

IMPATTI E MITIGAZIONE DELLE EMISSIONI DI CO₂

Università dell'Aquila
Facoltà di Ingegneria
25 Maggio 2020

↳ Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica

AIDIC



Ingegnere
Ezio Nicola D'Addario
Presidente
Gruppo di Lavoro AIDIC
Carbon Capture Storage and Utilization



ANTE CORONA VIRUS

- ❖ Consumi energetici ed emissioni di CO₂
- ❖ Global Warming Potential, altre categorie di impatto ambientale ed effetti sul clima
- ❖ Emissioni da sorgenti puntiformi e Carbon Capture and Storage
- ❖ Life Cycle Analysis di impianti di potenza con e senza cattura di CO₂
- ❖ Opzioni di riuso del CO₂

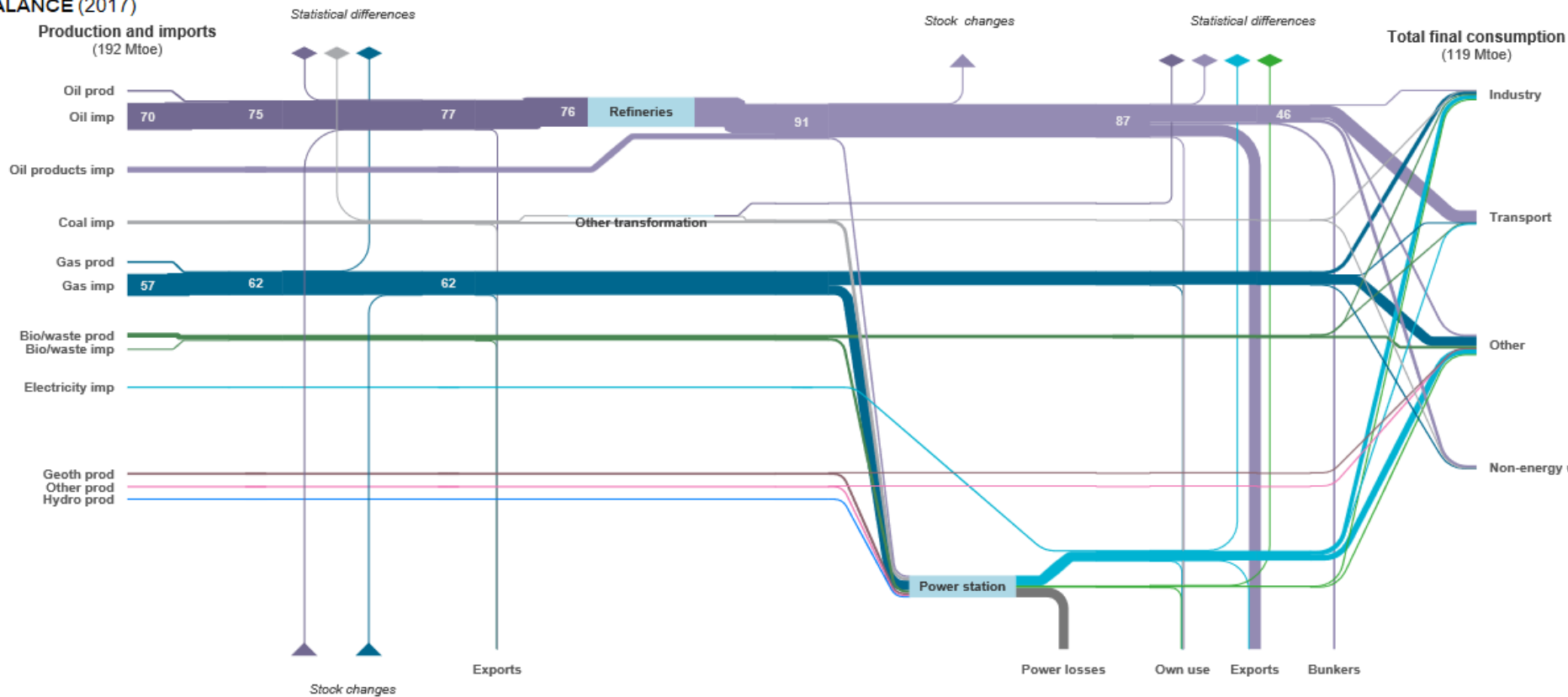
CENNI POST CORONA VIRUS

Bilancio energetico Italia 2017 Milioni toe

Italy

BALANCE (2017)

Millions of tonnes of oil equivalent

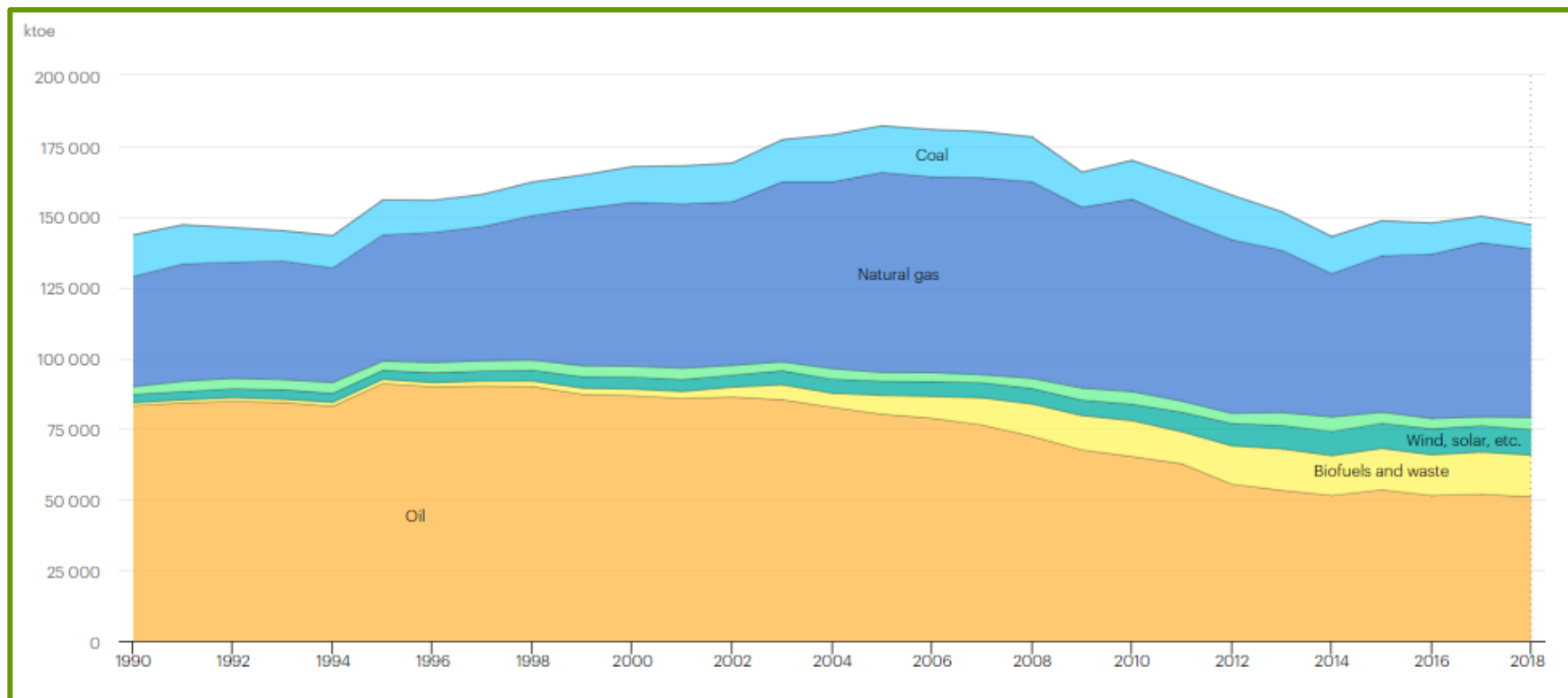


Total Primary Energy Supply:

energia prodotta + energia importata + prelievi da stoccaggi – energia esportata – Immissione a stoccaggi

<https://www.iea.org/sankey/#?c=Italy&s=Balance>

Primary Energy Supply Italia Milioni toe



[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

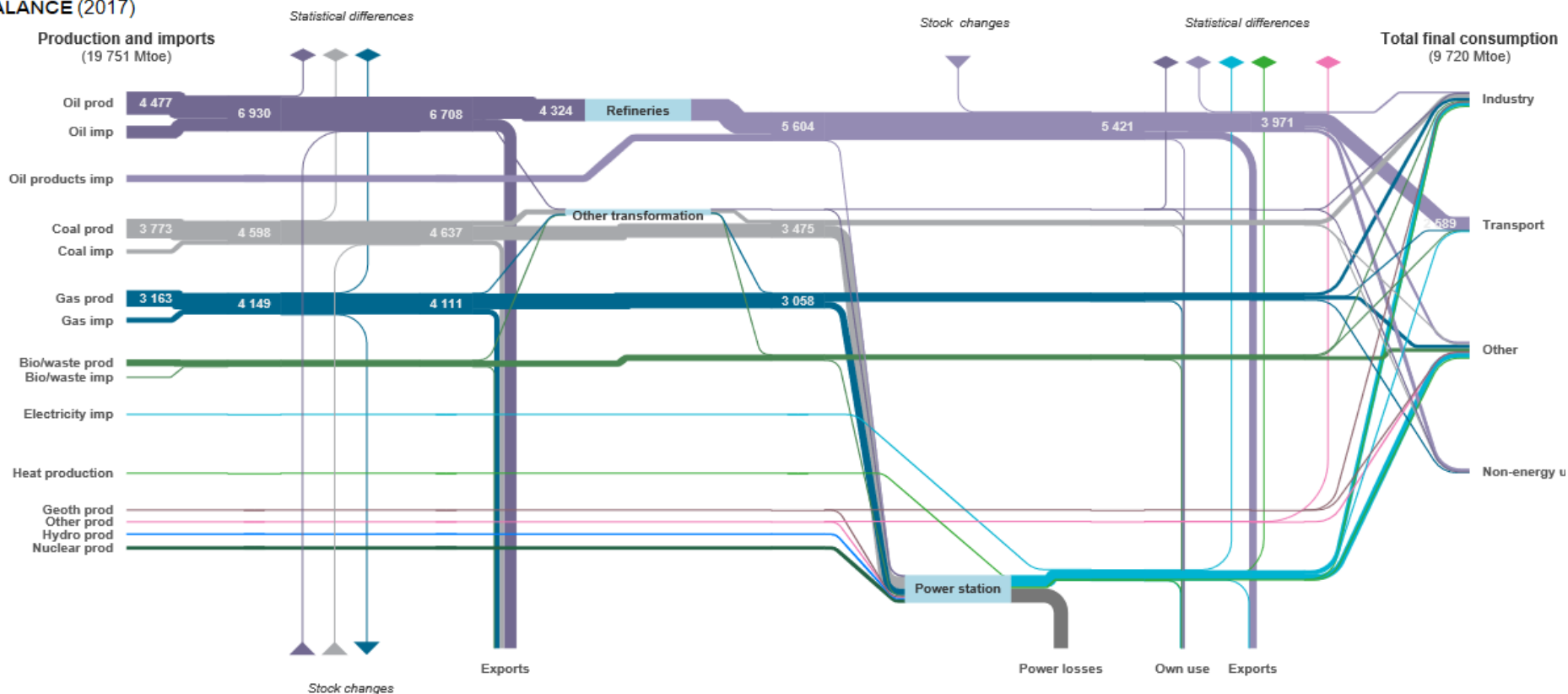
Bilancio energetico globale 2017 Milioni toe



World

BALANCE (2017)

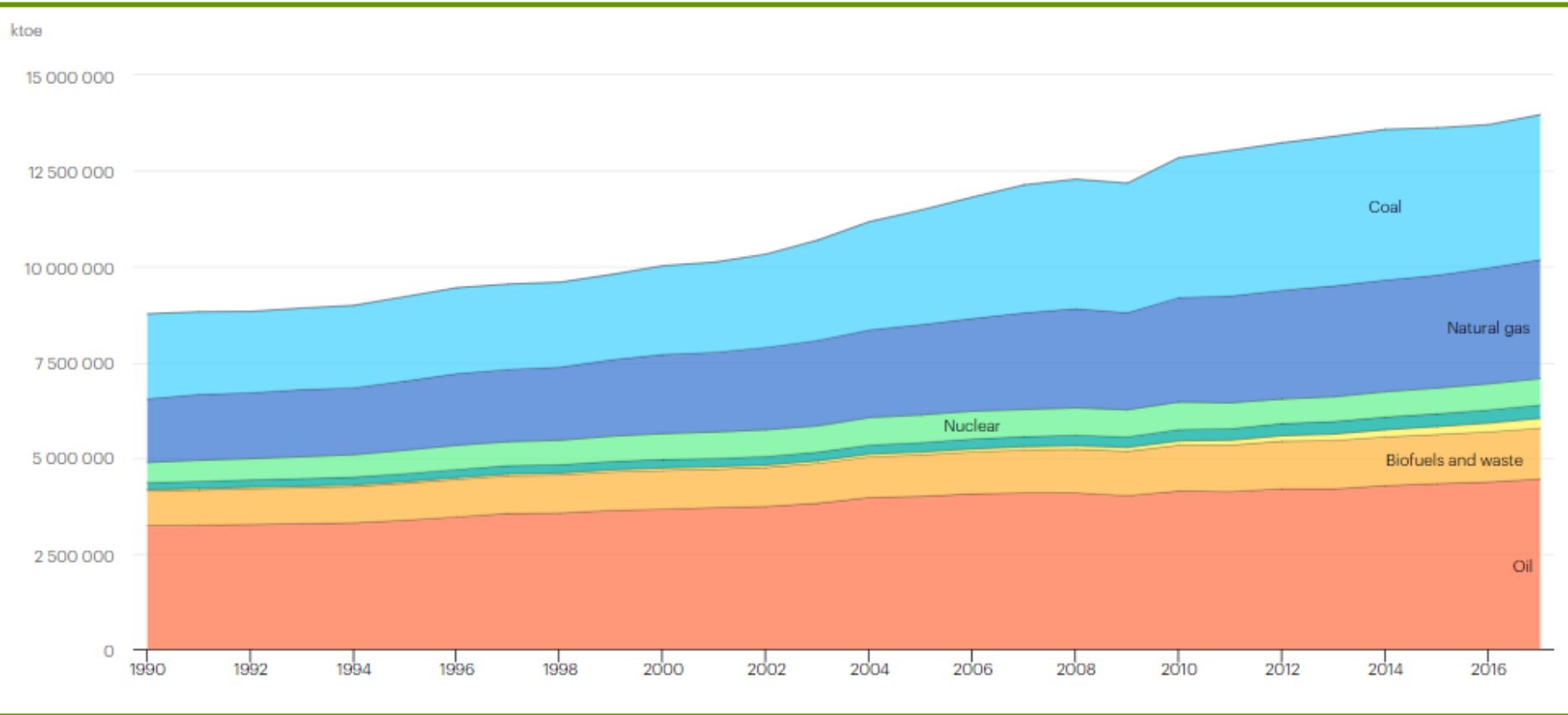
Millions of tonnes of oil equivalent



<https://www.iea.org/sankey/#?c=IEA%20Total&s=Balance>



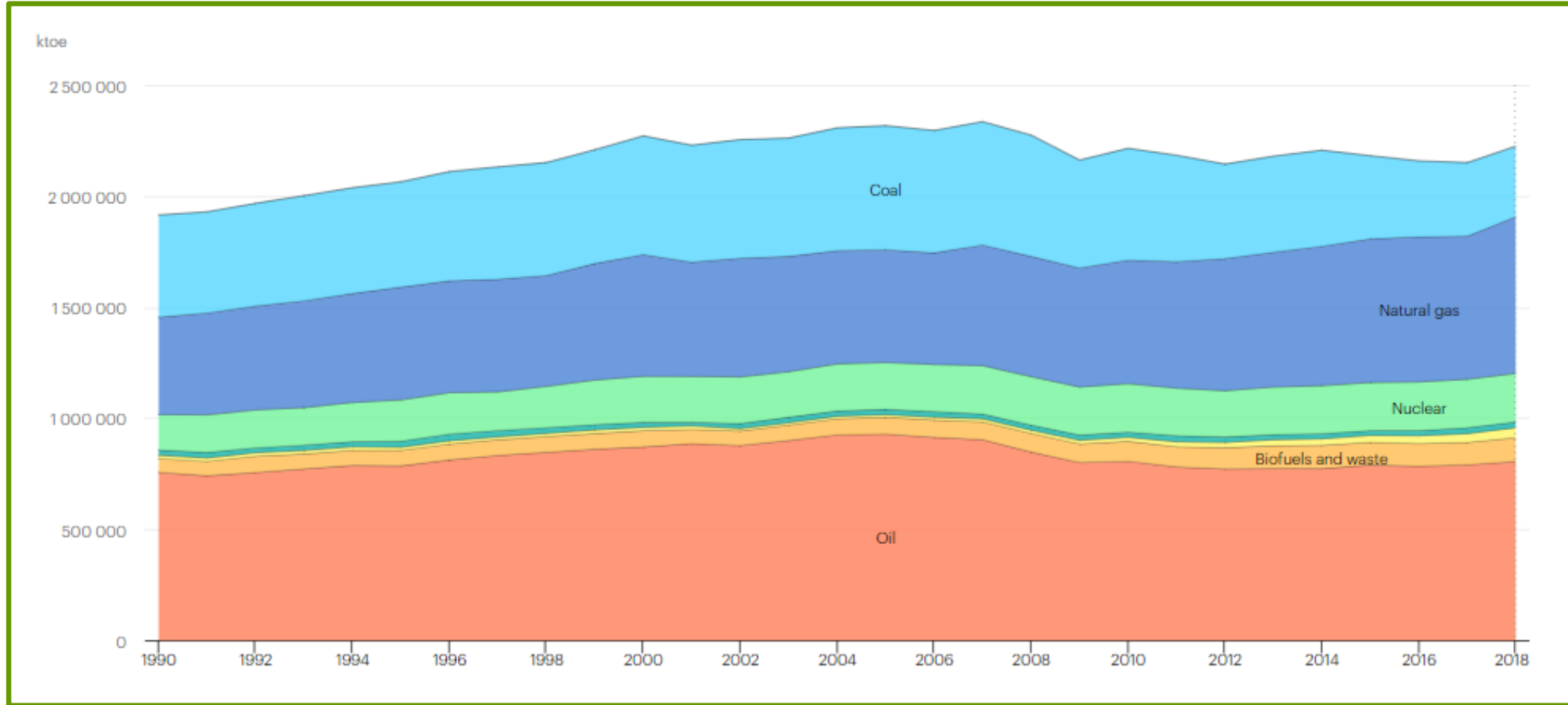
GLOBAL PRIMARY ENERGY SUPPLY



[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)



