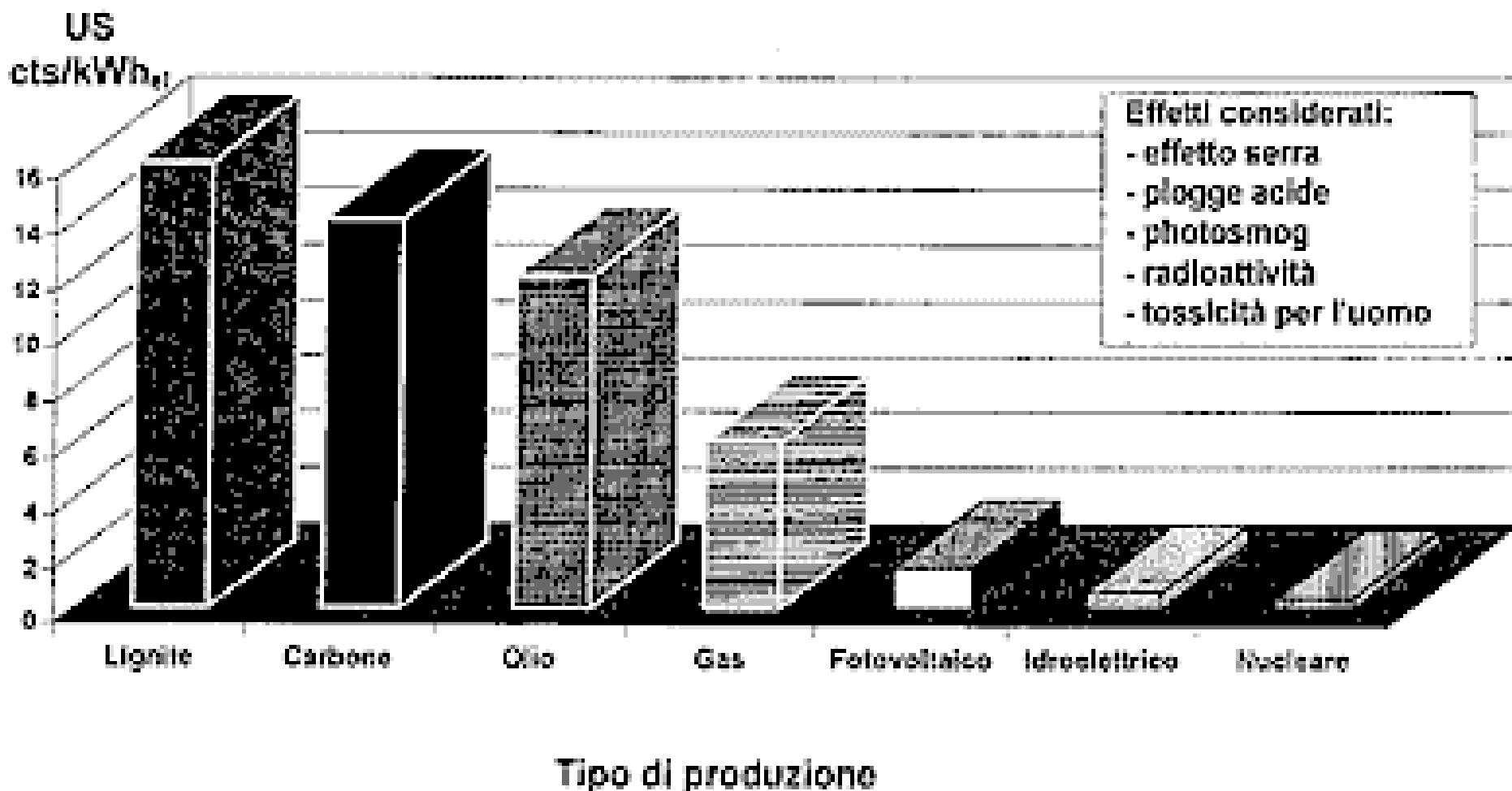
Riduzione gas serra in OECD



Il “buco” dell’ozono



Costi ambientali delle fonti di energia



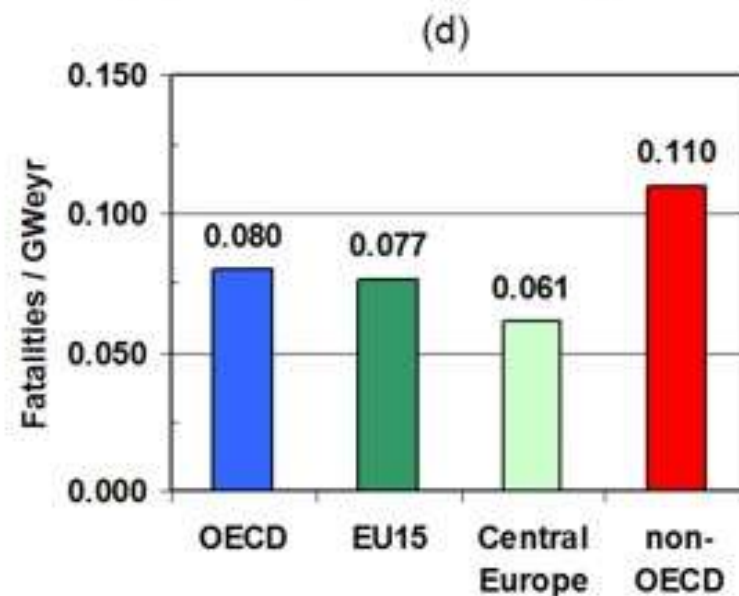