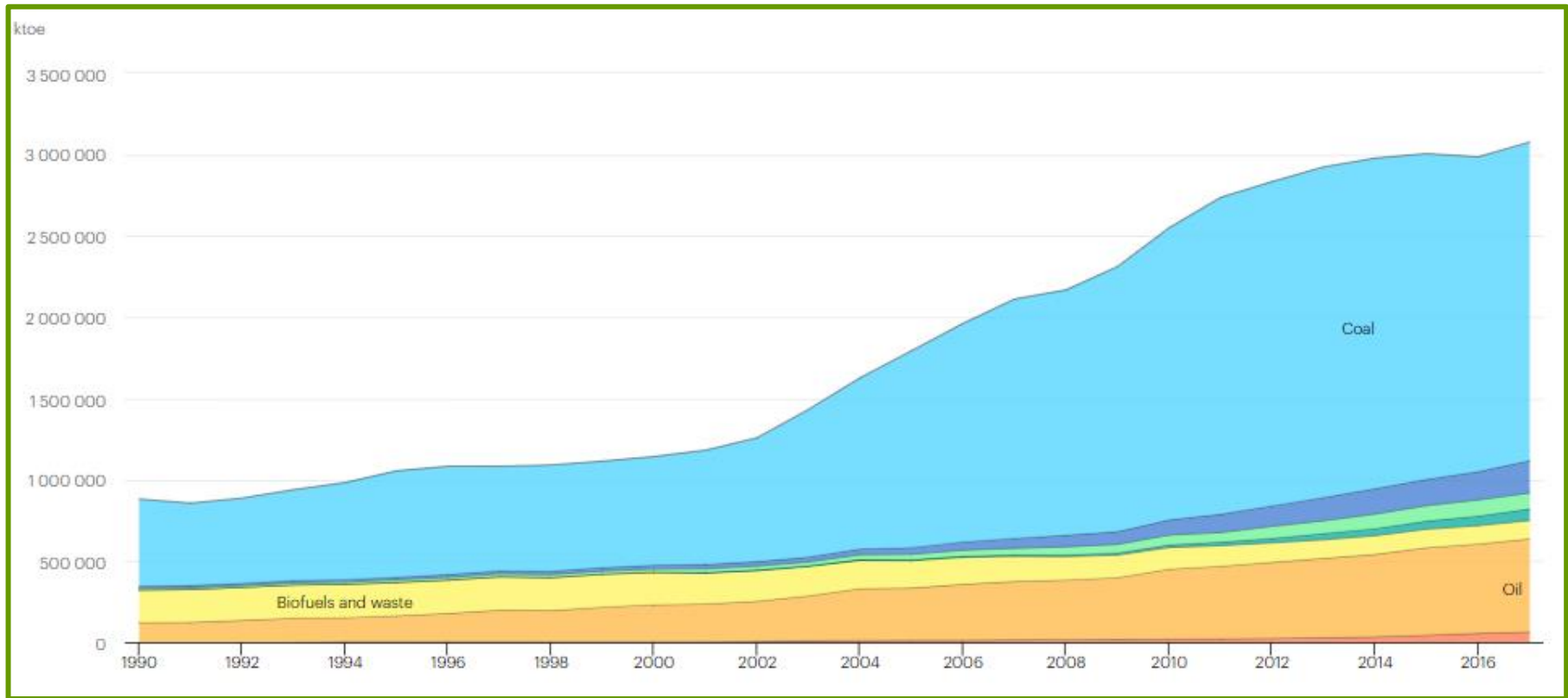
Primary Energy Supply USA Milioni toe



[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

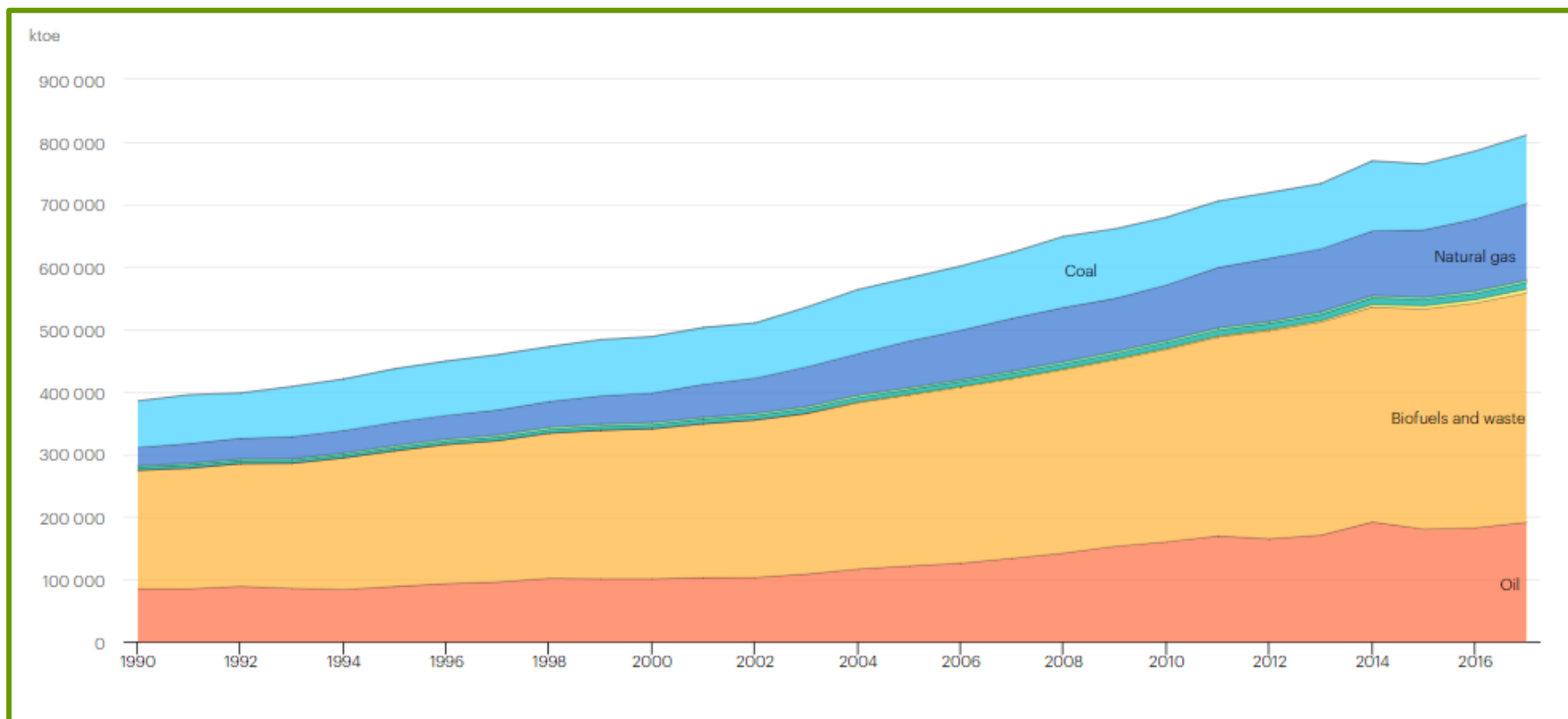


Primary Energy Supply Cina Milioni toe



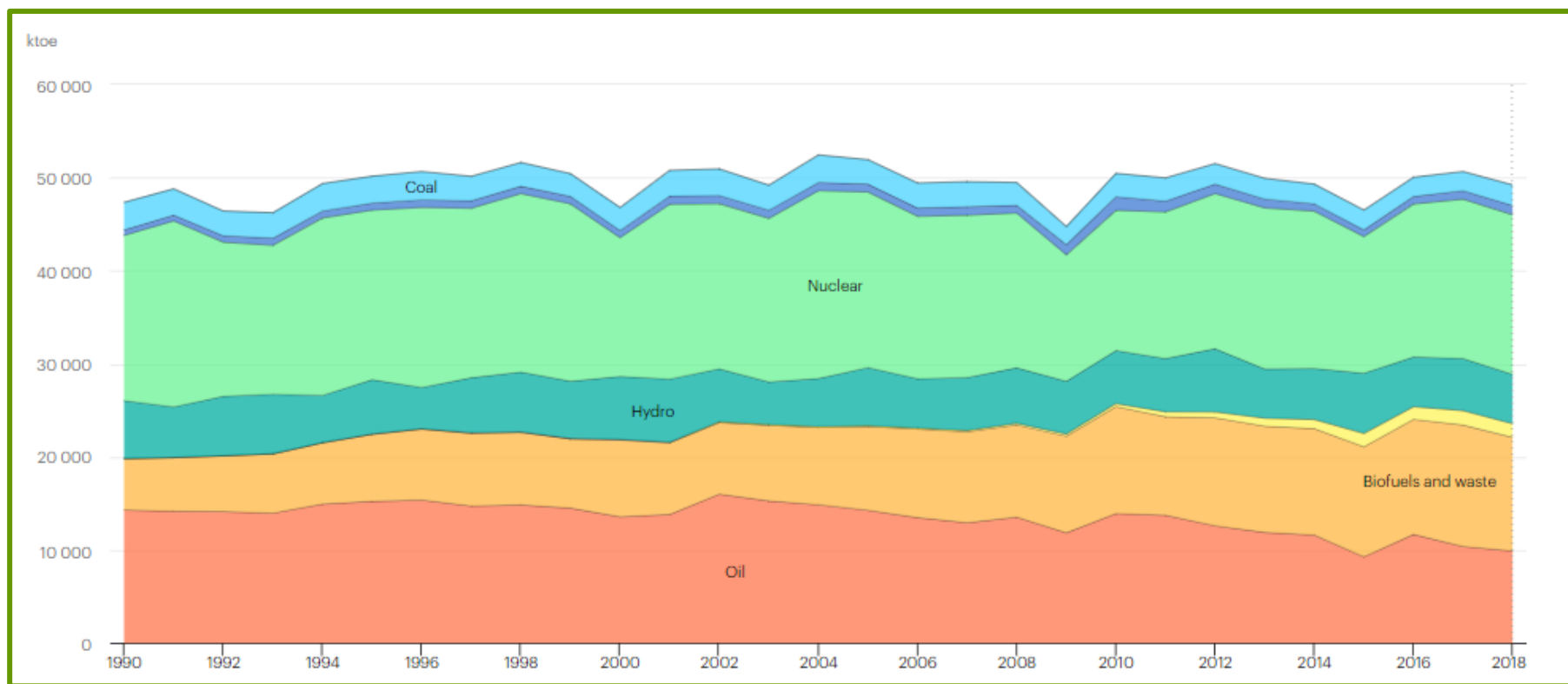
[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

Primary Energy Supply Africa Milioni toe



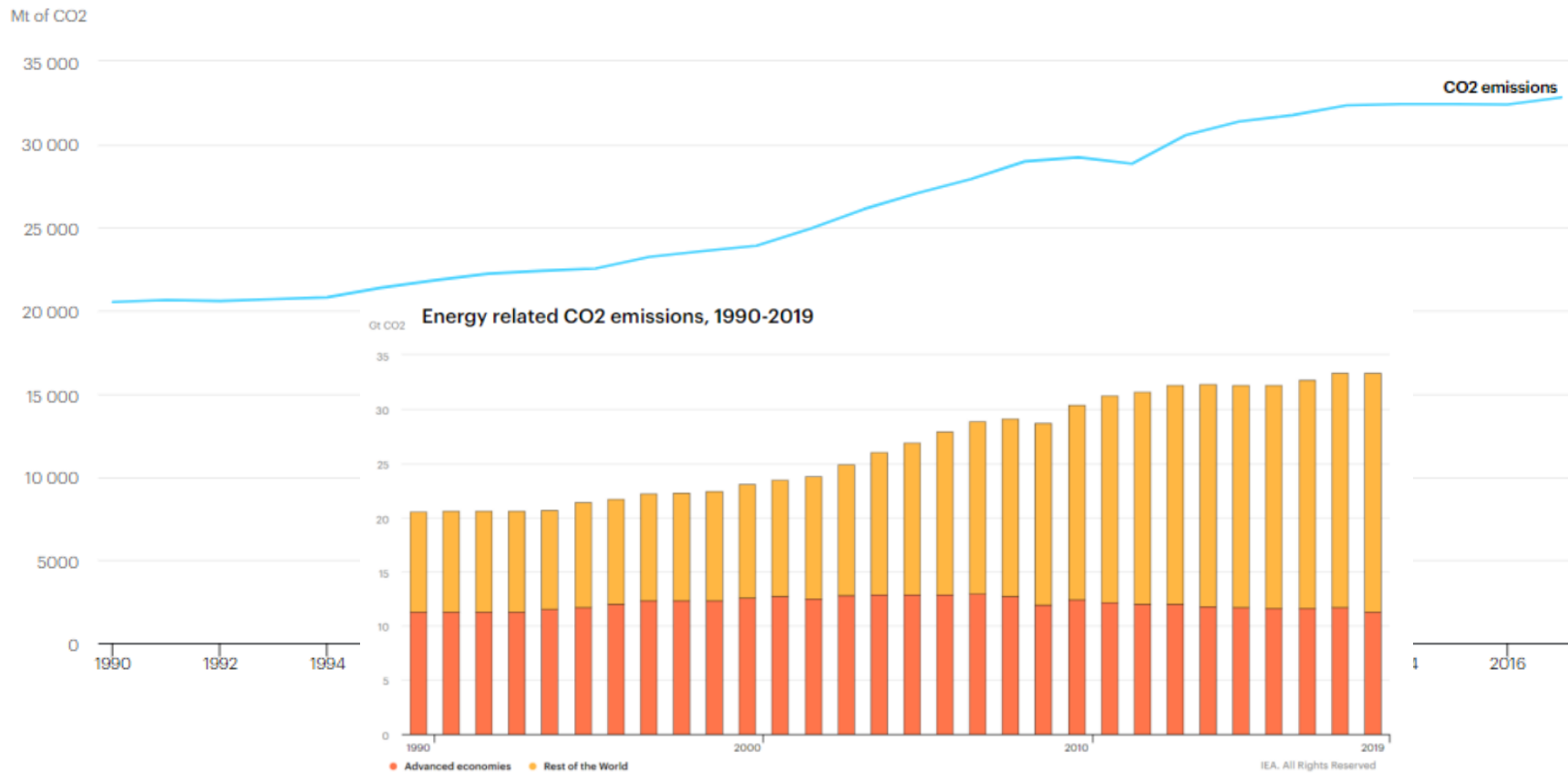
[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

Primary Energy Supply Svezia Milioni toe



[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source)

EMISSIONI GLOBALI DI CO₂ NEGLI ULTIMI ANNI

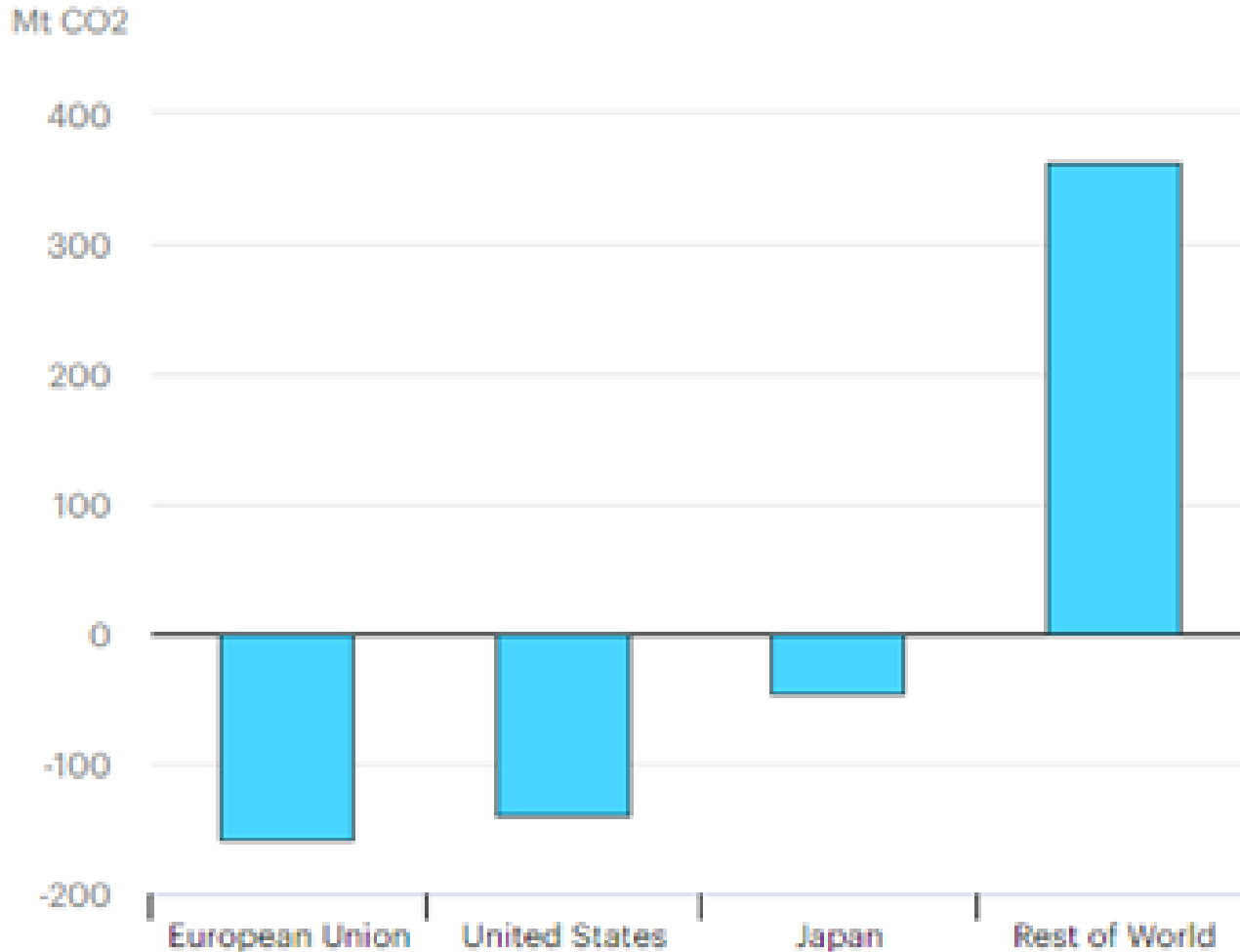


Dopo tre anni di stabilità le emissioni di CO₂ sono cresciute di nuovo
Nel 2017 sono stati raggiunti 32,8 Giga toe. Nel 2018 sono previsti aumenti

<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>



Cambiamenti delle emissioni di CO₂, 2018-19

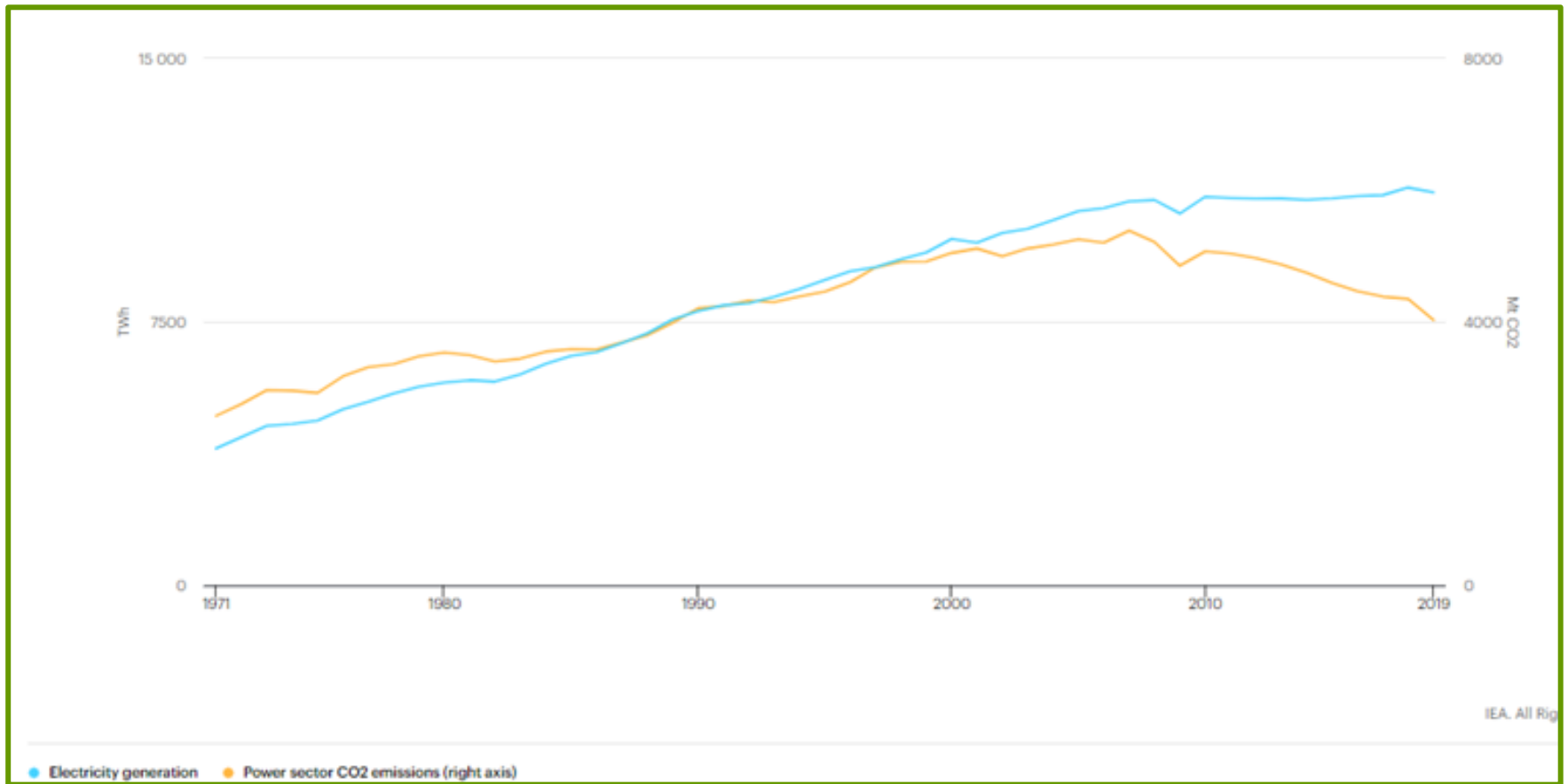


Nei paesi sviluppati le emissioni si sono ridotte di 370 Mt(3,2%) a causa delle minori emissioni nel settore elettrico, condizioni climatiche più favorevoli, minore crescita economica.

<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>



Produzione di elettricità ed emissioni di CO₂

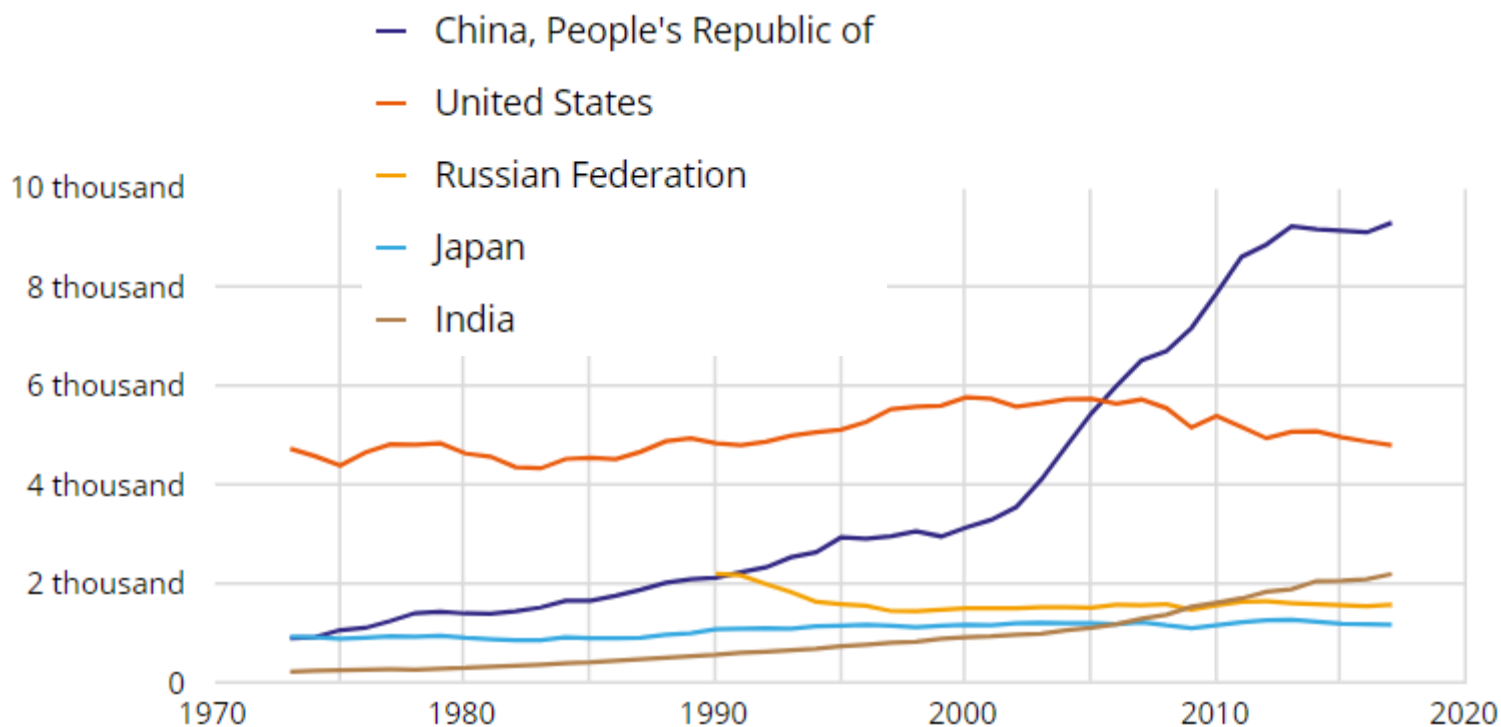


Le emissioni di CO₂ dal settore elettrico hanno ormai raggiunto i livelli del 1980 quando i consumi erano circa 1/3 degli attuali

<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>



EMISSIONI DI CO₂ NEGLI ULTIMI ANNI, Mt



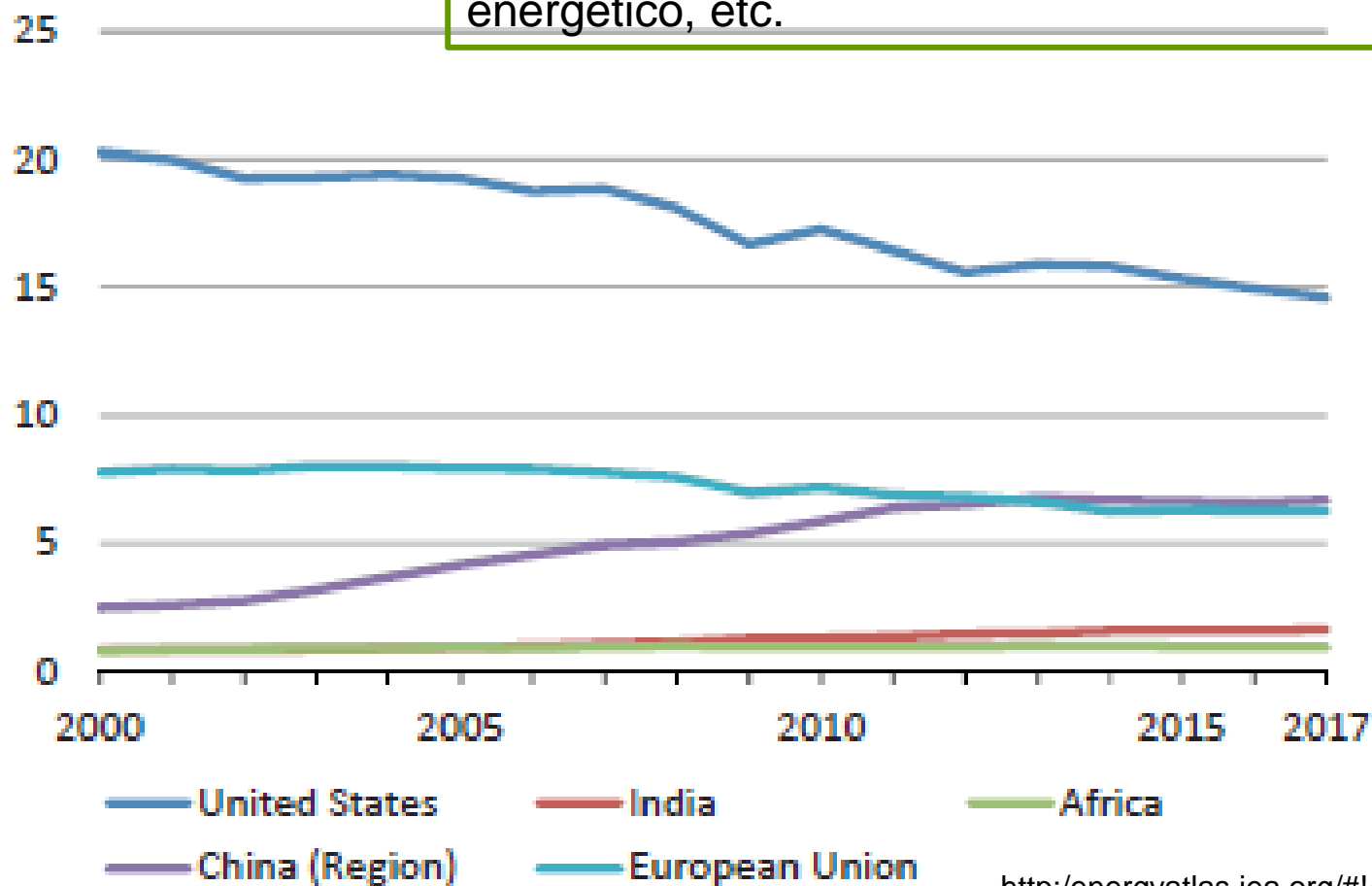
Emissioni 2017, %: Cina 28, USA 14, UE 10, India 7, Fed. Russa 5, Giappone 3, Corea 2, Canada 2, Indonesia 2, Iran 2

<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>

Emissioni di CO₂ e popolazione

tCO₂ per capita

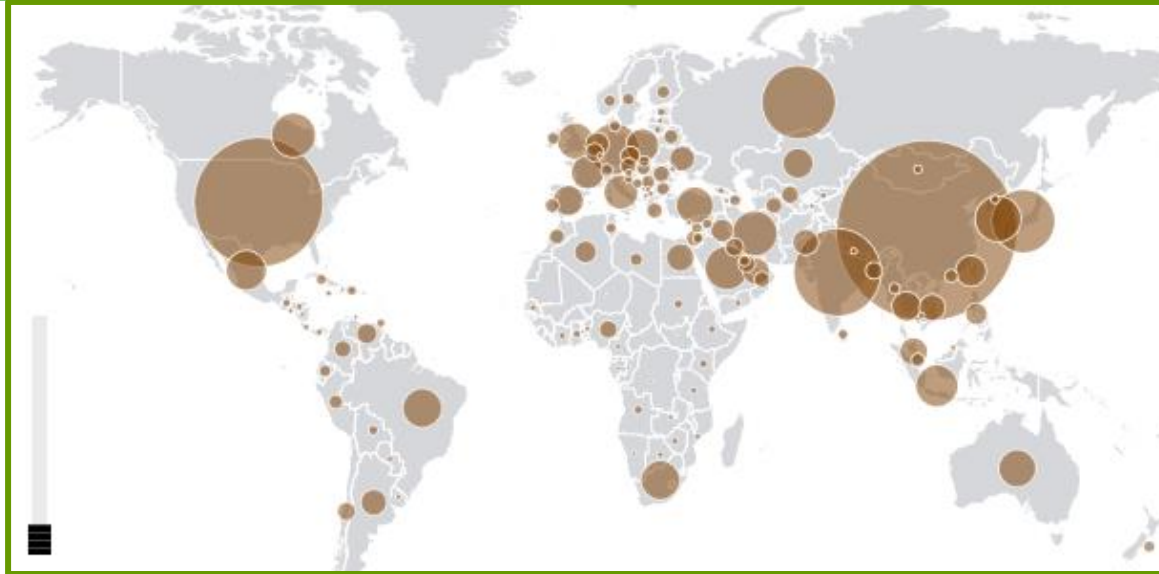
Le emissioni di CO₂ dipendono da numerosi fattori: il numero degli abitanti, il prodotto nazionale lordo, il mix energetico, etc.