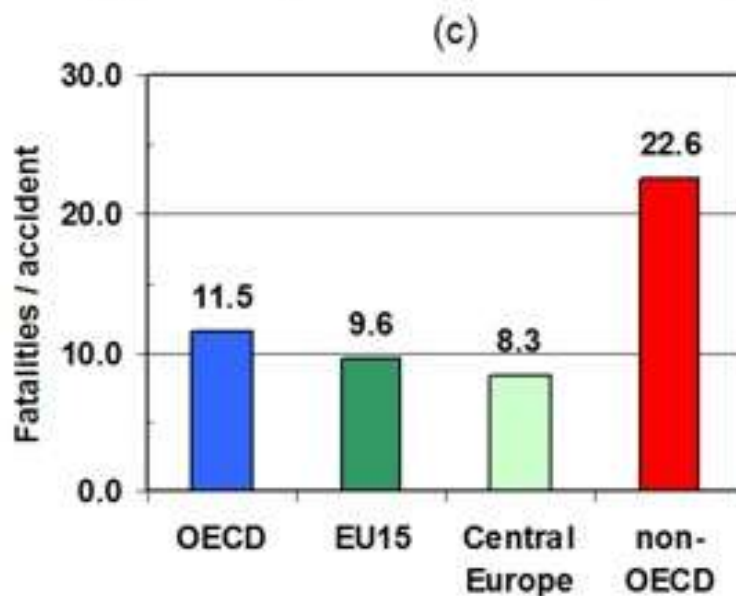
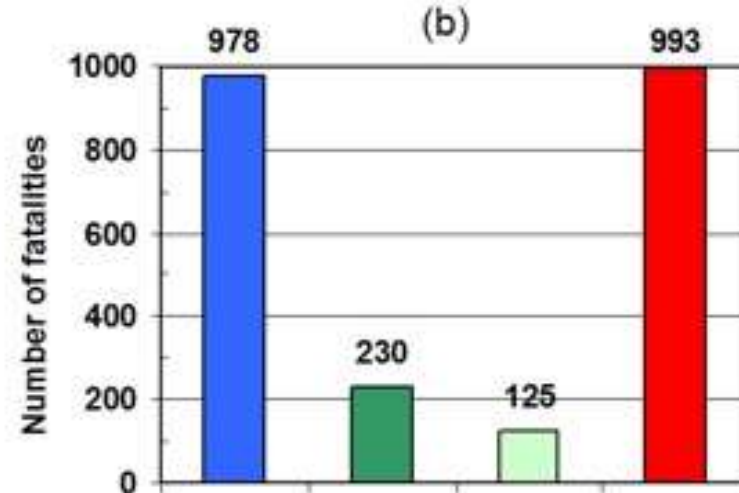
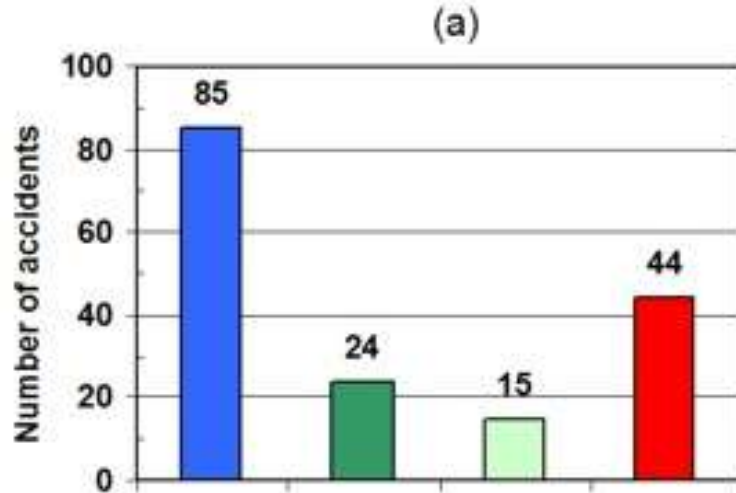
Idroelettrico: pro vs. contro

■ Noti:

- ↑ Riduce le emissioni di gas serra
- ↑ Aumenta la percentuale di elettricità rinnovabile
- ↓ Negativo per la biodiversità
- ↓ Infligge pesanti disagi alle popolazioni costrette a traslocare per fare spazio ai grandi bacini d'acqua

■ «Nuovo»:

- ↓ Secondo un recente studio della Washington State University, le valutazioni sui vantaggi dell'idroelettrico hanno sottostimato il suo impatto sulle emissioni di CH_4
- ↓ Il problema sorge in particolare quando c'è una richiesta di elettricità maggiore e quindi un maggiore rilascio di acqua che fa scendere drasticamente il livello dell'acqua negli invasi a monte delle dighe
- ↓ L'abbassamento dell'acqua consente infatti ai sedimenti accumulati presenti sul fondo di scaldarsi con la maggiore penetrazione dei raggi del sole, favorendo l'attività microbica che favorisce il rilascio in atmosfera di massicce quantità di CH_4 , incrementandone le emissioni anche di 20 volte
- ↓ I fondali dei bacini a ridosso delle dighe sono dei formidabili produttori di CH_4 proprio perché raccolgono l'enorme quantità di sedimenti trasportati a valle dai fiumi



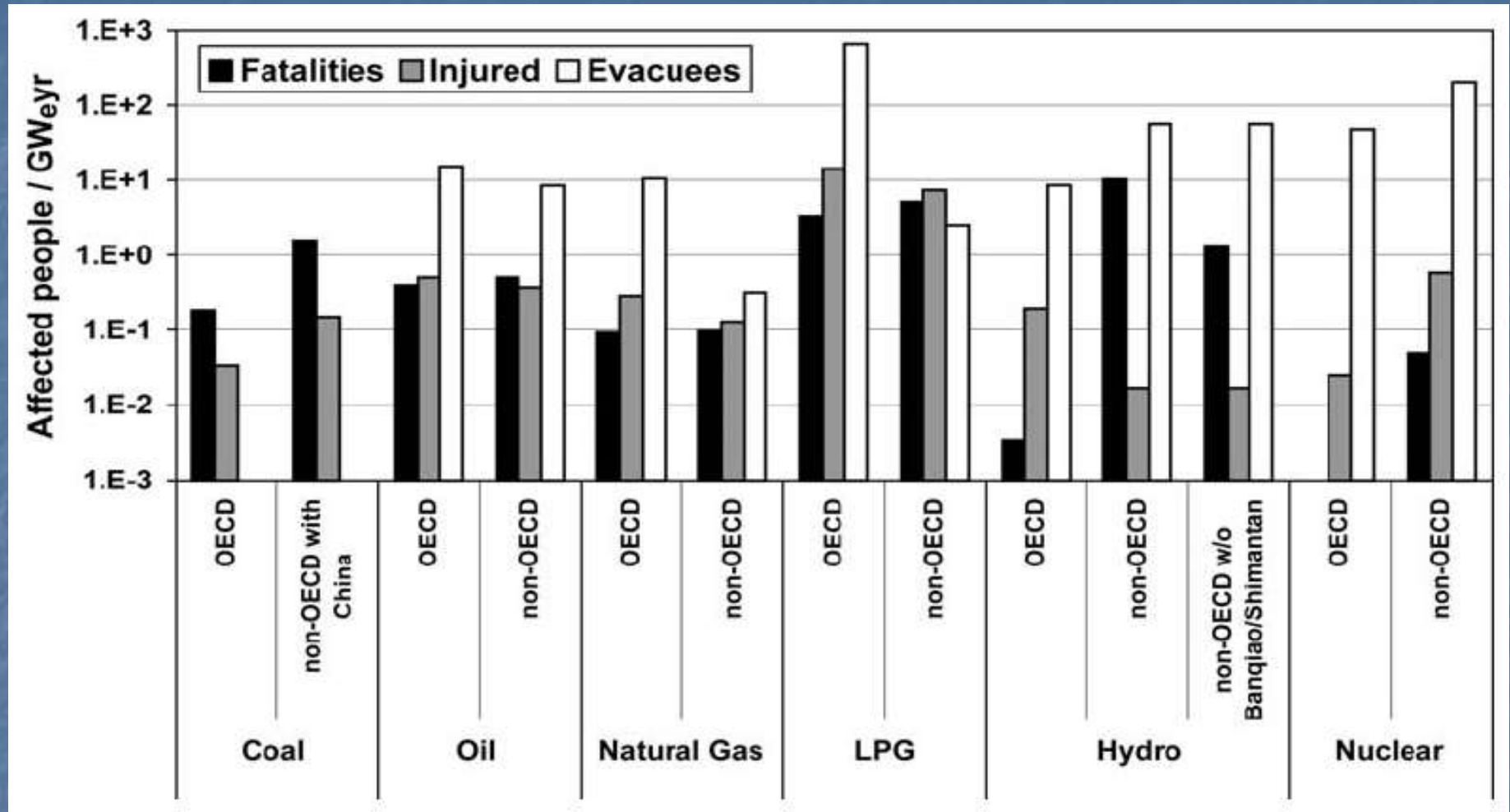
Number of (a) accidents, (b) fatalities, (c) fatalities per accident, and (d) fatalities per GWeyr for the natural gas chain, based on historical experience of severe accidents that occurred in the period 1969-2000. Results are given for OECD, EU15, Central Europe (CH, DE, NL, GB, BE, DK) and non-OECD.