<http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>



EMISSIONI DI CO₂ NEL 2017, migliaia t



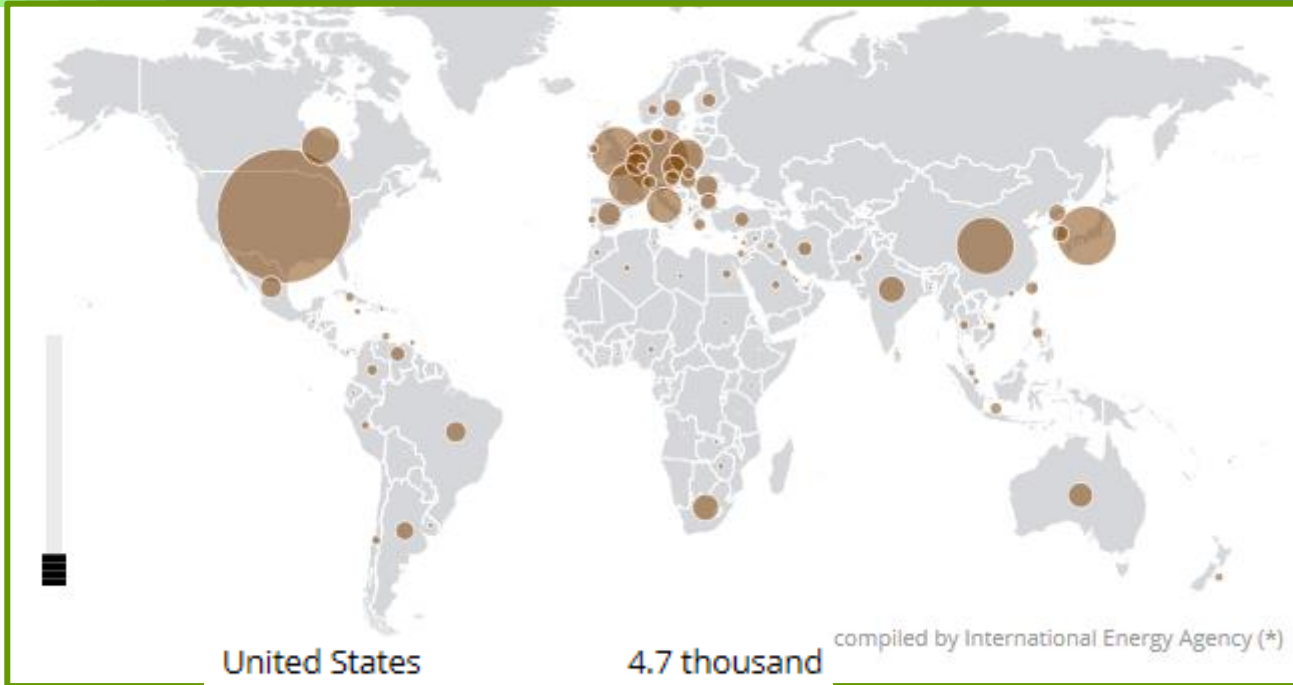
China, People's Republic of	9.3 thousand
United States	4.8 thousand
India	2.2 thousand
Russian Federation	1.5 thousand
Japan	1.1 thousand
Germany	718.8
Korea	600.0
Iran, Islamic Republic of	567.1

Brazil	427.6
South Africa	421.7
Australia	384.6
Turkey	378.6
United Kingdom	358.7
Italy	321.5
France	306.1

energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487



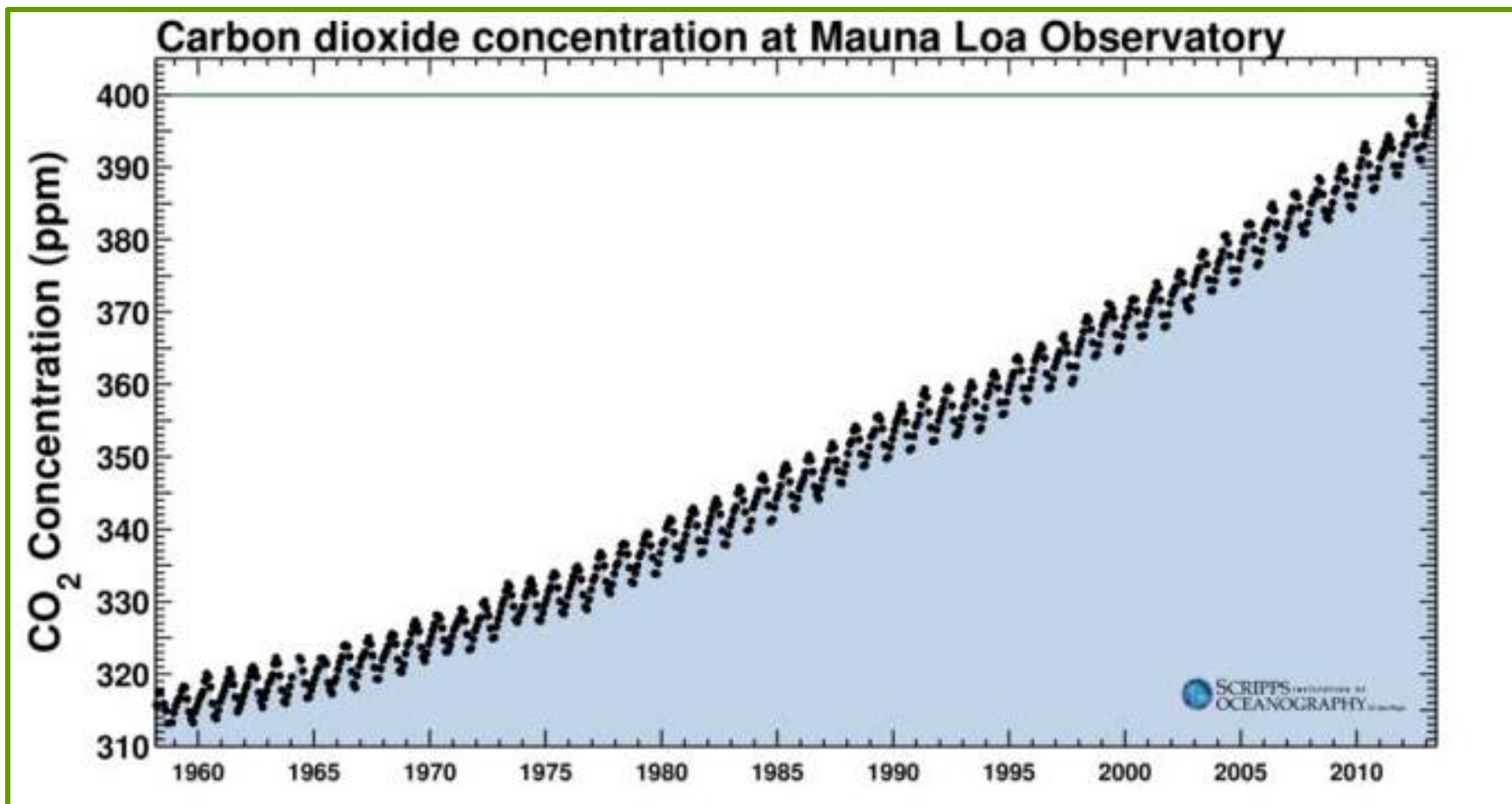
EMISSIONI DI CO₂ NEL 1973



United States	4.7 thousand
Germany	1.1 thousand
Japan	897.9
China, People's Republic of	864.2
United Kingdom	634.2
France	474.4
Canada	375.7
Italy	328.1

energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487

CONCENTRAZIONE GLOBALE CO₂

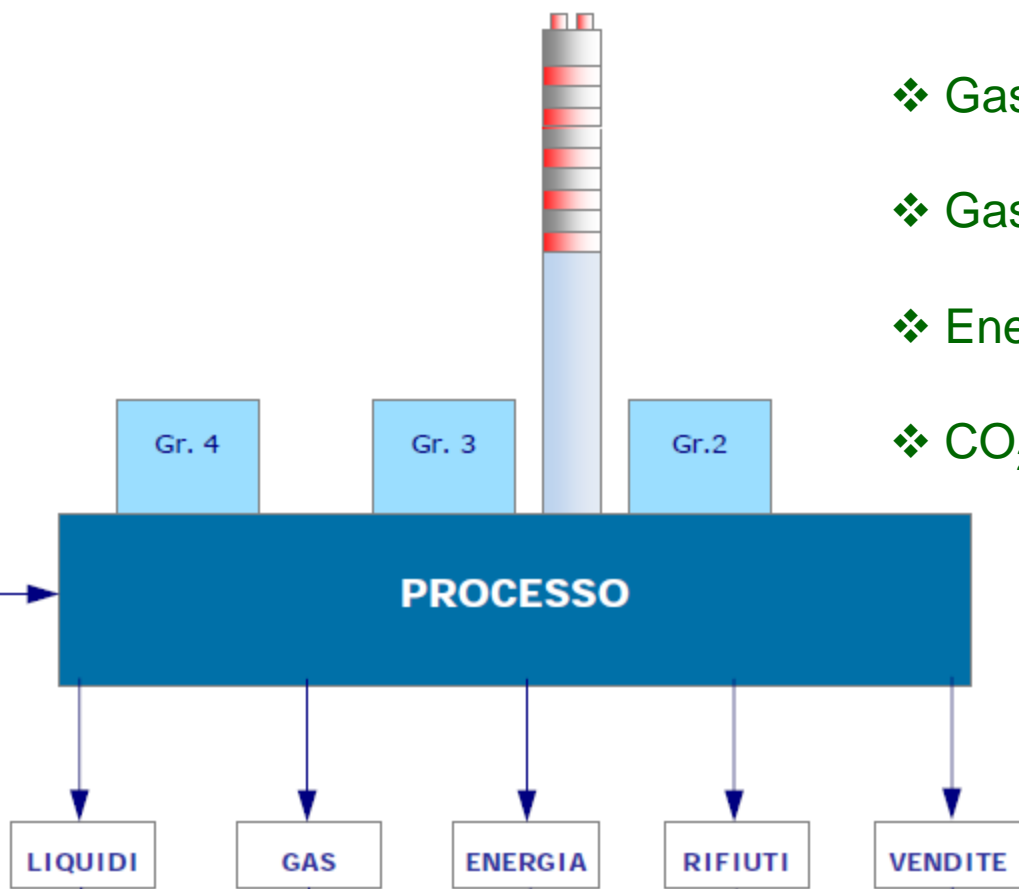




VALUTAZIONE EFFETTI SULL'AMBIENTE



CO2 DA UNA TIPICA CENTRALE A CARBONE, 2000 MW



- ❖ Carbone 4.075.569 t
- ❖ Gas naturale 171.485 kSm³
- ❖ Gasolio 40 t
- ❖ Energia prodotta 11.603.020 MWh
- ❖ CO₂ 9.745.749 t



Impianto termoelettrico Torrevaldaliga Nord, Civitavecchia (RM)
Dichiarazione ambientale Aggiornamento 2011



EMISSIONI GASSOSE DA UNA TIPICA CENTRALE A CARBONE

Tabella 5 - Inquinanti emessi dai camini principali che sono monitorati in continuo

Inquinante	Limiti AIA - PMC	
	Concentrazioni	Massa
Polveri totali	15 mg/Nm ³	35 t/mese 260 t/anno
SO _x (come SO ₂)	100 mg/Nm ³	2100 t/anno
NO _x (come NO ₂)	100 mg/Nm ³	3450 t/anno
Ammoniaca NH ₃	5 mg/Nm ³	/
Monossido di carbonio (CO)	130 mg/Nm ³	/

Impianto termoelettrico Torrevaldaliga Nord, Civitavecchia (RM)
Dichiarazione ambientale Aggiornamento 2011



MICROINQUINANTI DA UNA TIPICA CENTRALE A CARBONE

Tabella 6 - Microinquinanti monitorati in discontinuo

Parametro	Valori limiti secondo AIA – PMC
<i>Metalli:</i>	
Mercurio (Hg)	Hg 0.05 mg/Nm ³
Cadmio (Cd) Tallio (Tl)	Cd+Tl 0.05 mg/Nm ³
Arsenico (As) Antimonio (Sb) Piombo (Pb) Cromo (Cr) Cobalto (Co) Rame (Cu) Manganese (Mn) Nichel (Ni) Vanadio (V) Stagno (Sn)	(As+Sb+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn) 0.5 mg/Nm ³
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	0.01 mg/Nm ³
Policlorodibenzo-p-diossine (PCDD)	0.1 ng/Nm ³
Policlorobenzofurani (PCDF)	
Cloro e suoi composti (espresso come HCl)	10 mg/Nm ³
Fuoro e suoi composti (espresso come HF)	5 mg/Nm ³

Impianto termoelettrico Torrevaldaliga Nord, Civitavecchia (RM)
Dichiarazione ambientale Aggiornamento 2011

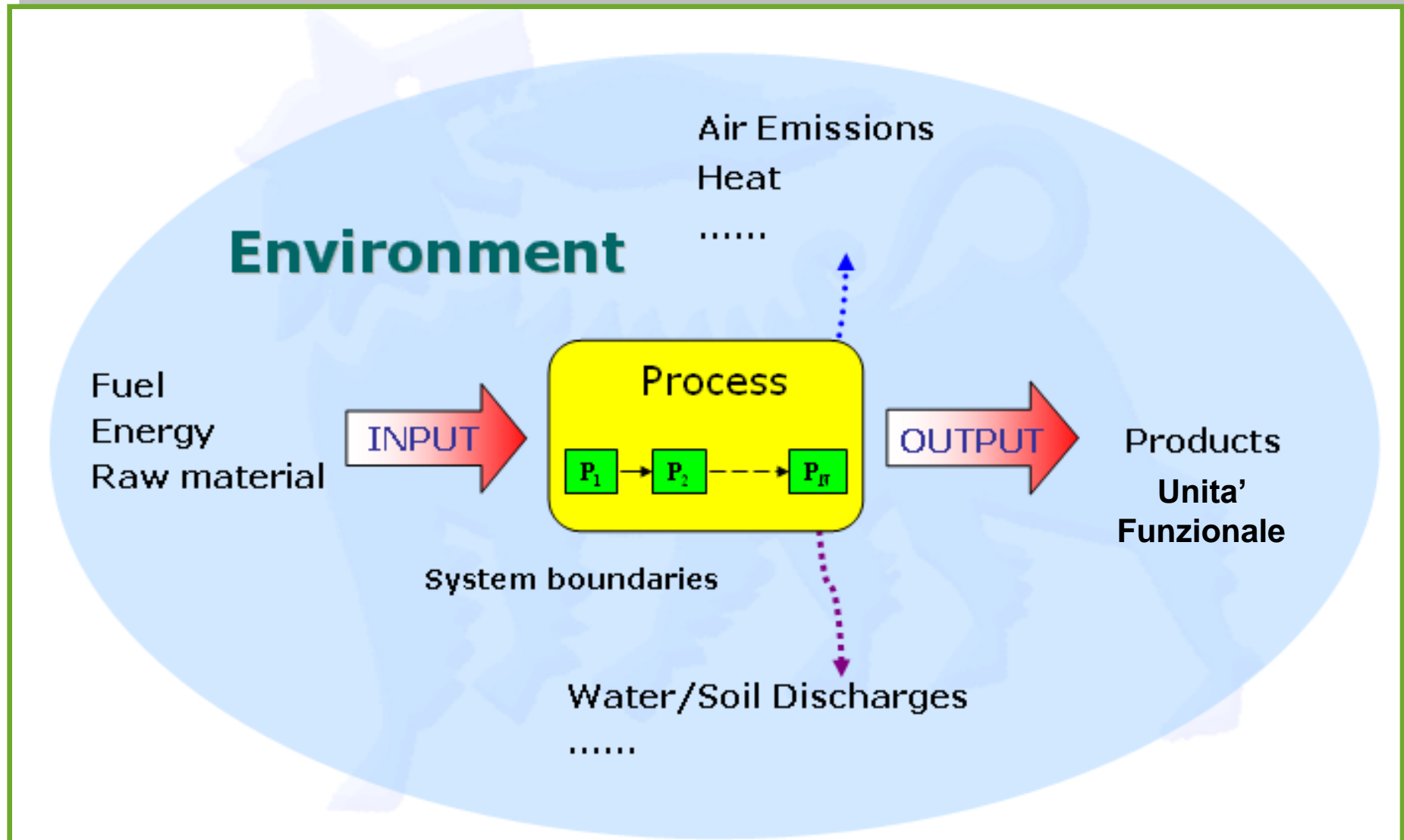


La valutazione del ciclo di vita considera l'intero ciclo di un prodotto, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione dell'energia e dei materiali impiegati nel ciclo produttivo, allo smaltimento dei rifiuti, all'uso del prodotto stesso, fino ai trattamenti necessari per le operazioni di smaltimento di fine vita

[ISO 14040/44/2010]



LCA - DEFINIZIONE DEL SISTEMA

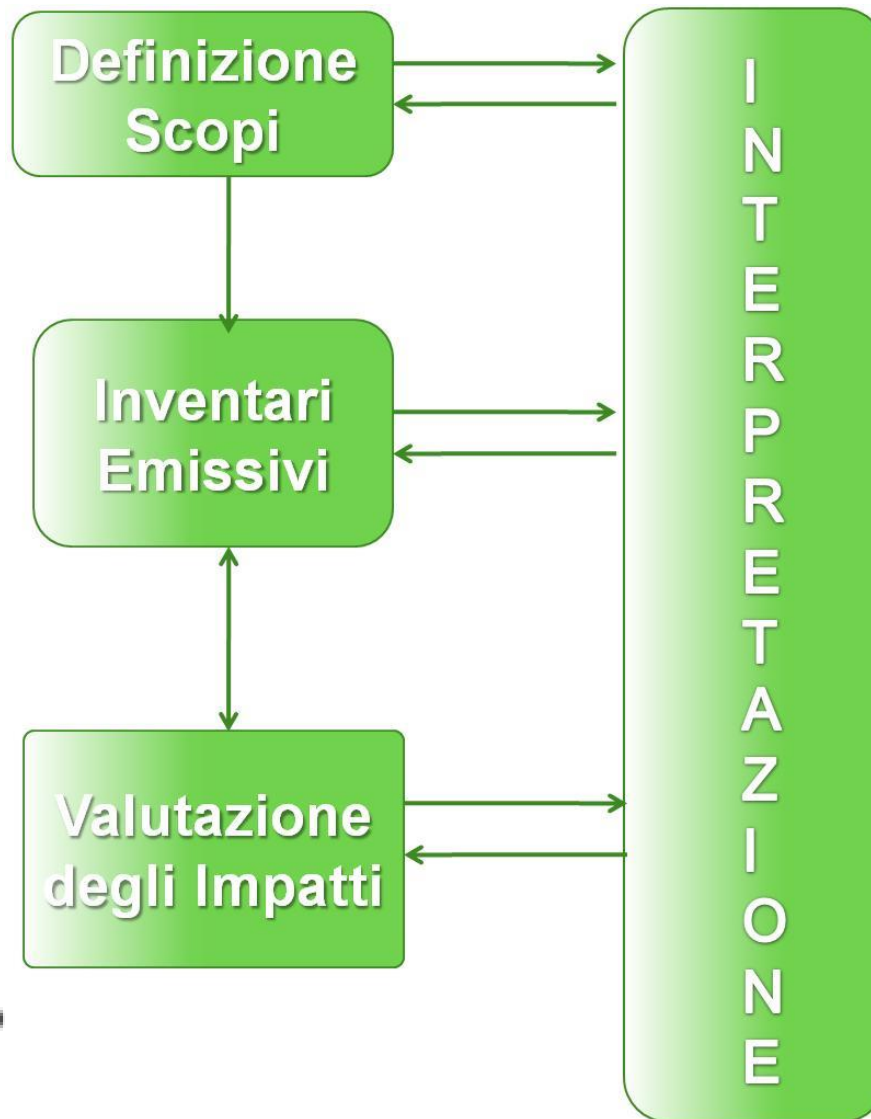




LCA - ISO 14040 – 14044 2006/2010



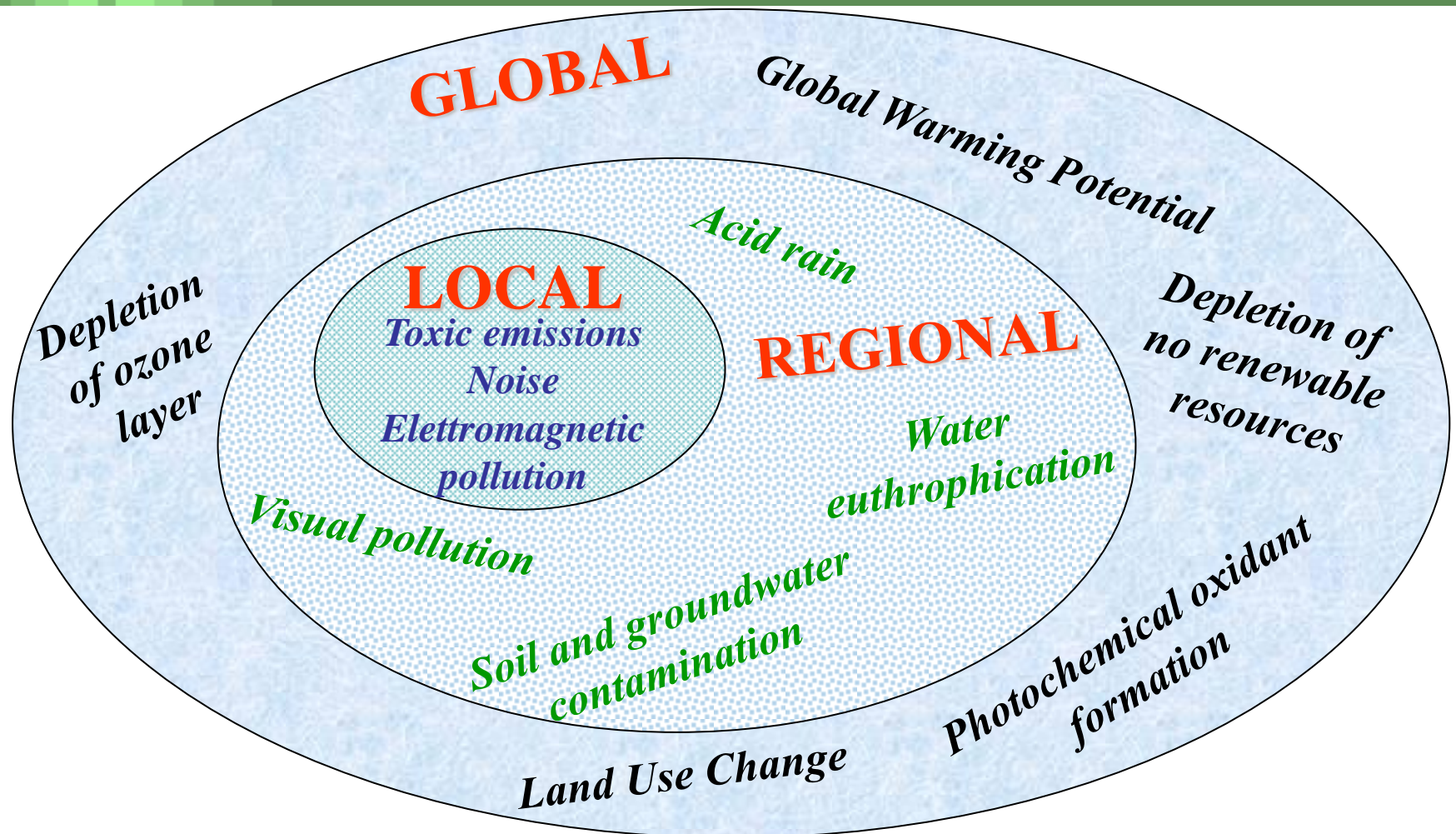
Swiss Centre for Life Cycle Inventories



thinkstep
GaBi



PRINCIPALI CATEGORIE DI IMPATTO AMBIENTALE



Land Use Change: Diretto (sostituzione foreste con palme), Indiretto: spostamento delle coltivazioni alimentari da terreni agricoli a terreni non agricoli (esigenze di biomasse non alimentari, attenzione su biofuel di 2° e 3° generazione)