Energy chain	Reference countries	Damage costs in €-Cents(2002)/kWh _e			External costs in €-Cents(2002)/kWh _e		
		<i>Occupational</i>	<i>Public</i>	<i>Total</i>	<i>Occupational</i>	<i>Public</i>	<i>Total</i>
Coal	OECD	1.7E-3	1.2E-5	1.7E-3	3.4E-4	6.1E-6	3.5E-4
	non-OECD w/o China	6.5E-3	4.3E-5	6.5E-3	3.2E-3	3.5E-5	3.3E-3
	China (1994-1999)	1.2E-2	ng ³	1.2E-2	6.1E-3	ng ³	6.1E-3
Oil	OECD	9.9E-4	9.0E-4	1.9E-3	2.0E-4	4.5E-4	6.5E-4
	non-OECD	1.8E-3	1.1E-2	1.3E-2	9.1E-4	8.7E-3	9.6E-3
Natural gas	OECD	2.2E-4	4.4E-4	6.6E-4	2.2E-4	2.2E-4	4.4E-4
	non-OECD	3.3E-4	5.9E-4	9.2E-4	1.6E-4	4.7E-4	6.3E-4
Hydro	OECD	ng ³	4.1E-5	4.1E-5	ng ³	2.0E-5	2.0E-5
	non-OECD	ng ³	1.2E-1	1.2E-1	ng ³	9.8E-2	9.8E-2
	non-OECD w/o Banqiao/Shimantan	ng ³	1.6E-2	1.6E-2	ng ³	1.3E-2	1.3E-2
Nuclear	OECD ¹	ng ³	ng ³	ng ³	ng ³	ng ³	ng ³
	non-OECD ²	5.7E-4	ng ³	5.7E-4	2.9E-4	ng ³	2.9E-4

¹Based on PSA for a Swiss plant ²Based on the Chernobyl accident ³ng = negligible

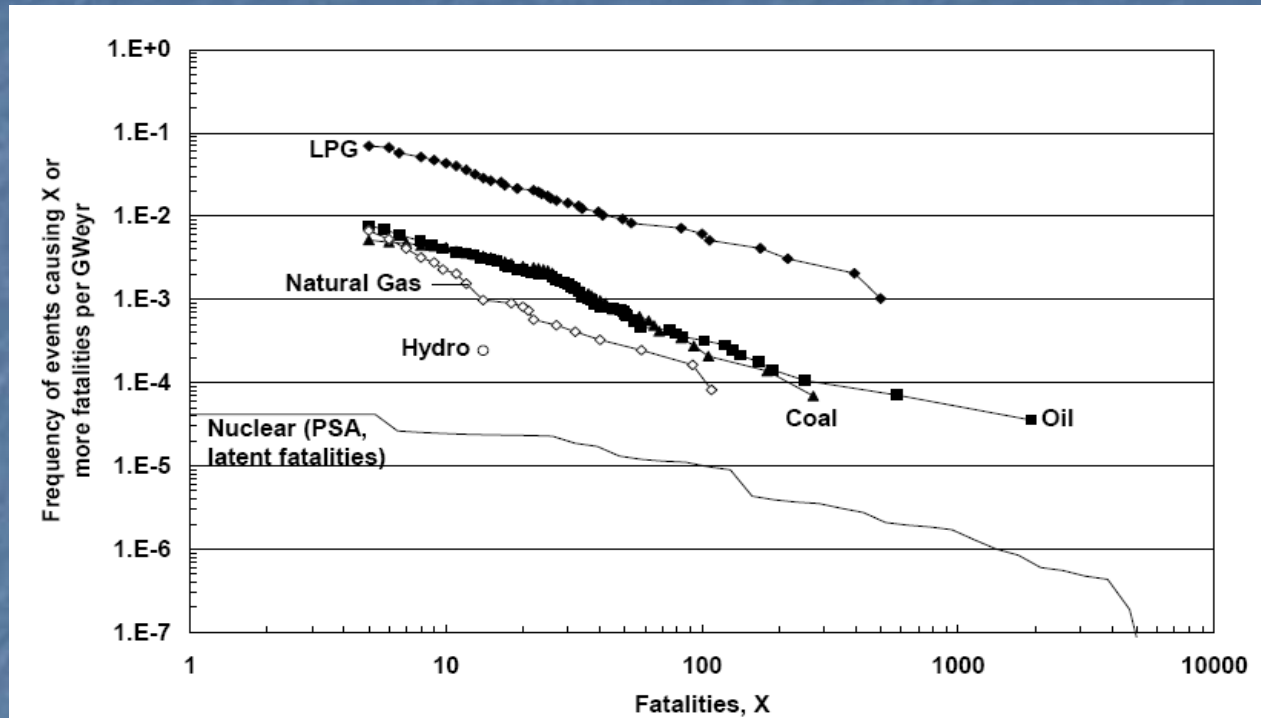
Summary of full chain damage costs and external costs (€-Cents(2002)/kWh) of severe accidents with at least five immediate fatalities; the reference coal, oil and natural gas electricity generating plants have efficiencies of 41, 30 and 53%, respectively (Value of a Statistical Life (central value) = 1.045 million Euro).

Aggregated damage rates



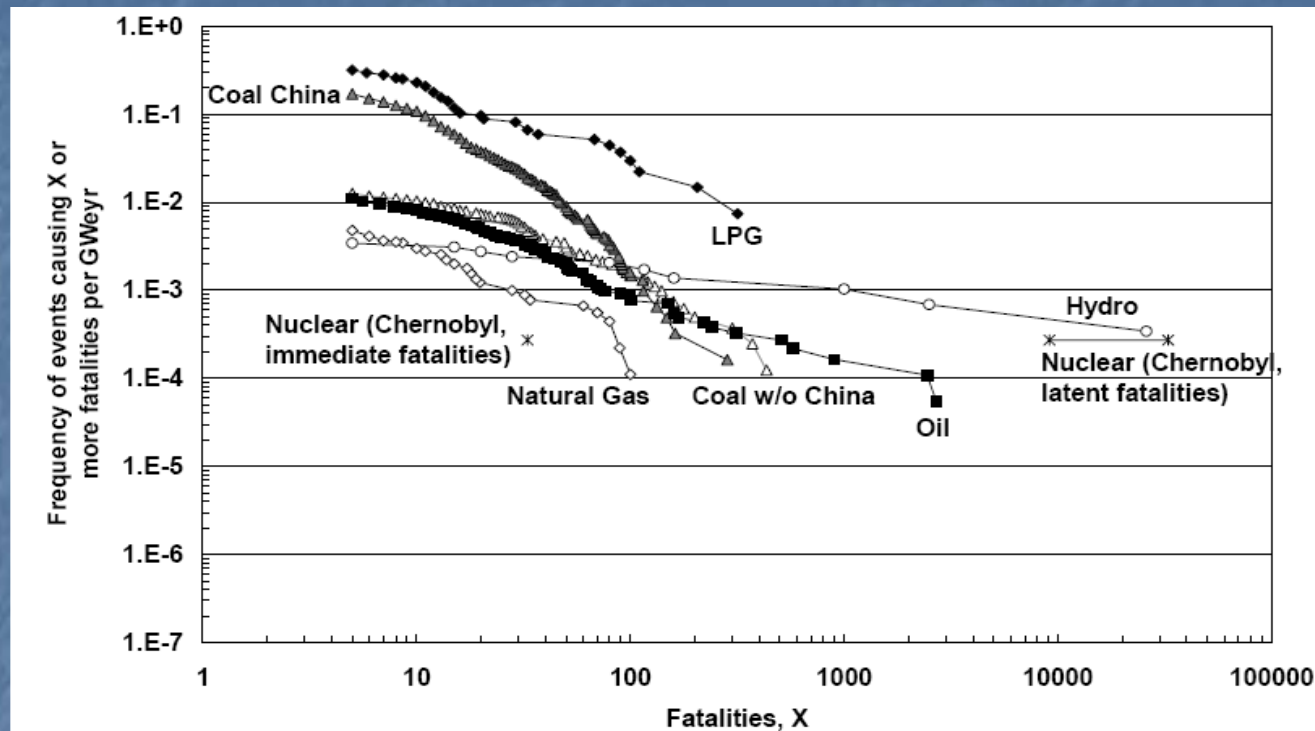
Data based on historical experience of severe accidents in OECD and non-OECD countries for the period 1969-2000