PRINCIPALI INDICATORI DI IMPATTO AMBIENTALE

CATEGORIA	INDICATORI	SIGLA
Impoverimento risorse abiotiche	kg Sb (antimonio) eq	ADP
Riscaldamento globale	kg CO ₂ eq	GWP 100
Riduzione strato ozono	kg CFC-11 eq	ODP
Tossicità umana	kg 1,4-DB (diclorobenzene) eq	HTP
Tossicità acque dolci	kg 1,4-DB eq	FAETP
Tossicità acque marine	kg 1,4-DB eq	MAETP
Ecotossicità terrestre	kg 1,4-DB eq	TETP
Ossidazione fotochimica	kgC ₂ H ₄ (etilene) eq	PCOP
Acidificazione dell'aria	kgSO ₂ eq	AP
Eutrofizzazione delle acque	kgPO ₄ ³⁻	EP



Esempio di calcolo

$\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O} \dots$
[grammi, g_i]

Effetto Serra
GHG 100 years
[g $\text{CO}_2 \text{ eq } i$]

Riscaldamento
Globale Potenziale
 $\text{GWP} = \sum \text{GHG } 100_i * g_i$

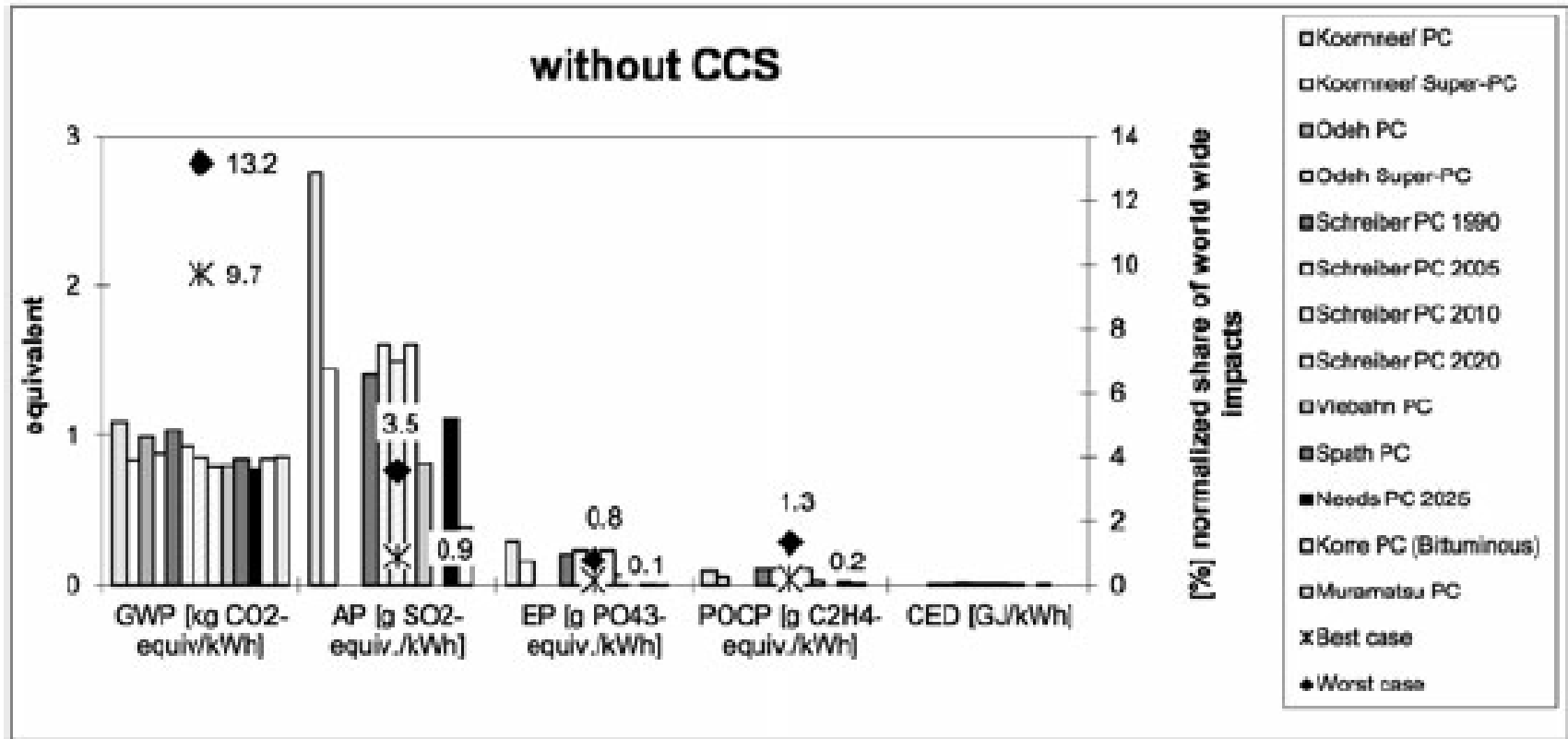
GAS_i	GHG 100 g $\text{CO}_2 \text{ eq } i$
CO_2	1
CH_4	23
N_2O	296
Halon 1301	5600
Tetrafluoruro di Carbonio	6500

I quantitativi di ogni gas emesso all'atmosfera vanno moltiplicati per il corrispondente effetto serra e i risultati sommati

L'effetto serra "naturale" permette alla terra di avere una temperatura alla superficie di circa 15°C , invece di quella che avrebbe senza l'atmosfera, circa -18°C .



LCA - IMPATTI DI CENTRALI A CARBONE



I risultati degli studi dipendono fortemente dalle tipologie di impianti e dalle condizioni operative. Valori tipici sono: Riscaldamento globale 0,8-1 kgCO₂eq/kWh, Acidificazione aria 0,9-3,5 gSO₂/kWh, Eutrofizzazione acque 0,1-0,8 g PO₄³⁻/kWh, Ossidazione fotochimica 0,2-1,3 gC₂H₄/kwh, CED Consumed Embodied Energy

A. Schreiber, P. Zapp, J. Marx. Journal of Industrial Ecology, Volume 16, N. SI, p S 155, 2012

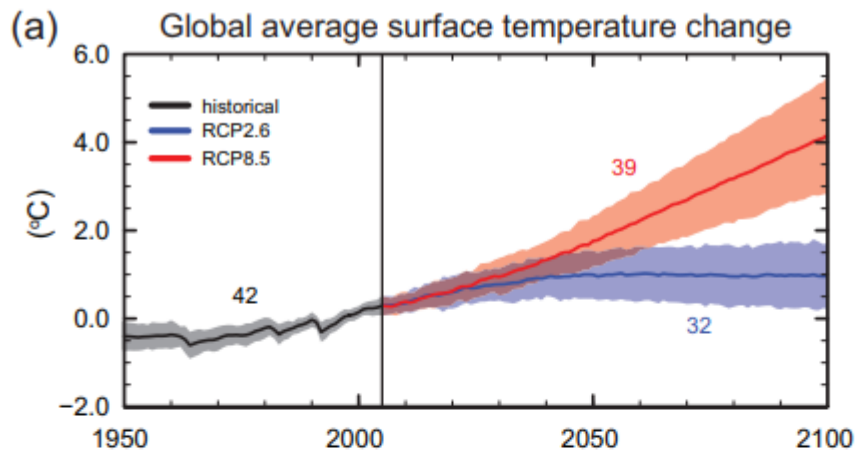


Emissioni gassose e cambiamenti nella forzante radiativo

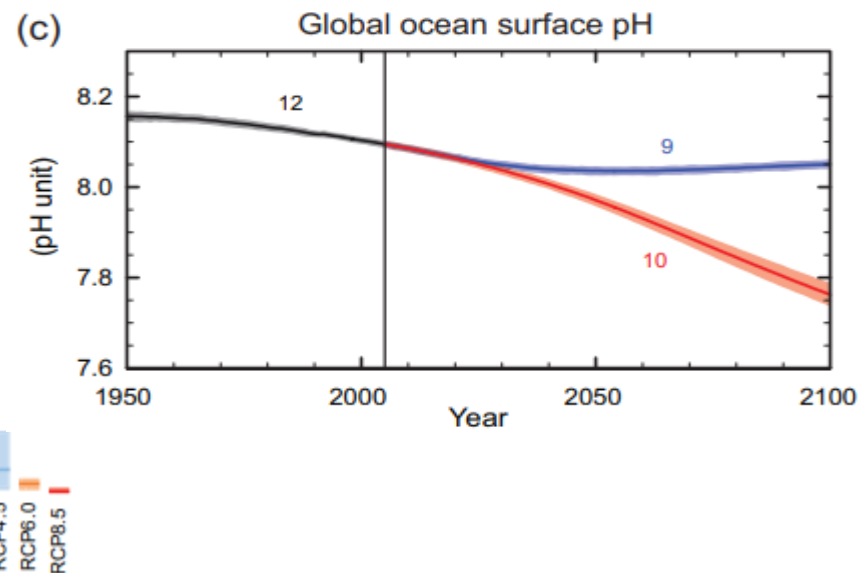
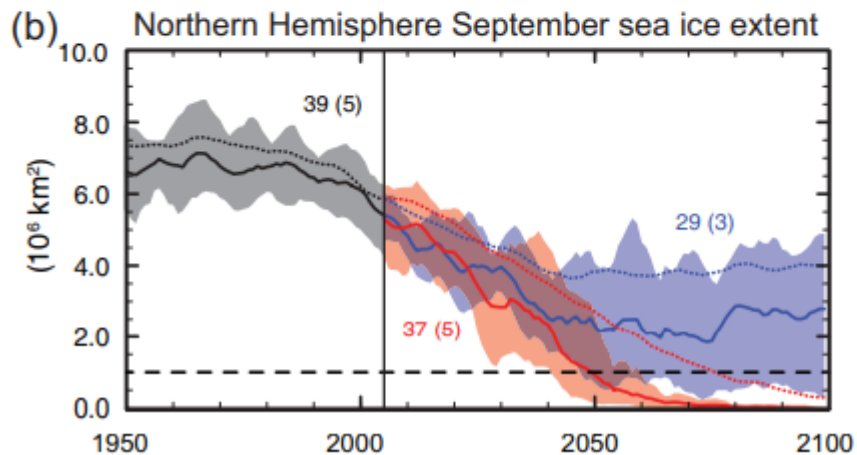
Emitted compound		Resulting atmospheric drivers	Radiative forcing by emissions and drivers			Level of confidence
Anthropogenic gases and aerosols	Well-mixed greenhouse gases					
	CO ₂	CO ₂			1.68 [1.33 to 2.03]	VH
	CH ₄	CO ₂ H ₂ O ^{str} O ₃ CH ₄			0.97 [0.74 to 1.20]	H
	Halo-carbons	O ₃ CFCs HCFCs			0.18 [0.01 to 0.35]	H
	N ₂ O	N ₂ O			0.17 [0.13 to 0.21]	VH
	CO	CO ₂ CH ₄ O ₃			0.23 [0.16 to 0.30]	M
	NMVOC	CO ₂ CH ₄ O ₃			0.10 [0.05 to 0.15]	M
NO _x	Nitrate CH ₄ O ₃			-0.15 [-0.34 to 0.03]	M	
Total anthropogenic RF relative to 1750			2011		2.29 [1.13 to 3.33]	H
			1980		1.25 [0.64 to 1.86]	H
			1950		0.57 [0.29 to 0.85]	M

Il forzante radiativo misura la capacità di un parametro (ad esempio l'aumento dell'anidride carbonica) di alterare il bilancio tra energia entrante ed energia uscente nel sistema Terra-Atmosfera

Modelli IPCC Cambiamenti Climatici

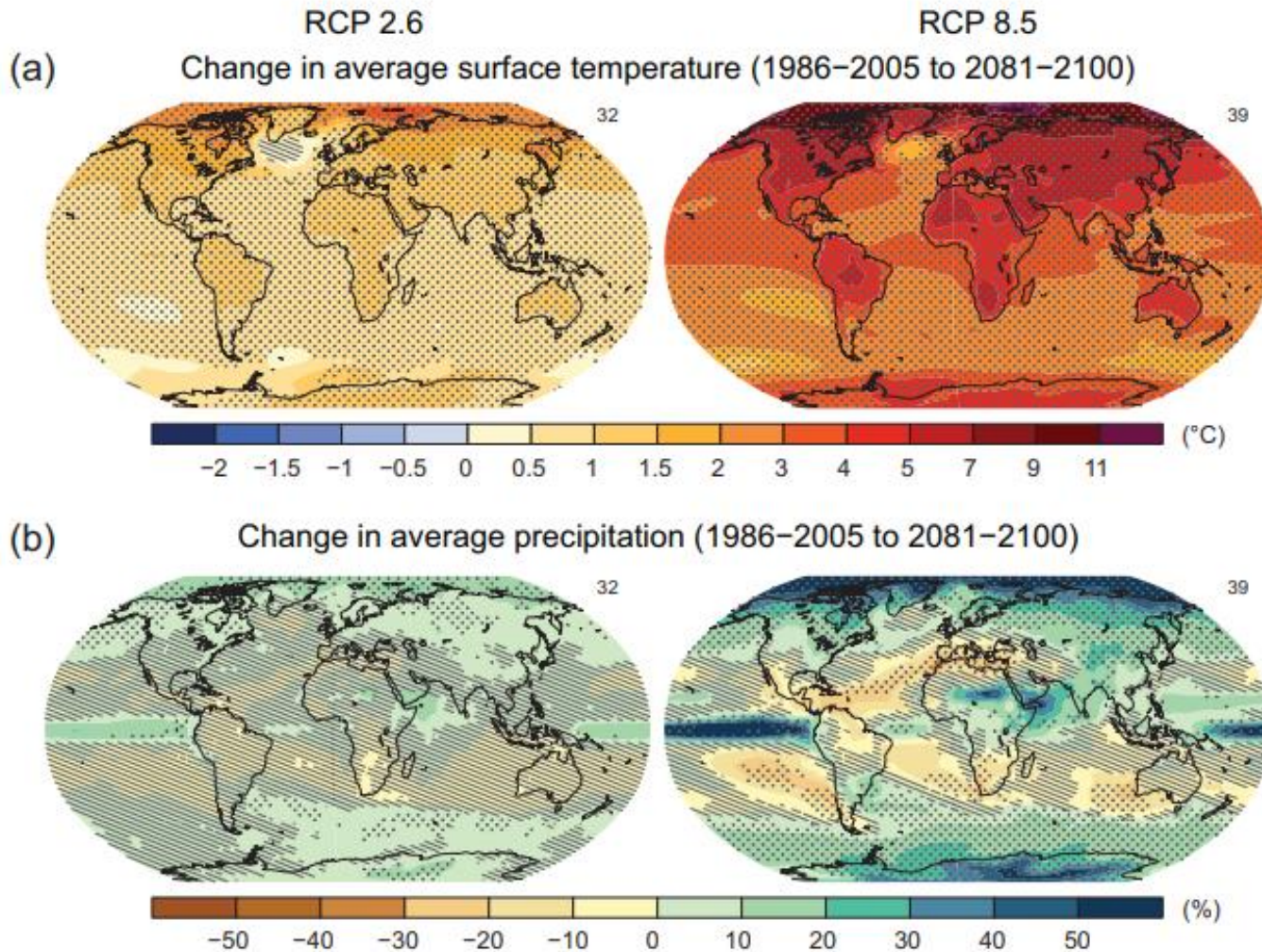


RPC (Representative Concentration Pathways): scenari usati per modelli di simulazione climatica IPCC



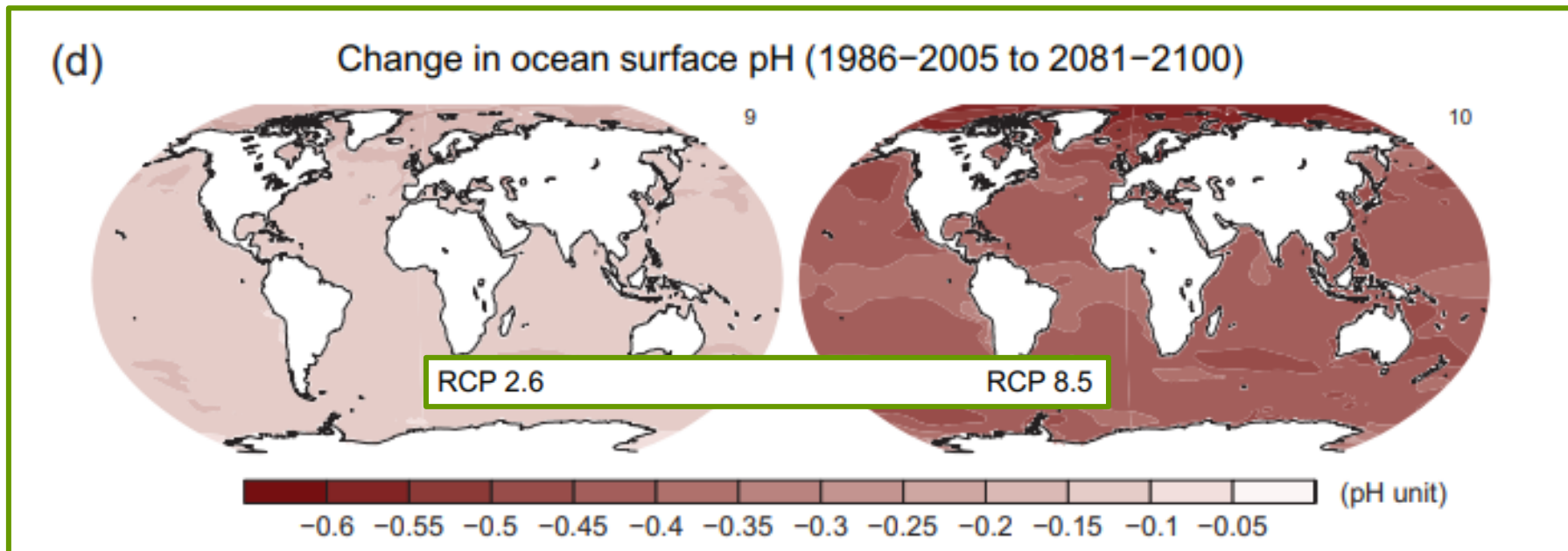
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

Modelli IPCC Cambiamenti Climatici




https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

Cambiamenti del pH degli oceani



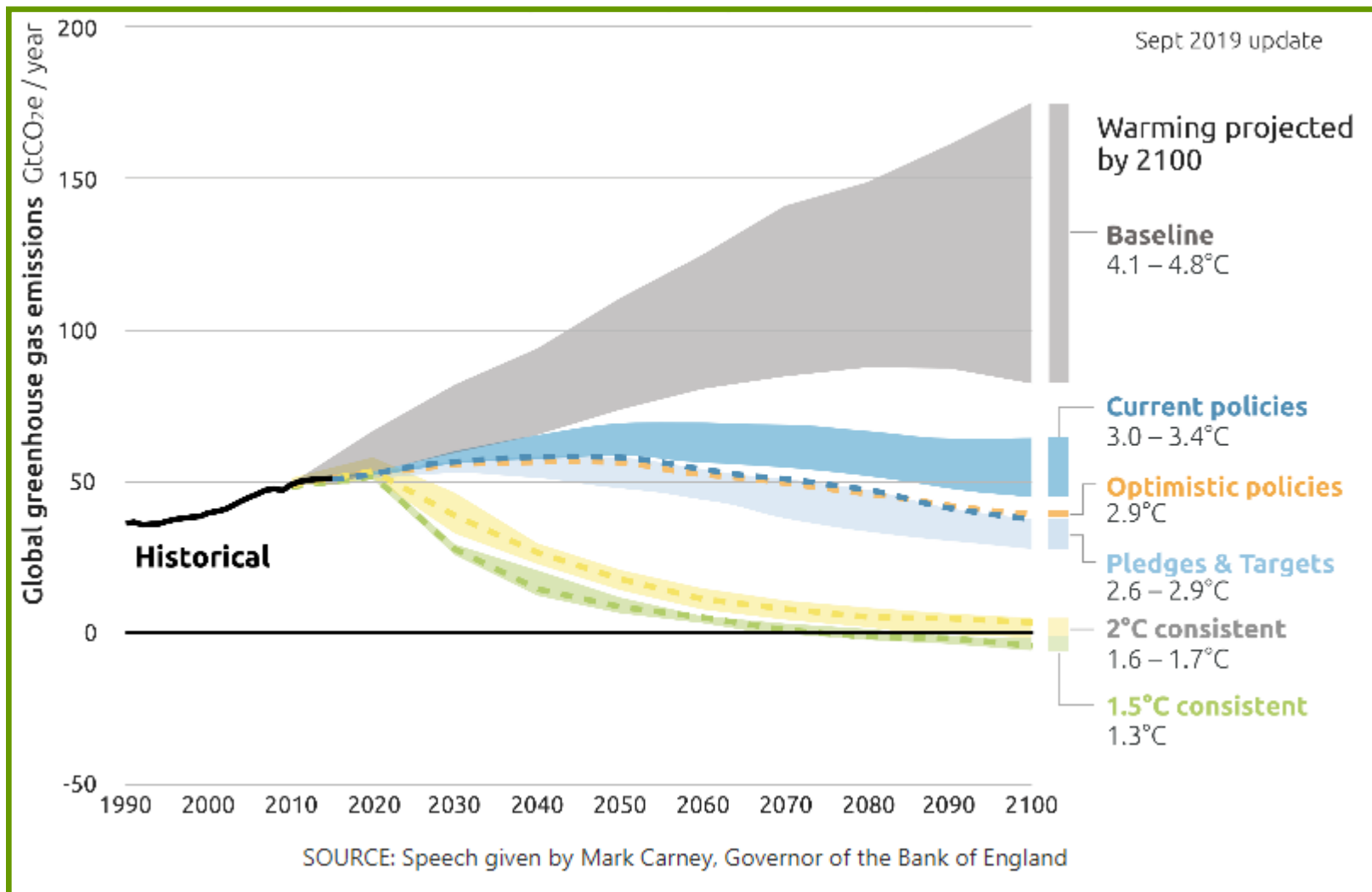
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf



... e per il futuro ?