Comparison of frequency-consequence curves for full energy chains in OECD countries (1969-2000)



- The curves for coal, oil, natural gas, liquefied petroleum gas (LPG) and hydro are based on historical accidents and show immediate fatalities
- For the nuclear chain, the results originate from the plant-specific Probabilistic Safety Assessment (PSA) for the Swiss nuclear power plant Muehleberg and reflect latent fatalities

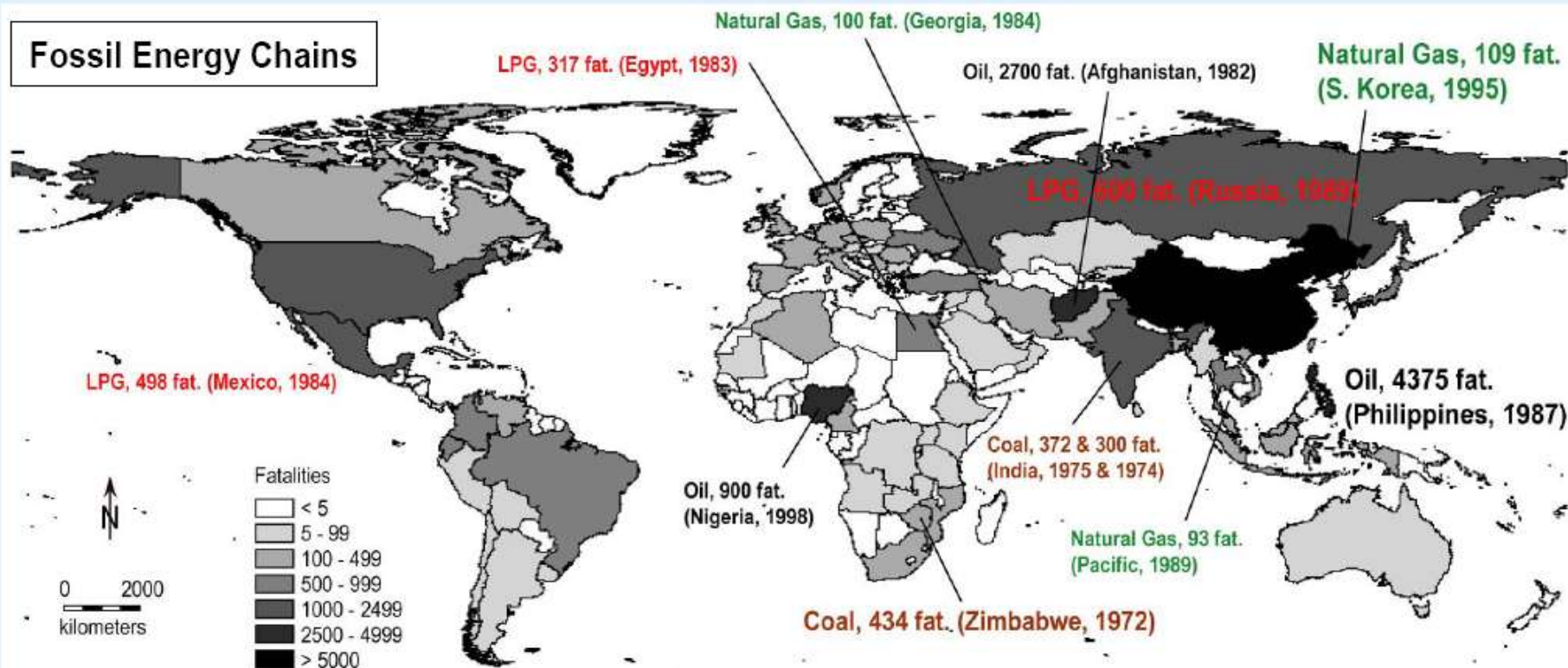
Comparison of frequency-consequence curves for full energy chains (1969-2000)



- The curves for coal w/o China, coal China, oil, natural gas, LPG and hydro are based on historical accidents and show immediate fatalities
- For the nuclear chain, the immediate fatalities are represented by one point (Chernobyl)
- For the estimated Chernobyl-specific latent fatalities lower and upper bounds are given

Geographical distribution of severe accidents

Fossil Energy Chains



Burgherr & Hirschberg, 2005

- **China:** more than 19000 fatalities, of which almost 95% in about 1050 coal mine accidents.
- **Philippines, Afghanistan, Nigeria, Egypt, India, Mexico, Russia, South Korea:** single very large accidents with large numbers of fatalities.
- **USA:** only very few accidents with more than 50 fatalities; oil and gas chains most accident-prone.

Quantificazione dei danni economici ed ambientali per fonte (1969-2000)

Fonte energetica	c€/MWh (OECD)	c€/MWh (non-OECD)
Carbone	2.1	9.8
Petrolio	2.6	22.6
Gas naturale	0.9	1.6
Idroelettrico	0.061	29
Nucleare	0	0.86

Fonte: ENSAD

Vittime per fonte (1969-2000)

Fonte energetica	Numero di vittime per GWanno
Carbone	0.690(0.876)
Petrolio	0.436
Gas naturale	0.093
Idroelettrico	0.561(4.265)
Nucleare	0.006(0.407?)

Fonte: ENSAD+OMS

Incidenti per fonte (1969-2000)

Fonte Energetica	OECD		Non-OECD	
	Numero di Incidenti	Numero di Vittime	Numero di Incidenti	Numero di Vittime
Carbone	75	2259	1044	18017
Petrolio	165	3789	232	16424
Gas naturale	80	978	45	1000
GPL	59	1905	46	2016
Idroelettrico	1	14	10	29924
Nucleare	0	0	1	65(4000?)