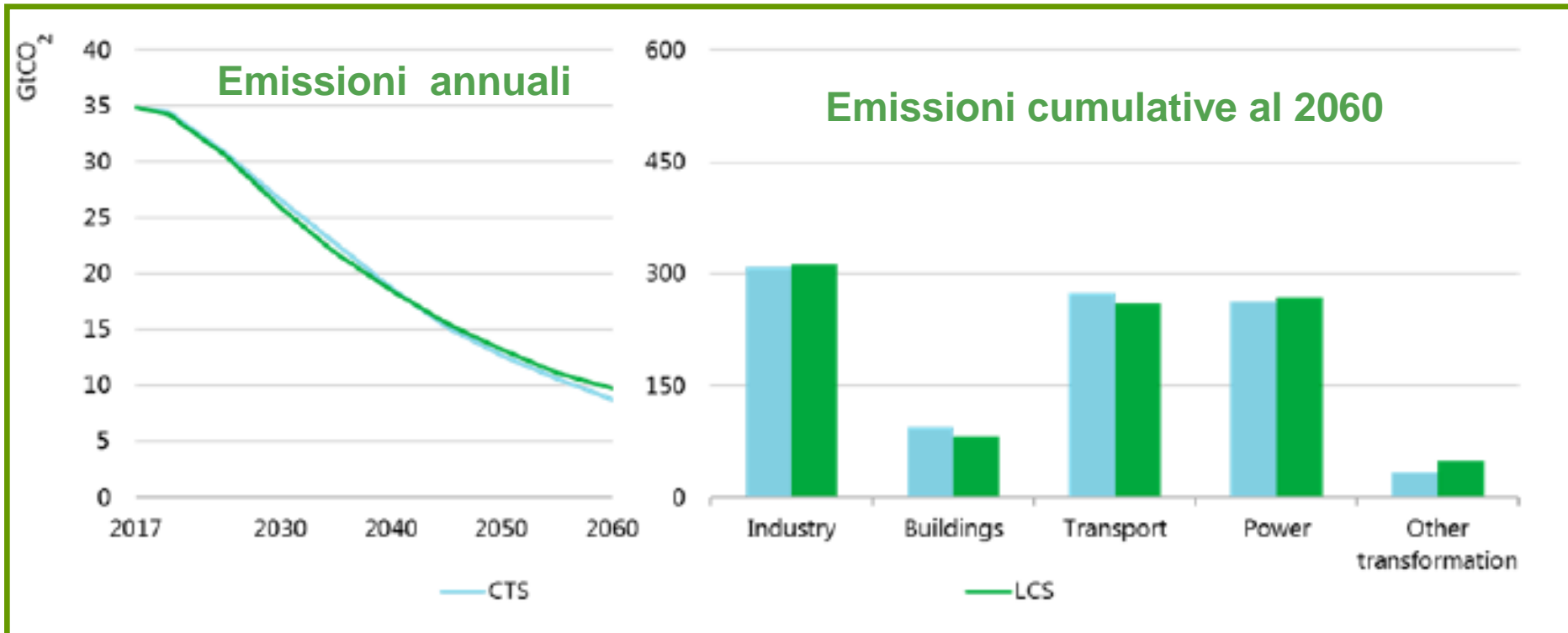
Emissioni di CO₂ e iniziative politiche



<https://www.printfriendly.com/p/g/vN5Wzc>



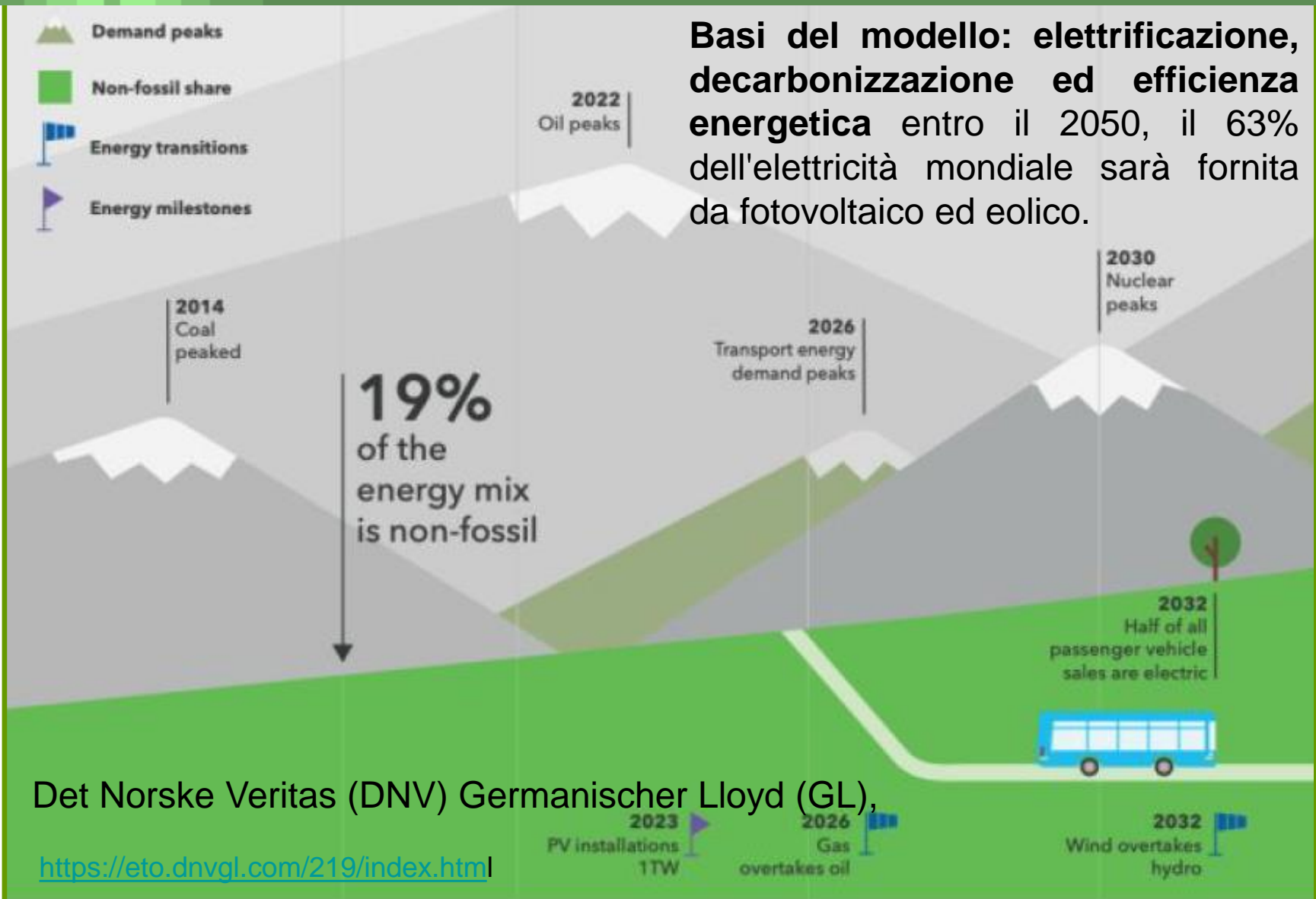
Emissioni Previste di CO₂



IEA. Exploring Clean Energy Pathways. The role of CO₂ storage, 23 Luglio 2019



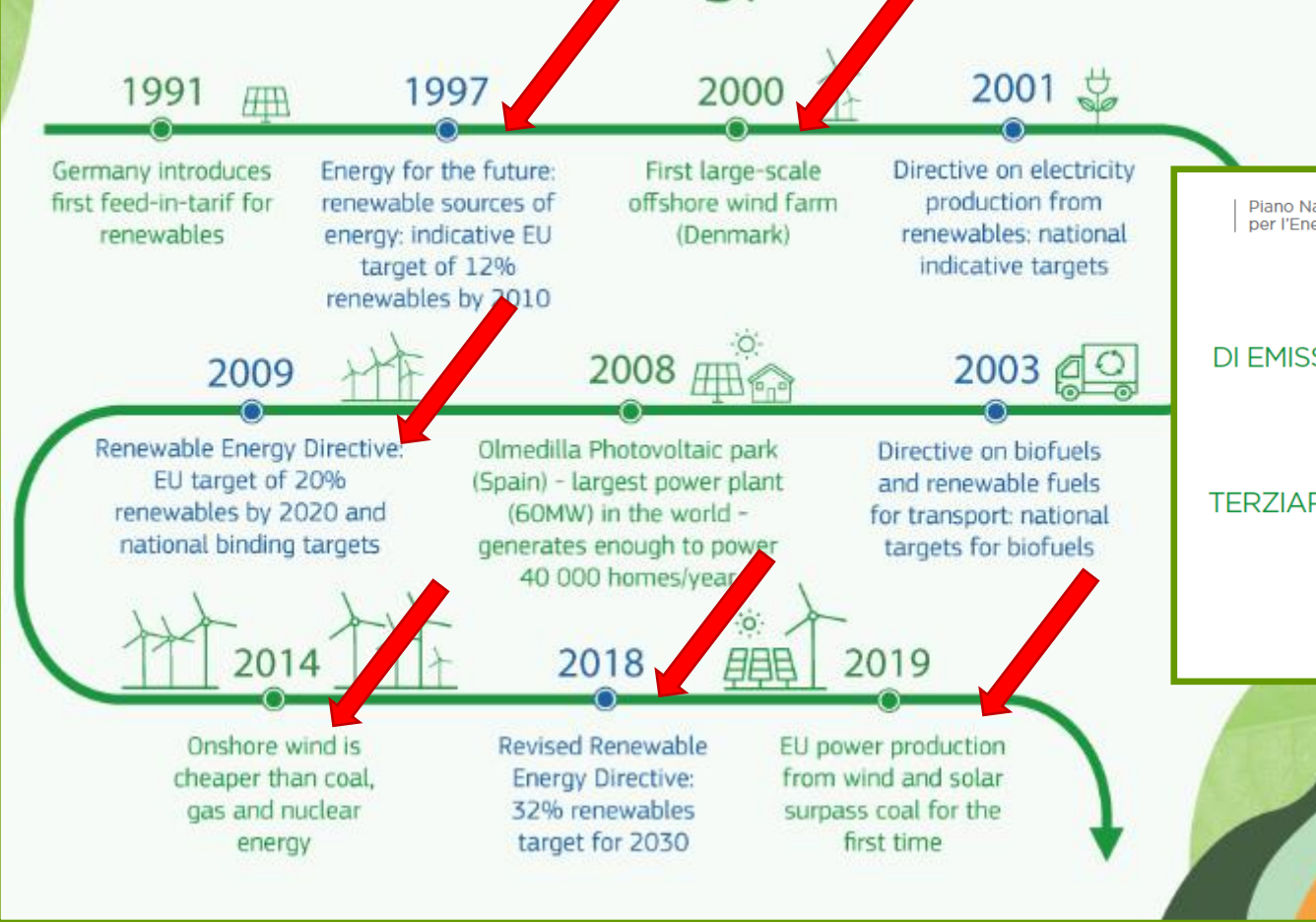
Transizione energetica Modelli DNV GL



Basi del modello: elettrificazione, decarbonizzazione ed efficienza energetica entro il 2050, il 63% dell'elettricità mondiale sarà fornita da fotovoltaico ed eolico.

IL PERCORSO DELLE RINNOVABILI

Renewable energy milestones



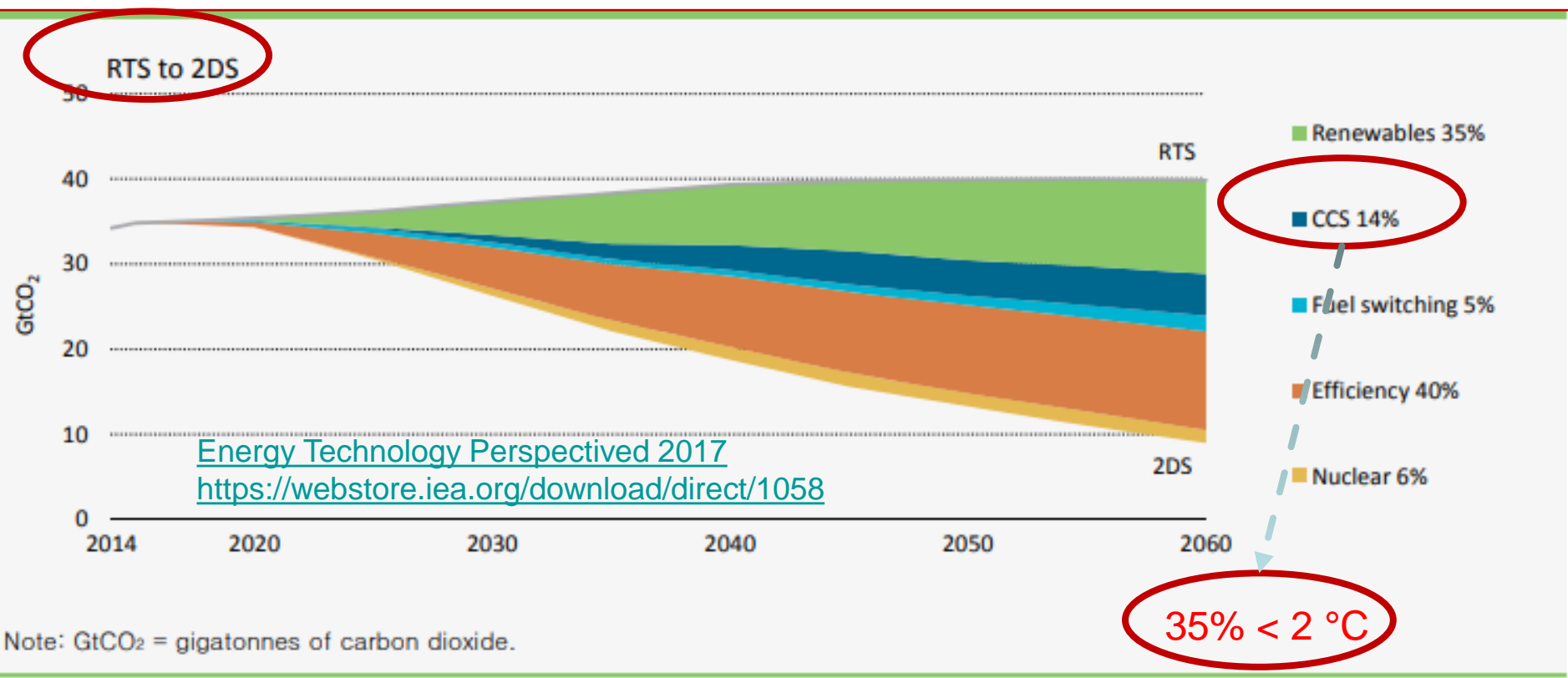
Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima

- **56%** DI EMISSIONI NEL SETTORE DELLA GRANDE INDUSTRIA
- **35%** TERZIARIO, TRASPORTI TERRESTRE E CIVILE
- 30%** OBIETTIVO RINNOVABILI

https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18_en?pk_campaign=ENER%20Newsletter%20March%202020



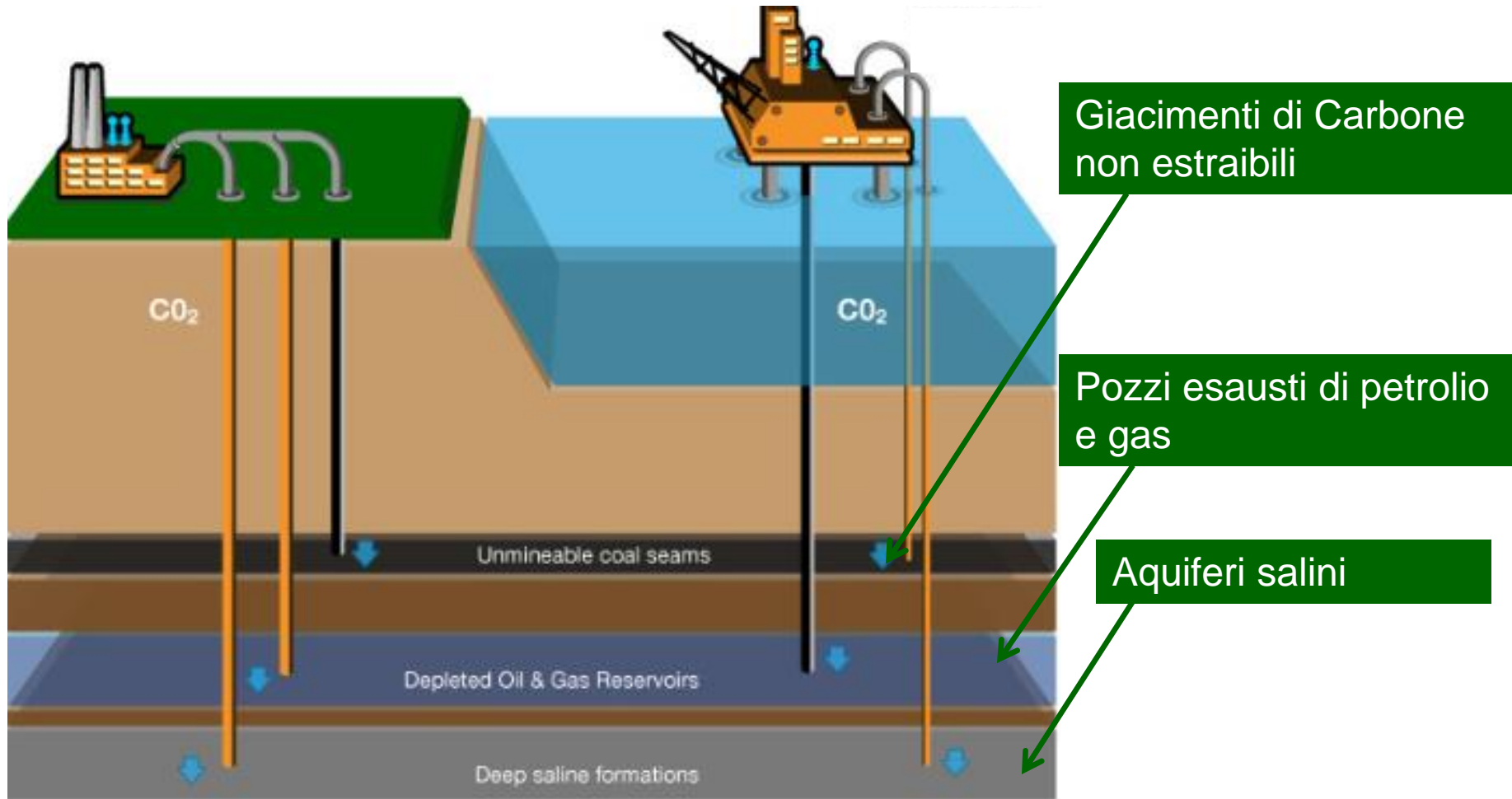
OPZIONI DI DECARBONATAZIONE



- COP 21 Parigi 2015. Impegno a contenere l'aumento entro 2°C sottoscritto da USA (?), Cina, India e altri
- Austria e Svizzera: affrancamento totale dai fossili entro il 2050



CATTURA E STOCCAGGIO DEL CO₂



<http://www.worldcoal.org/coal-the-environment/carbon-capture-use--storage/ccs-technologies/>



SCHEMA A BLOCCHI

Operazioni presso centrali elettriche o grandi impianti industriali

SEPARAZIONE

**PURIFICAZIONE
COMPRESSIONE**

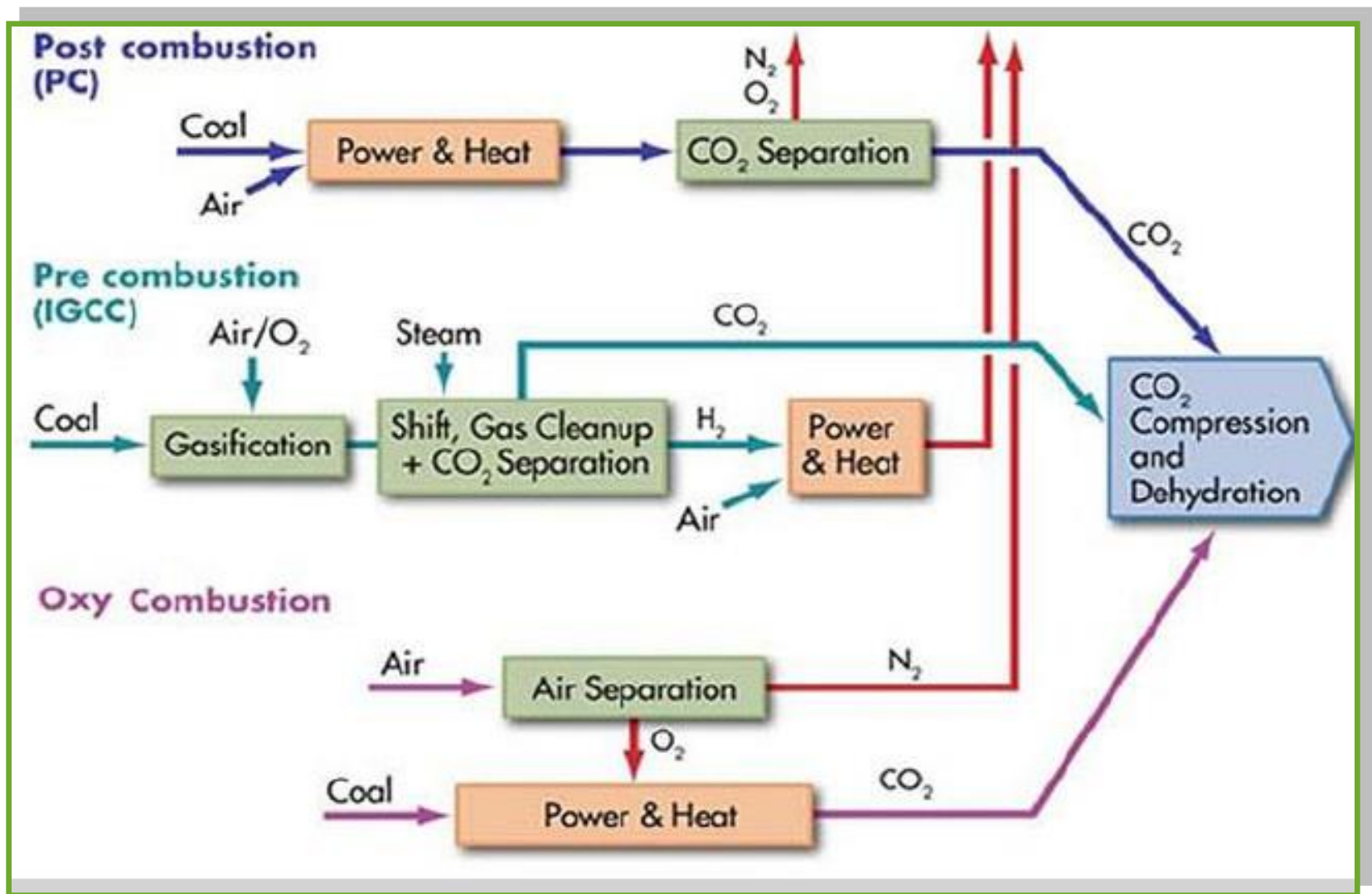
TRASPORTO
*Pipelines
Navi*

STOCCAGGIO
Geologico
Aquiferi salini
Giacimenti
esausti di
idrocarburi

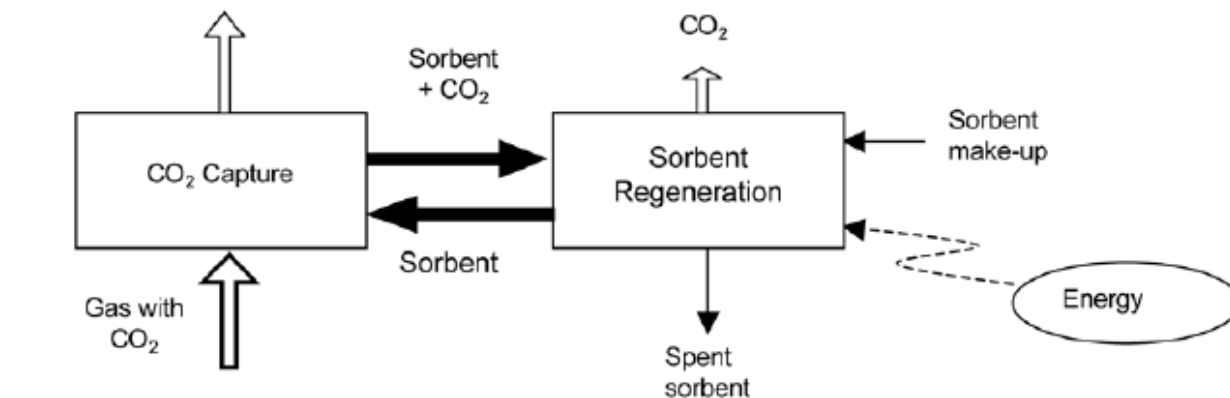
Post combustione
Pre combustione (produzione Idrogeno)
Combustione con ossigeno



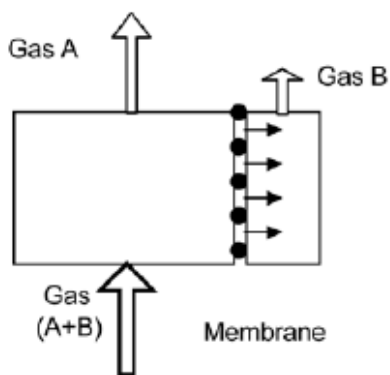
OPZIONI CATTURA CO₂



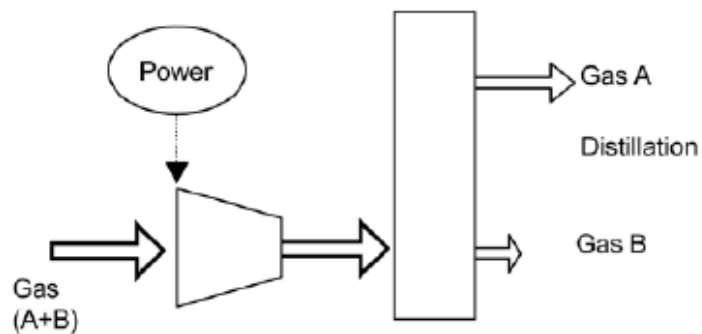
TECNOLOGIE DI CATTURA DEL CO₂



a) Separation with sorbents/solvents



b) Separation with a membrane



c) Separation by cryogenic distillation



Assorbimento Chimico

Reazione chimica, ammine

Fluor Daniel, BASF, Dow

Assorbimento fisico (Henry)

Metanolo, Rectisol (Lurgi)

Glicole polietilenico e dimetiletere Selexol (Norton)

Propilen carbonato (Fluor Daniel)

Adsorbimento (interazione fisica con la matrice solida)

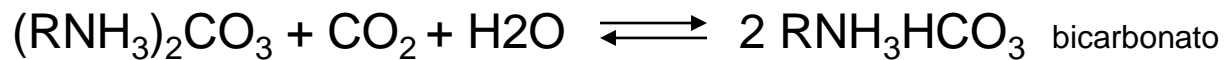
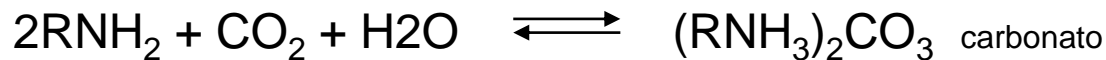
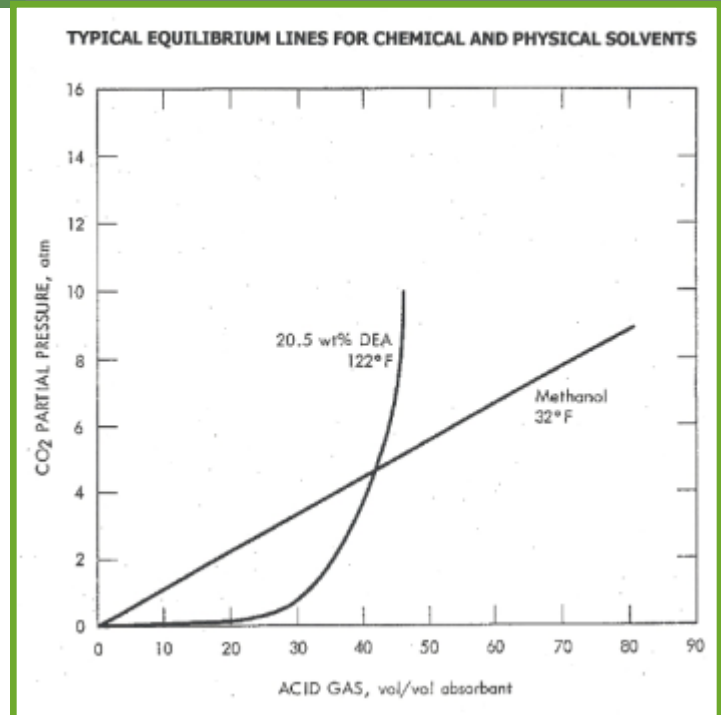
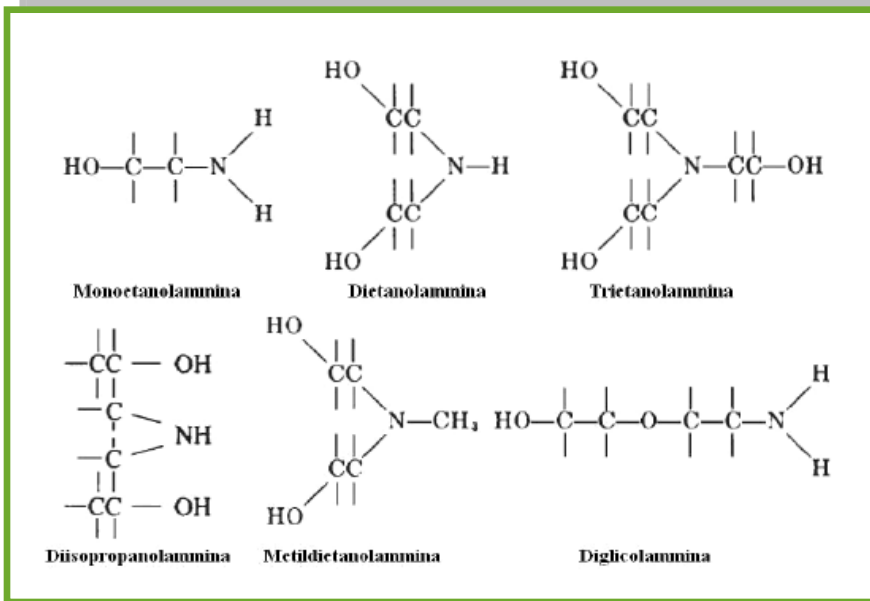
Generalmente usato per purificazione gas

In fase di R&D per cattura CO₂

Allumina, zeoliti (naturali ed artificiali), carboni attivi

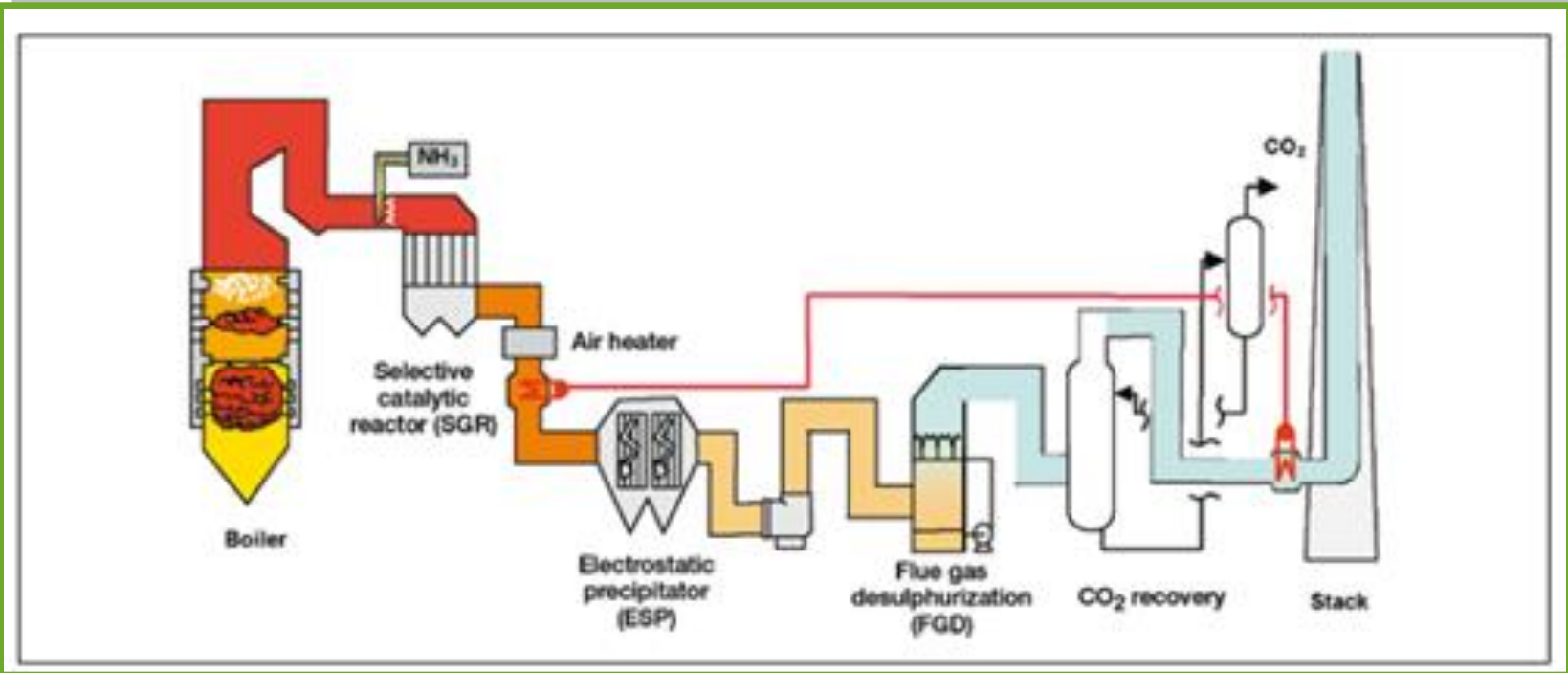
Membrane e Processi criogenici

AMMINE E REAZIONI

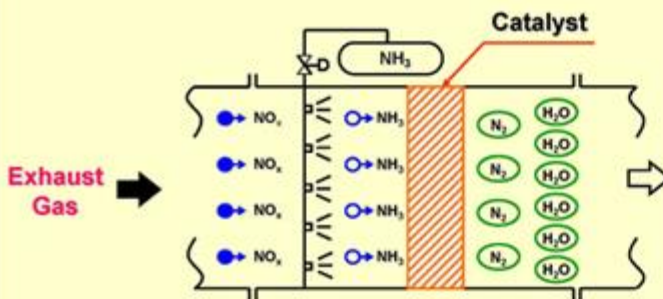


più veloce rispetto alle prime due

RIMOZIONE DI CO₂ CON AMMINE IN UNA CENTRALE A CARBONE



❖ NO_x Removal Mechanism



❖ SO_x Removal Mechanism

- I. Absorption (SO₂ to be absorbed into water)

$$\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3$$
- II. Oxidation (SO₃ to become SO₄ by injecting O₂)

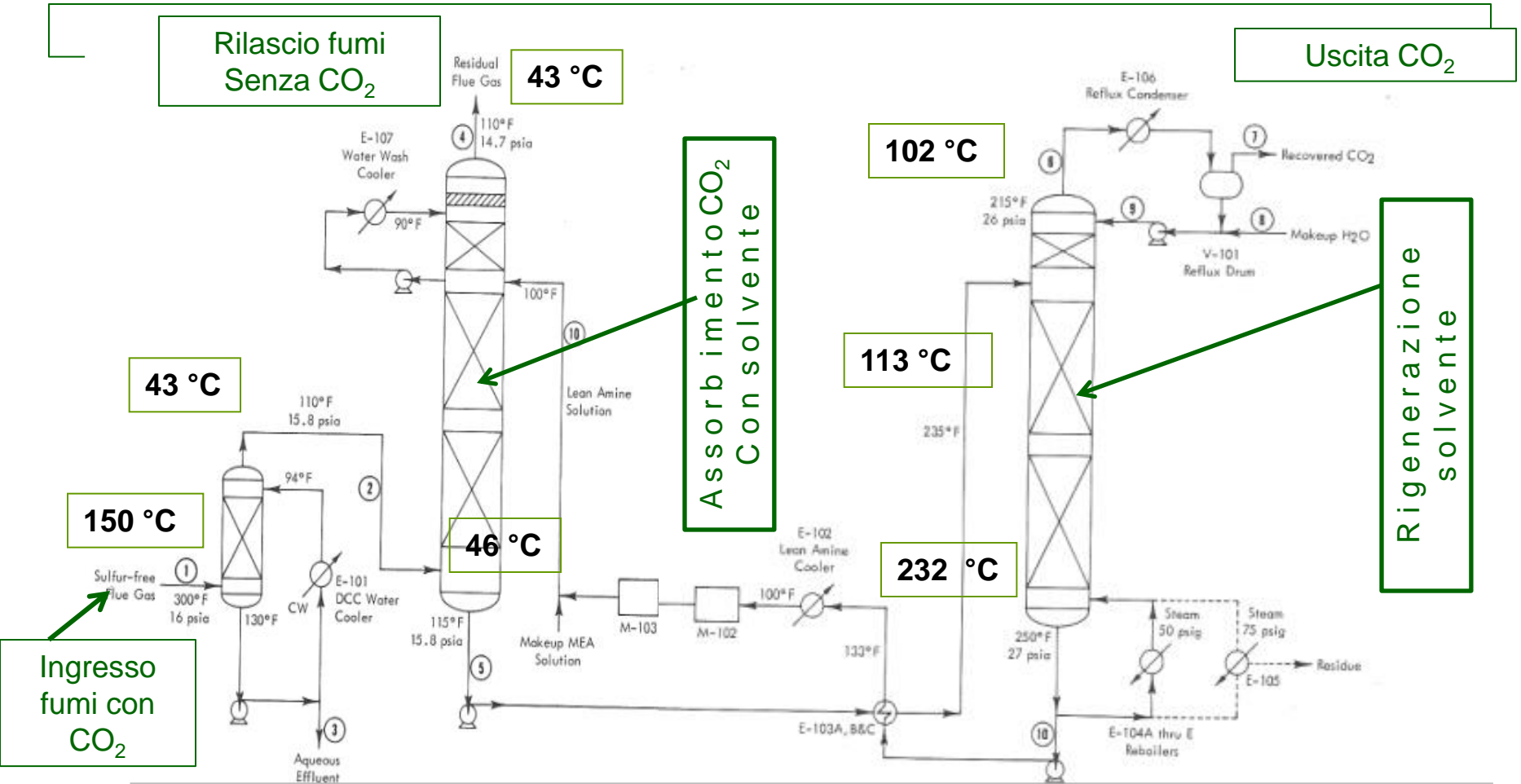
$$\text{H}_2\text{SO}_3 + 1/2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4$$
- III. Neutralization (Neutralization by injecting lime stone/alkali)

$$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad (\text{Lime stone process})$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \quad (\text{Alkali process})$$
- IV. Crystallization (In case of Wet lime stone process)

$$\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

SCHEMA DI PROCESSO IMPIANTO AD AMMINE NGCC 200MW



Operazione energivora: cambiamenti di temperatura, energia di rigenerazione, etc.



IMPIANTO AMMINE E CARBONATO, DATI DI BASE

CICLO COMBINATO A GAS da 200 MW

Concentrazione CO ₂ nei fumi	8,5 % in volume
Pressione alimentazione	1,07 atm
Rimozione CO ₂	90 %
Concentrazione solvente (MEA)	30 % p
Concentrazione solvente (K ₂ CO ₃)	25 % p
Pressione stripping (rigenerazione)	1,8 atm

Energia rigenerazione ammine 900 kcal / kg CO₂

Energia rigenerazione carbonato 950 kcal / kg CO₂



LIMITI APPLICATIVI DELLE AMMINE

- ❖ MEA più reattiva (maggiore alcalinità) di DEA e TEA
- ❖ Calore di rigenerazione MEA ca. 900 kcal /kg CO₂, DEA e TEA 50 e 75 % MEA
- ❖ Capacità assorbente soluzioni acquose MEA più alte (più basso peso molecolare 61,1 Vs 149 TEA)
- ❖ Soluzioni acide MEA molto corrosive (si opera al 15-18 % con una capacità assorbente di 25 gCO₂/100 g MEA) più alta in presenza di ossigeno
- ❖ Necessaria rimozione spinta di SO_x e NO_x che formano sali stabili con le ammine e conseguente perdita di capacità assorbente
- ❖ Ricerca indirizzata a trovare inibitori di corrosione, a ridurre il calore di rigenerazione (impedimenti sterici) e a aumentare la selettività per la CO₂
- ❖ In presenza di inibitori di corrosione MEA può essere usata al 40-45 %

CONFRONTO PRINCIPALI IMPIANTI DI POTENZA, capacità 500 MW

Tipo di Centrale	A vapore FGD 90%	A ciclo combinato	IGG ⁽¹⁾	CO ₂ / O ₂
Combustibile	Carbone	Gas Naturale	Carbone	Carbone
Efficienza elettrica %	39,9	52,0	41,7	32,8
Caratteristiche del flue gas				
T, °C	92	89	122,0	65,8
P, bar	1,016	1,013	1,01	1,03
Componenti del flue gas kg/s - %v				
H ₂ O	40,9-10,9	44,0-6,9	31,0-4,9	28,7-31,5
O ₂	29,6-4,5	156,4-13,8	134,0-11,9	7,3-4,5
CO ₂	115,1-12,6	52,4-3,4	108-7,0	139,0-62,6
Ar	7,0-0,9	12,4-0,9	13,0-0,9	0,6-0,3
N ₂	414,6-71,2	742,2-75,0	743-75,4	0,9-0,6
SO ₂ , mg/Nm ³	190	-	2	1-0,3
NO _x , mg/Nm ³	650	50,0	25	0,2-0,07
Totale, kg/s	607,4	1007,4	1028,4	177,7
Emissioni di CO ₂ , kg/MWh	829	406	794	1000

(1) Processo Texaco con rimozione H₂S mediante processo Selexol (quota CO₂ emessa all'atmosfera dal processo Solexol 15%)

Nessuna tecnologia vincente
Ciascuna si adatta alle diverse opzioni di produzione dell'energia elettrica

Caratteristiche apparecchiature

EQUIPMENT NUMBER	NAME	SIZE		MATERIAL OF CONSTRUCTION		REMARKS	
		DIAMETER (FT)	HEIGHT (FT)	SHELL	TRAYS/ PACKING		
COLUMNS							
C-101	ABSORBER	22.3	85	CARBON STL	STAINLESS	50 FT OF 1.5 INCH	PACKING
C-102	STRIPPER	12.8	63	CARBON STL	STAINLESS	35 FT OF 1.5 INCH	PACKING
C-103	DIRECT CONTACT COOLER	22.2	28	316 SS	STAINLESS	10 FT OF 1.5 INCH	PACKING
HEAT EXCHANGERS							
		AREA (SQ FT)	HEAT LOAD (MM BTU/HR)	SHELL	TUBES		
E-101	DCC WATER COOLER	5,583	89.9	304 SS	304 SS		
E-102	LEAN AMINE COOLER	3,566	49.6	CARBON STL	CARBON STL		
E-103A-C	AMINE-AMINE EXCHANGERS	8,200 ea	63. ea	CARBON STL	CARBON STL		
E-104A-E	REBOILERS	8,800 ea	33. ea	CARBON STL	CARBON STL		
E-105	RECLAIMER	4,500	16.9	304 SS	304 SS	USED INTERMITTENTLY	
E-106	REFLUX CONDENSER	7,200	55.6	304 SS	304 SS		
E-107	WATER WASH COOLER	2,100	57.	304 SS	304 SS		

SRI Process Economic Program Report N. 180 1987



AGGRAVI ENERGETICI DOVUTI ALLA CATTURA DI CO₂

CENTRALE A CARBONE DA 500 MW

Tecnologie rimozione CO ₂	MEA	PSA	TSA	Criogenia	Membrane	Membrane+MEA
CO ₂ catturata %	90	95	95	--	80	80
Efficienza elettrica %						
Caso Base	40	40	40	--	40	40
Dopo rimozione CO ₂	29	28	29	--	31	30

Efficienza senza CCS 40 %, Efficienza con CCS 29 %

CICLO COMBINATO A GAS DA 500 MW

Tecnologia rimozione CO ₂	MEA	PSA	TSA	Criogenia	Membrane	Membrane+MEA
CO ₂ catturata %	85	95	95	--	80	80
Efficienza elettrica %						
Caso base	52	52	52	--	52	52
Dopo rimozione CO ₂	42	33	39	--	31	47