Fonte: ENSAD+OMS

Vittime (accertate) per TWh per fonte

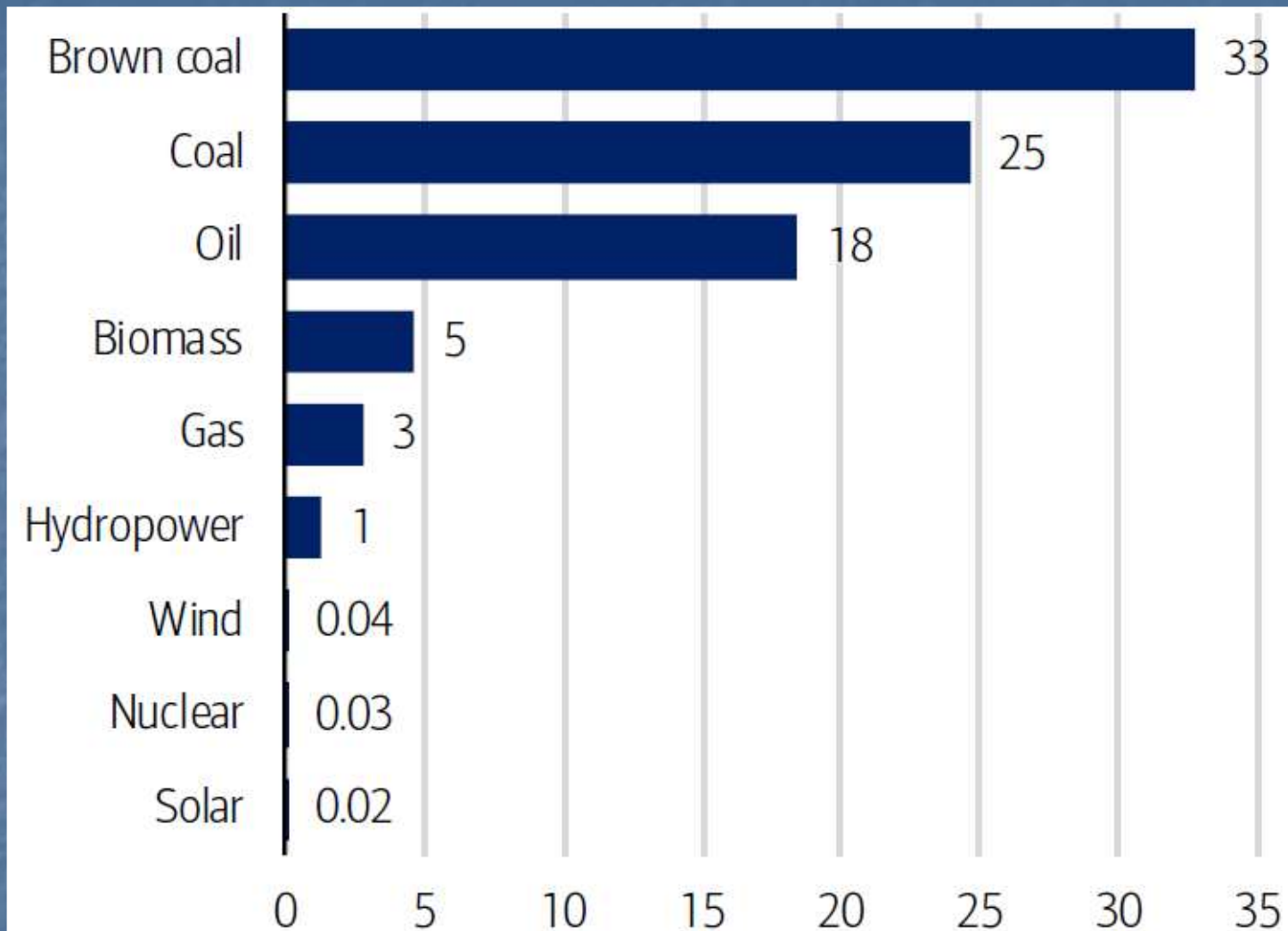
Energy Source	Death Rate (deaths per TWh)
Coal - world average electricity)	161 (26% of world energy, 50% of
Coal - China	278
Coal - USA	15
Oil	36 (36% of world energy)
Natural Gas	4 (21% of world energy)
Biofuel/Biomass	12
Peat	12
Solar (rooftop) energy)	0.44 (less than 0.1% of world
Wind energy)	0.15 (less than 1% of world
Hydro of world energy)	0.10 (europe death rate, 2.2%
Hydro - world including Banqiao) 171,000 Banqiao dead)	1.4 (about 2500 TWh/yr and
Nuclear	0.04 (5.9% of world energy)

Rielaborazione da Fonte OMS

Diga di Banqiao

- Solo la caduta della diga di Banqiao (Cina) provocò il rilascio di $13000 \text{ m}^3/\text{s}$ di acqua e 701 milioni di tonnellate di acqua in 6 ore. Considerando tutto il sistema di dighe, in totale vennero rilasciati $78800 \text{ m}^3/\text{s}$ e 15.738 miliardi di tonnellate di acqua in tutto
- La risultante onda larga 10 km e alta $3\div 7$ metri in alcuni punti, molto simile ad un'onda di tsunami, si riversò sulle pianure a valle ad una velocità di circa 50 km/h e spazzò quasi completamente un'area lunga 55 km e larga 15, e creò laghi temporanei grandi fino a 12000 km^2
- Il bilancio secondo il dipartimento idrologico della provincia di Henan, declassificato da segreto di stato solo 30 anni dopo nel 2005, è di 26000 morti a causa dell'inondazione e di altri 145000 morti nei giorni seguenti dovuti a epidemie e carestie (totale 171000 morti). A questo bisogna inoltre aggiungere il crollo di circa 5960000 di edifici e 11 milioni di sfollati

Morti/TWh (incidenti + inquinamento)



Source: BofA Research Investment Committee, Our World in Data, Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016); UNSCEAR (2008; & 2018)

Conclusioni

- L'energia rappresenta allo stesso tempo il problema e la soluzione: essa infatti può essere fonte di potenziali problematiche complesse ma è soprattutto un elemento imprescindibile per uno sviluppo della nostra società veramente sostenibile sia dal punto di vista ambientale che sociale. Lo scienziato non è l'uomo che fornisce le vere risposte:
- L'energia del futuro, quella a cui bisogna giungere per garantire la sopravvivenza della civiltà umana nell'attuale prospettiva tecnologica, deve essere non nociva, inesauribile o completamente rinnovabile, ma soprattutto disponibile sempre e ovunque nel mondo, immune ai monopoli nazionali ed alle dispute politiche.

(Claude Lévi Strauss)