Efficienza senza CCS 52 %, Efficienza con CCS 42 %



OPZIONI TRASPORTO CO₂



Onshore pipeline



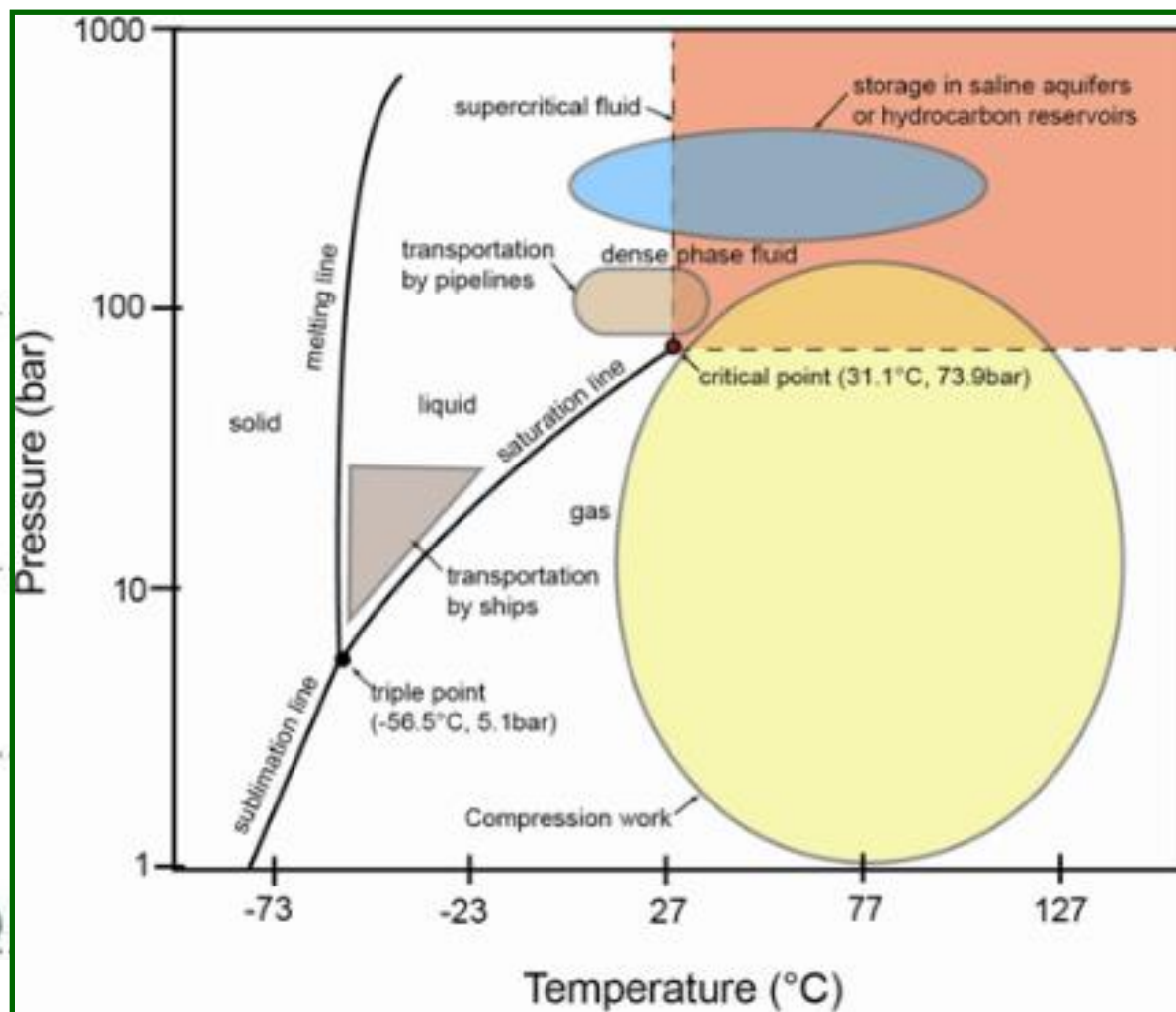
Offshore pipeline



Ship



Liquefaction (for ship transport)

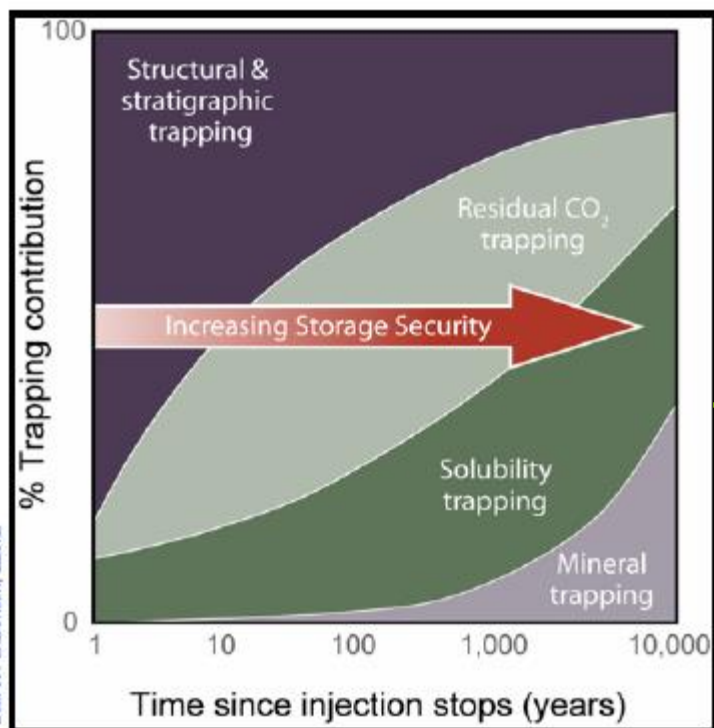
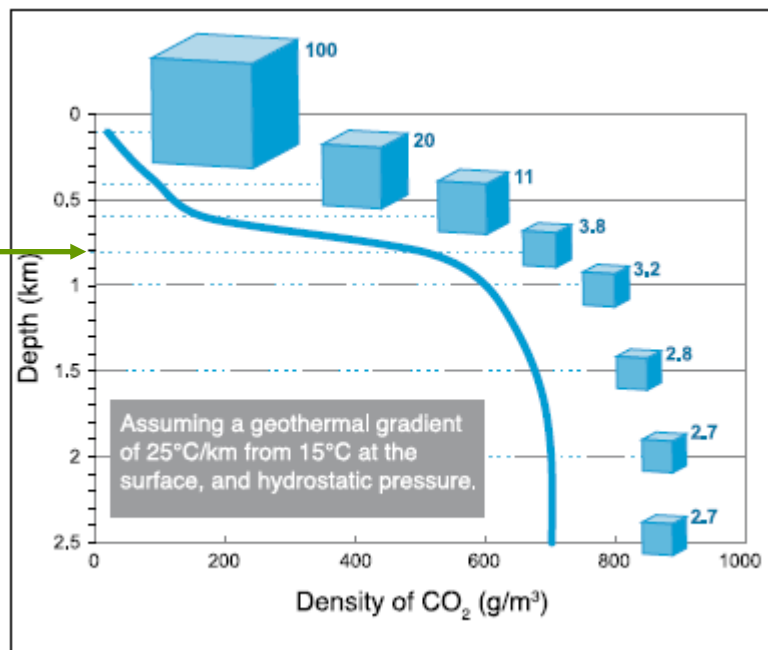


- ❖ **Strutturali**: intrappolamento sotto uno strato di roccia impermeabile che fa da tenuta
- ❖ **Residuali**: intrappolamento negli interstizi delle rocce porose
- ❖ **Dissoluzione**: dispersione in acqua, appesantimento e deposito sul fondo della formazione
- ❖ **Mineralizzazione**: dissoluzione in acqua e reazione chimica con le rocce con produzione di minerali



SICUREZZA DELLO STOCCAGGIO GEOLOGICO On-Off-Shore

800 m condizioni
supercritiche



E' necessaria la selezione
accurata dei siti e il monitoraggio
nel tempo



STOCCAGGIO GEOLOGICO On-Off-Shore

- ❖ Esistono giacimenti naturali di petrolio, gas e CO₂
- ❖ Viene correntemente effettuato lo stoccaggio del gas naturale
- ❖ Viene praticato l'Enhanced Oil Recovery (EOR) con CO₂
- ❖ I giacimenti naturali possono essere simulati con modelli matematici
- ❖ Possono essere modellate anche le perdite dai pozzi
- ❖ Esistono progetti di stoccaggio della CO₂ in giacimenti di olio e gas e in acquiferi salini



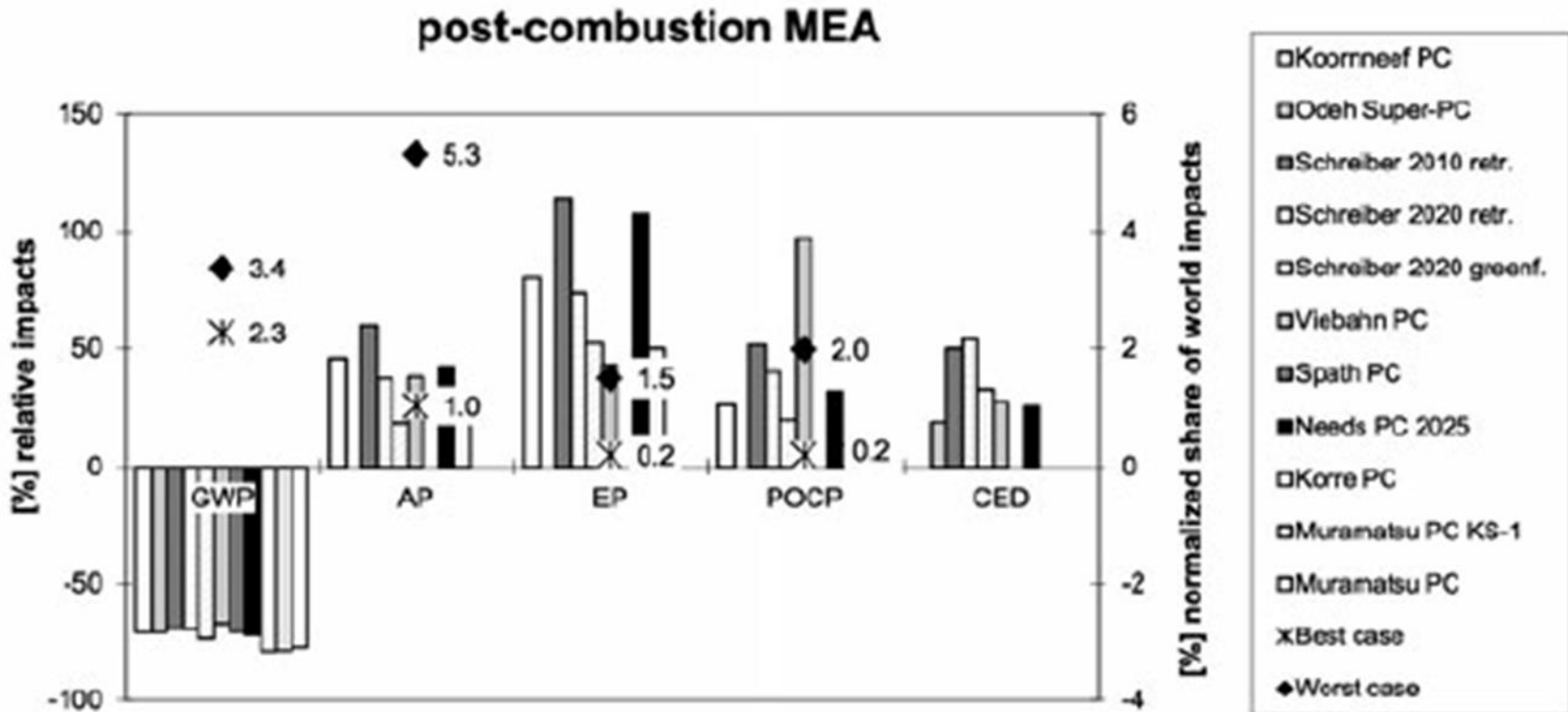
USA – PROGETTI EOR e PIPELINE CO₂



Location of Current CO₂ EOR Projects and Pipeline Infrastructure

CO2-Net B.V. - Energy and Emission strategy consultancy

LCA - IMPATTI DI CENTRALI A CARBONE CON CCS



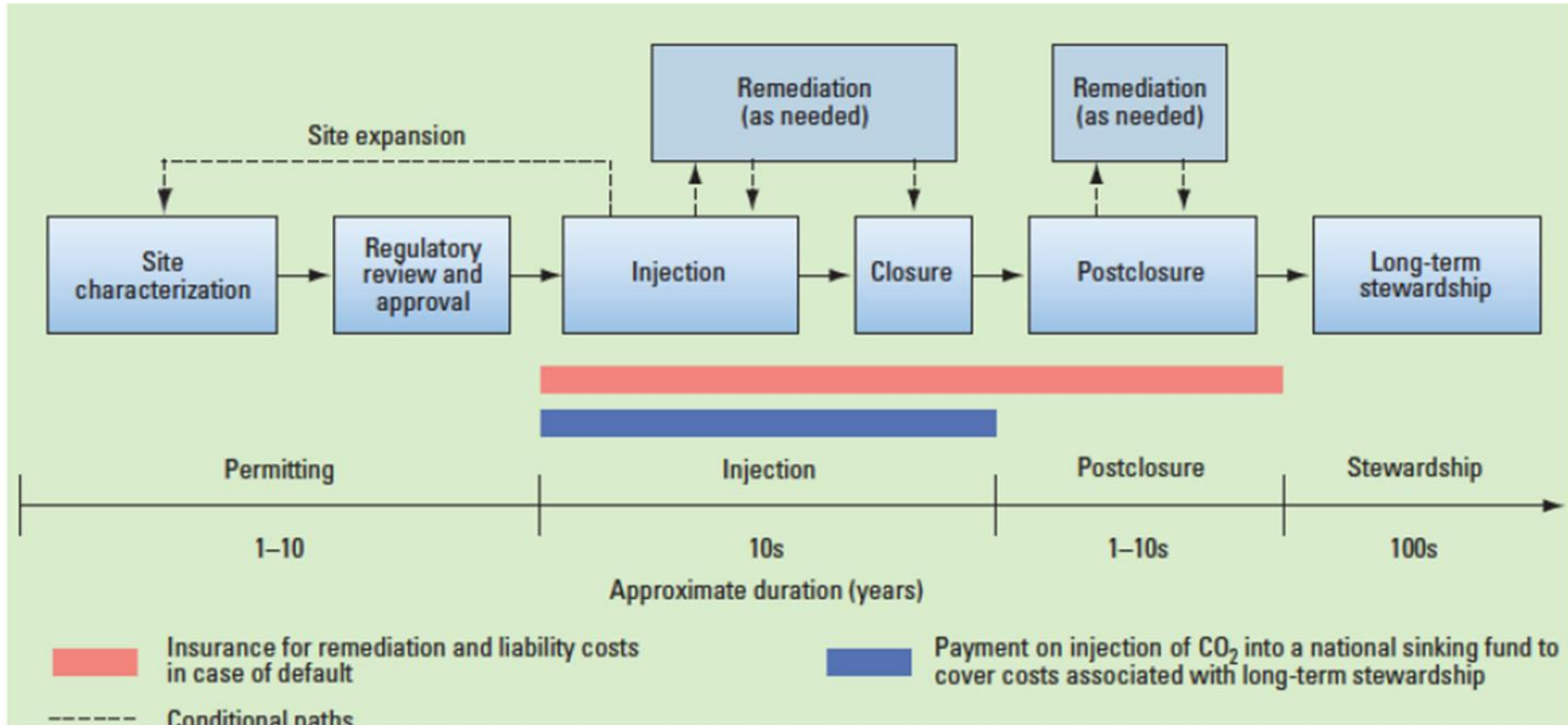
GWP = Global Warming Potential, AP = Acidification Potential, EP = Eutrophication Potential, POCP = photochemical ozone creation potential, CED = cumulative energy demand

Con la CCS si riducono le emissioni di gas serra ma si aumenta il consumo delle risorse fossili e le altre categorie ambientali (acidificazione dell'aria, eutrofizzazione delle acque e ossidazione fotochimica)

A. Schreiber, P. Zapp, J. Marx. Journal of Industrial Ecology, Volume 16, N. SI, p S 155, 2012



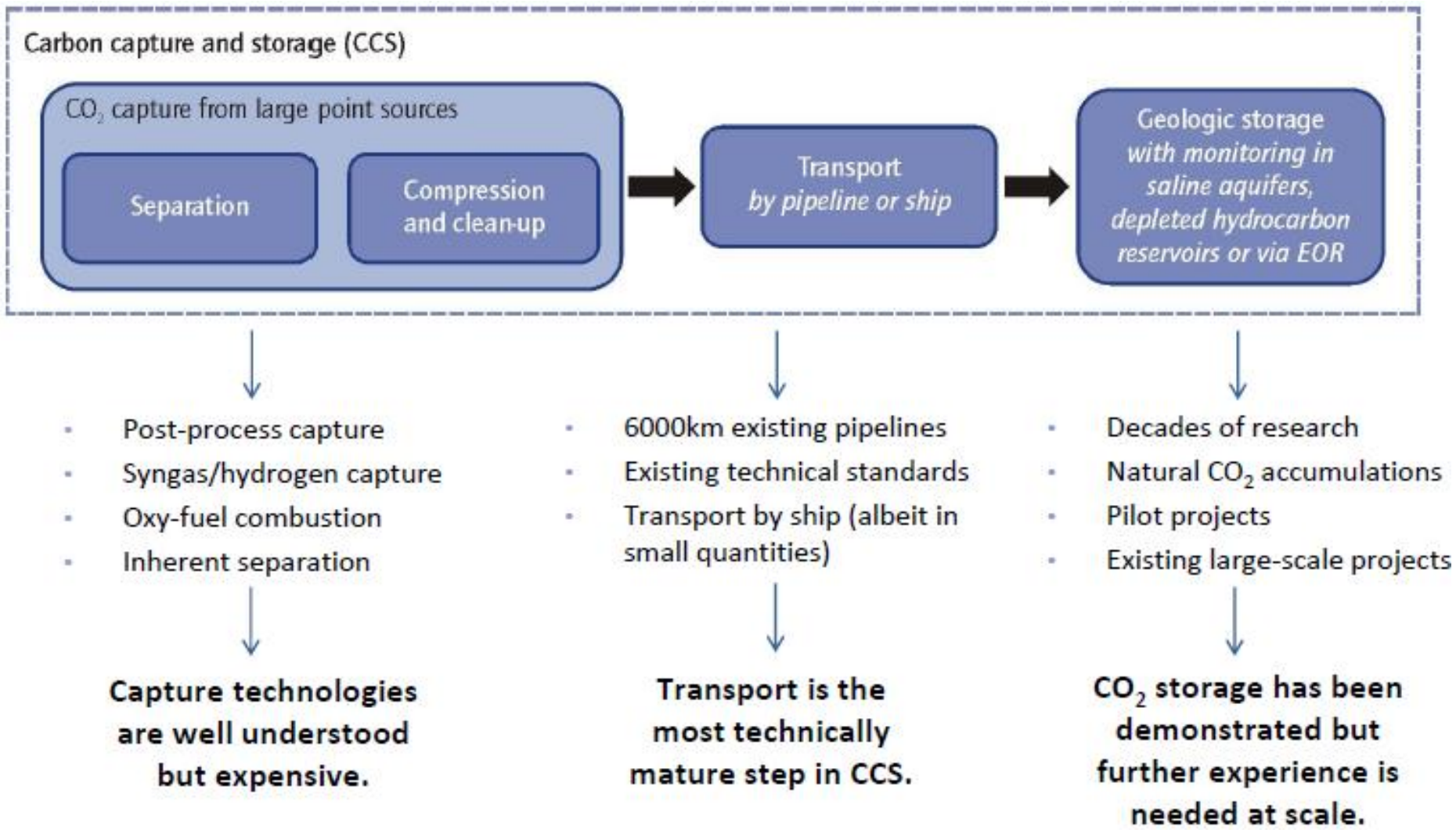
FASI DI UN PROGETTO DI STOCCAGGIO GEOLOGICO DEL CO₂



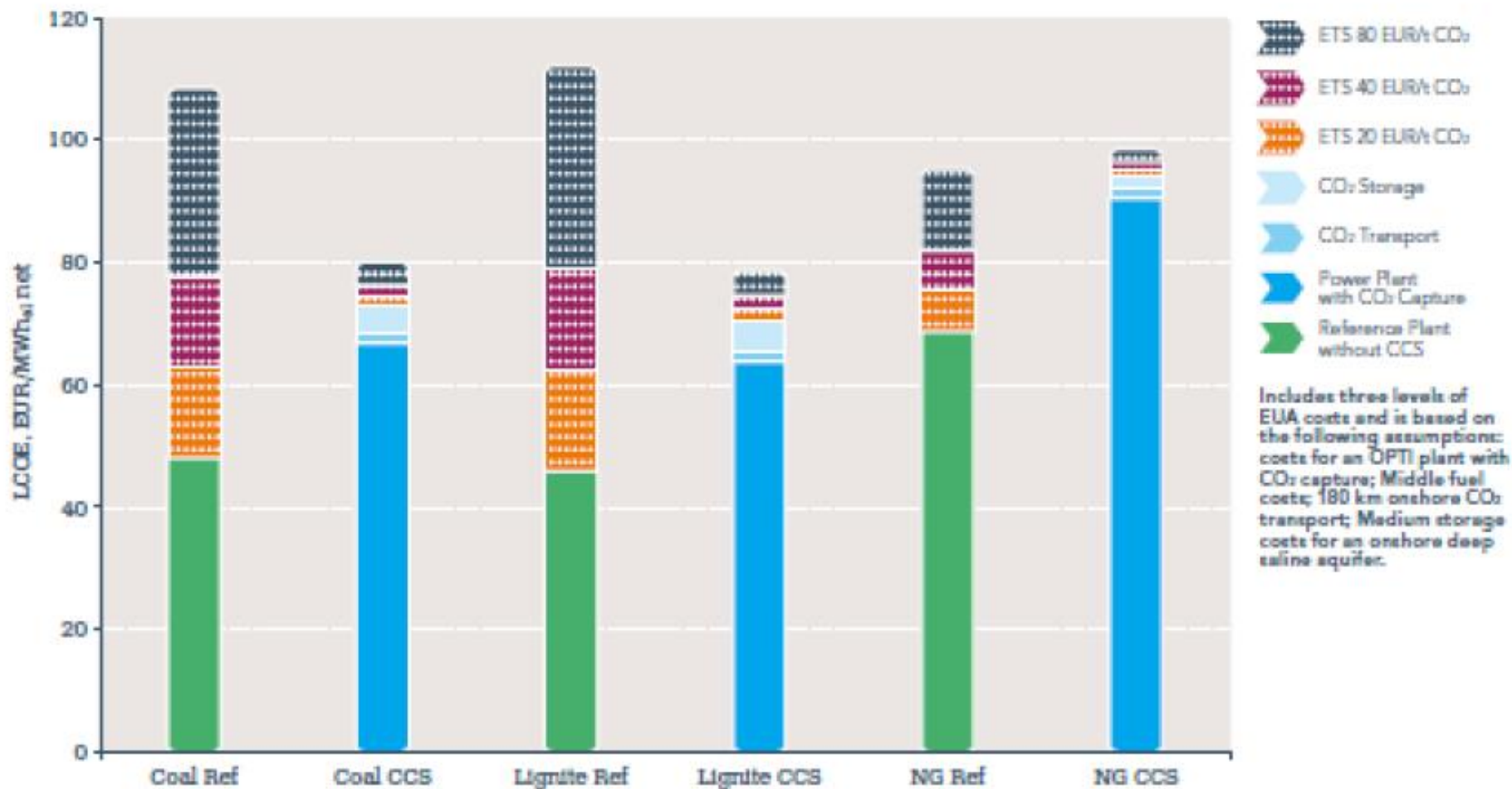
Parametri: Capacità del giacimento, Numero di pozzi necessari, “Iniettività” e sue variazioni



LIVELLO DI SVILUPPO DELLE TECNOLOGIE



COSTI – MERCATO CO₂ Decisioni Politiche



⁴ http://ec.europa.eu/energy/strategies/2008/2008_11_sar2_en.htm

⁷ www.decc.gov.uk/assets/decc/statistics/projections/71-uk-electricity-generation-costs-update.pdf

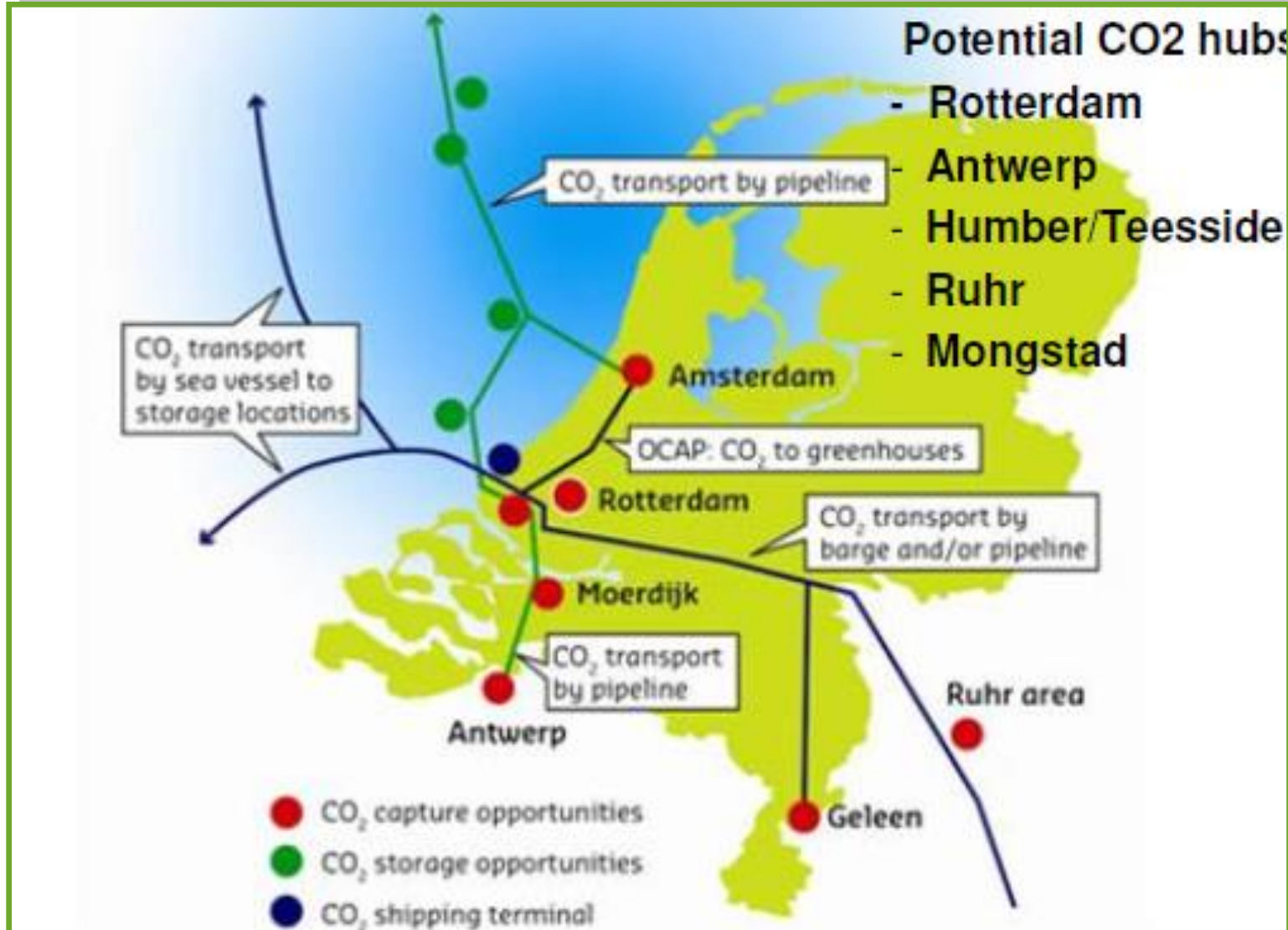


PREZZI CO₂



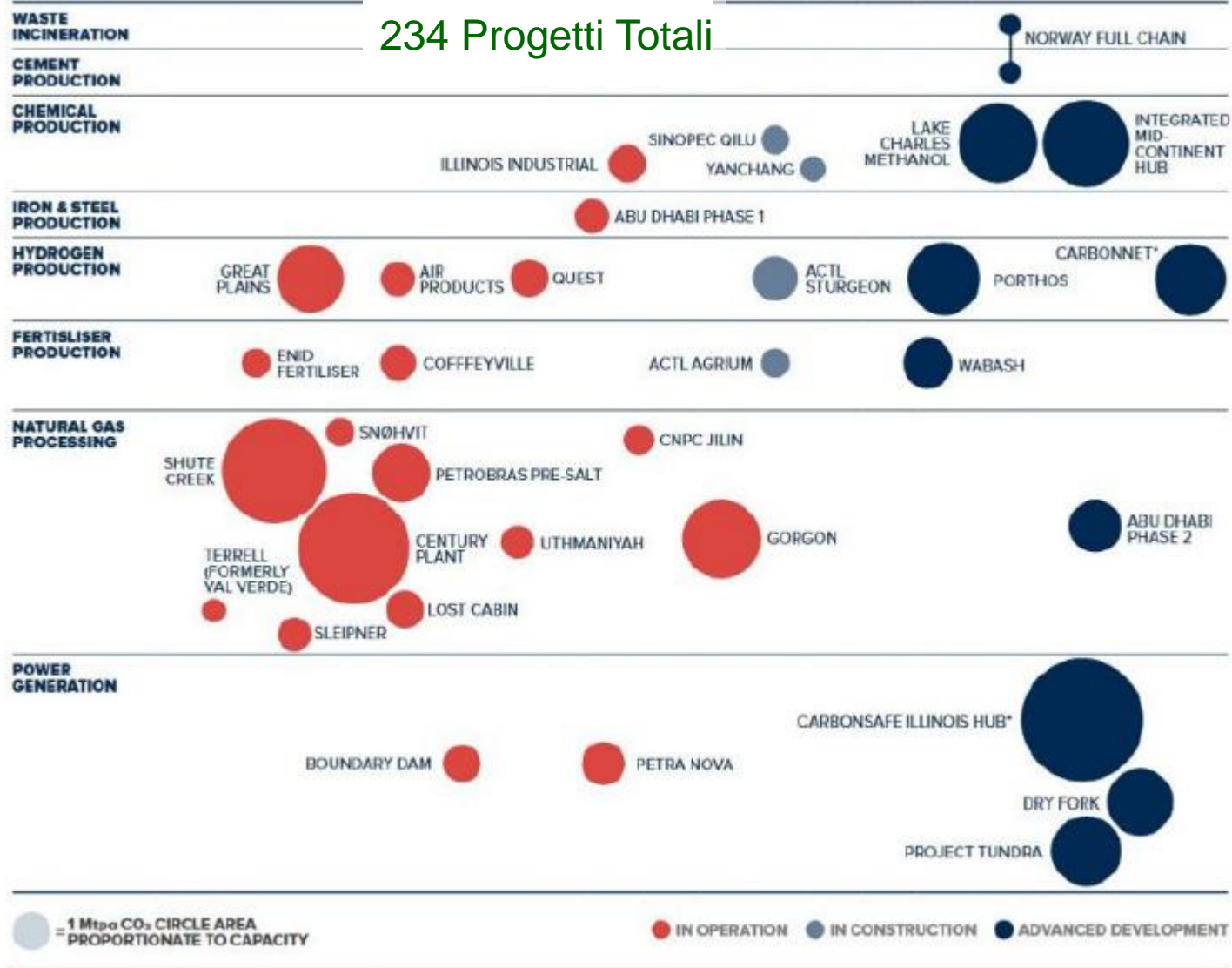


PROGETTI DI CLUSTERING Mare del Nord



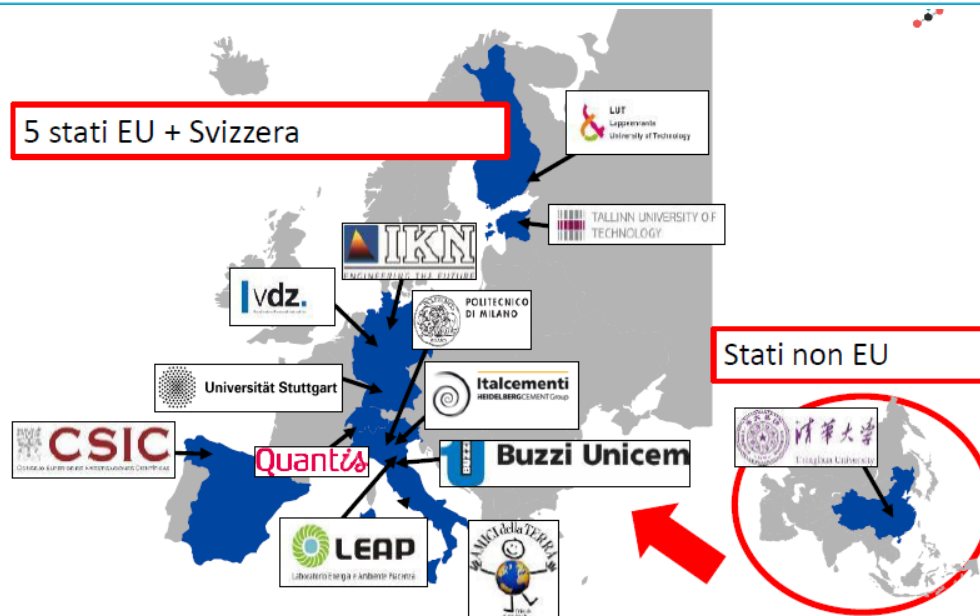
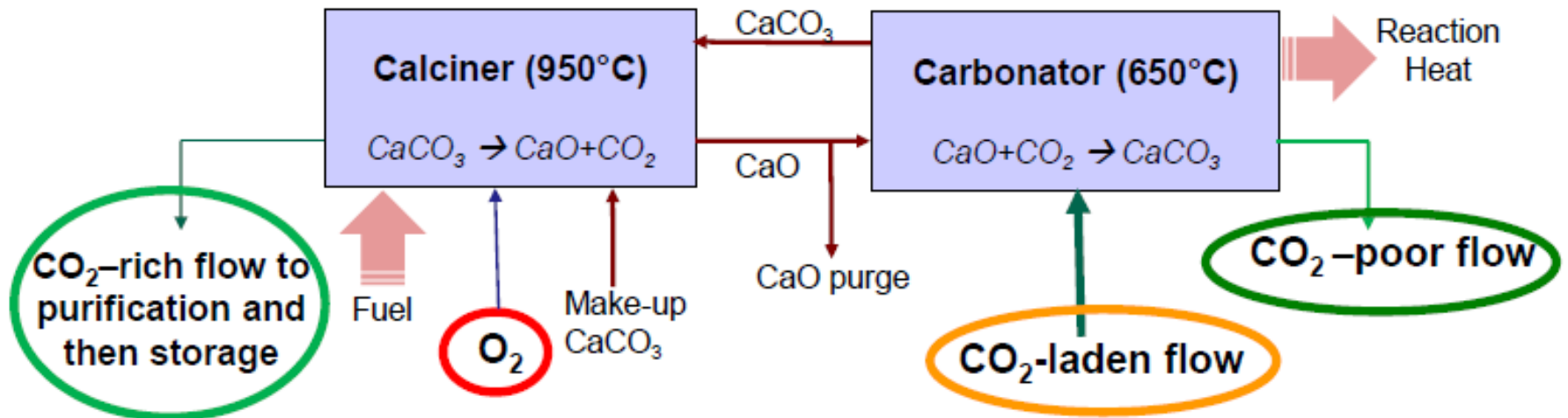


LARGE SCALE CCS PROJECTS DATA BASE 2019

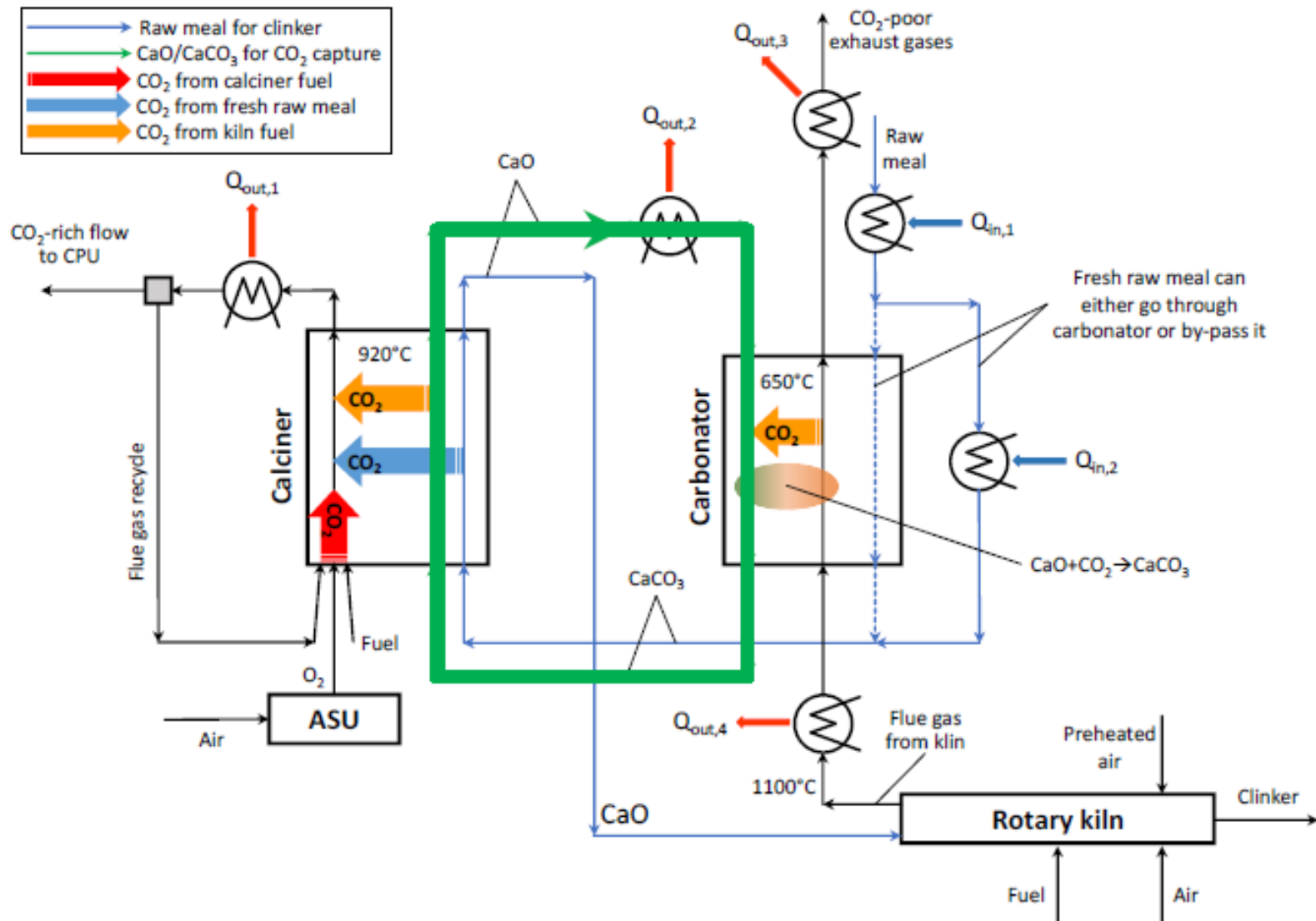


<http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects#overview>

Progetto Cleanker Buzzi-Unicem



Progetto Cleanker Buzzi-Unicem



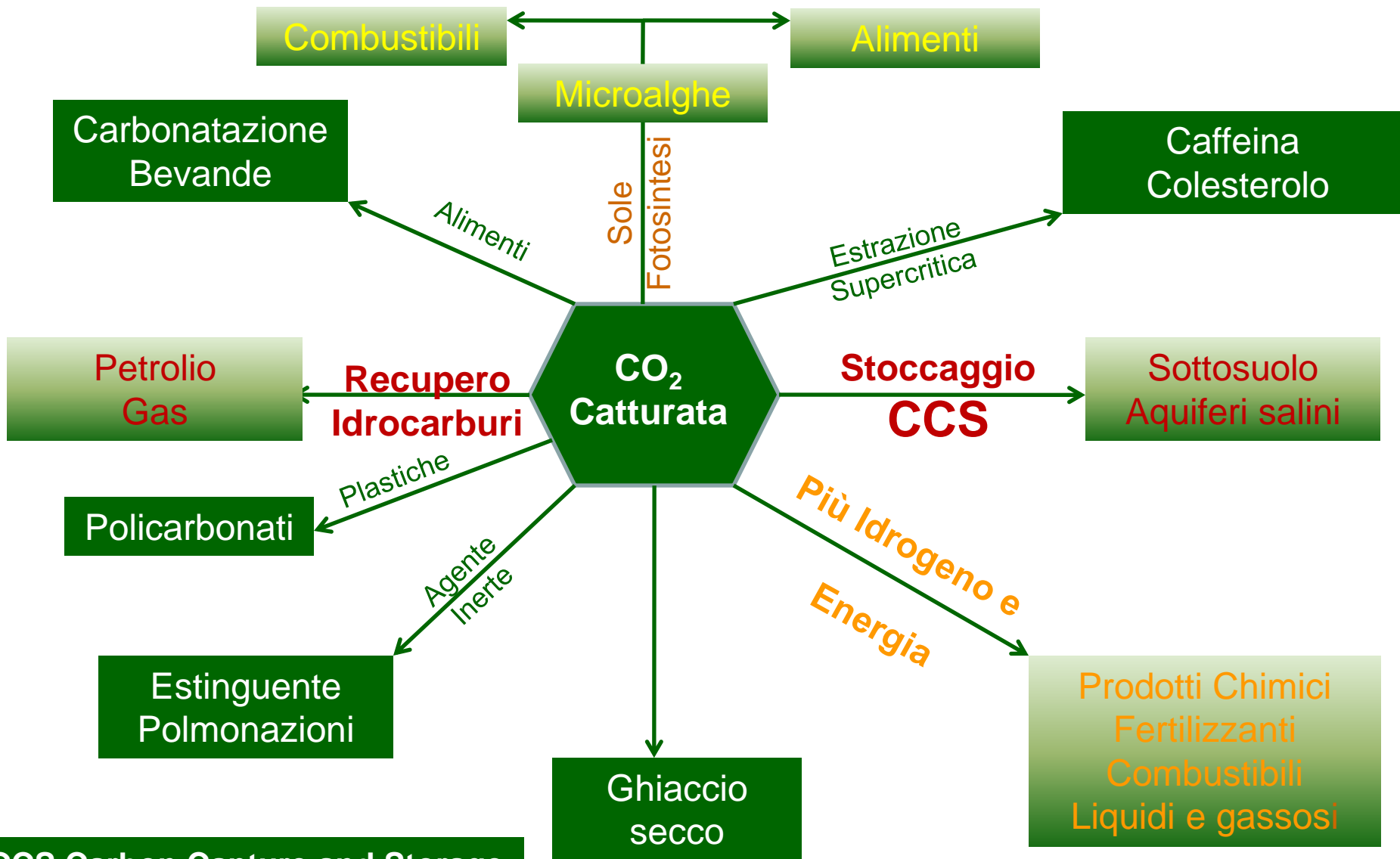


This document is indicative only. No representation or warranty is given or should be relied on. This will depend on the technical and commercial circumstances. It is prohibited without law or disclosure to third parties, without express written authority, to study prohibited.





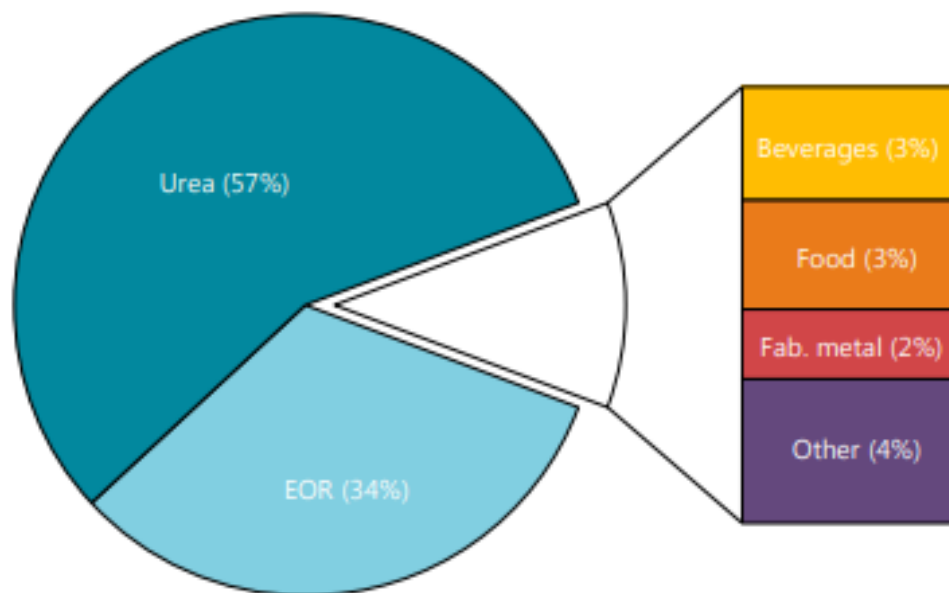
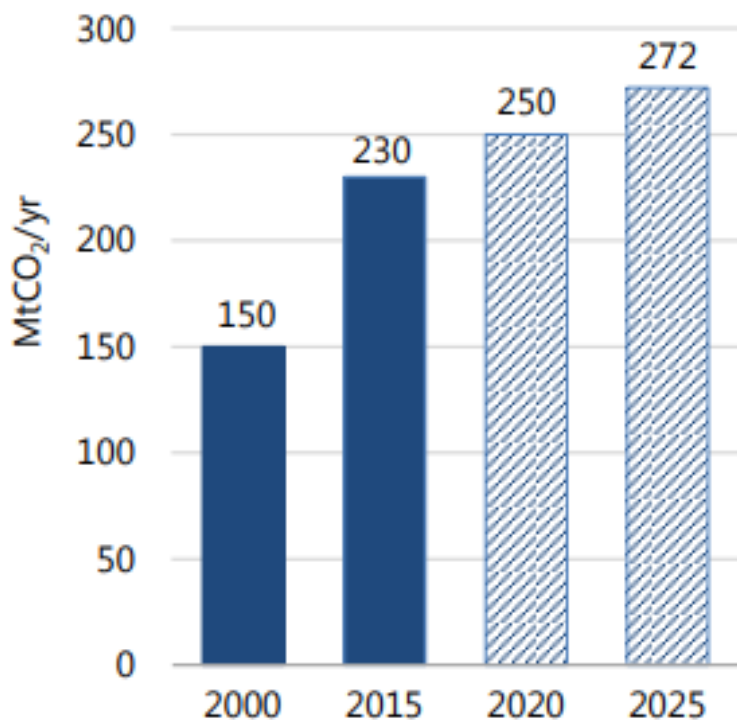
UTILIZZAZIONE CO₂



CCS Carbon Capture and Storage



USI ATTUALI DEL CO₂



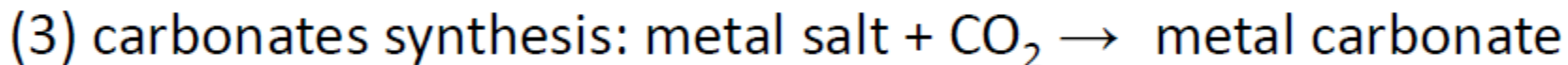
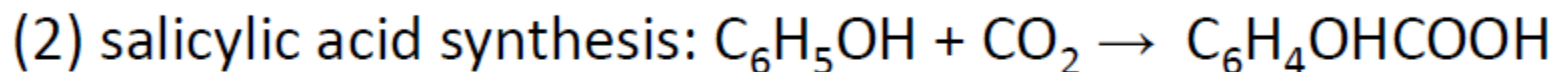
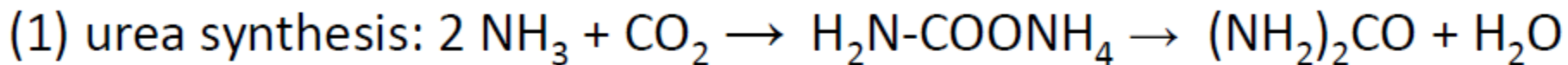
IEA. Putting CO₂ to use 2019, settembre 2019



OSTACOLI AL RIUTILIZZO

Carbon dioxide is a very stable molecule

To date, only a few industrial processes utilize CO₂ as reactant:



Energy must be supplied to drive the desired transformation

Option 1: highly reactive co-reagent + catalyst

Option 2: very high temperatures

Option 3: electricity / energy from photons

G. Visconti, L.Lietti. Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Università di Bari 31 Marzo 2017

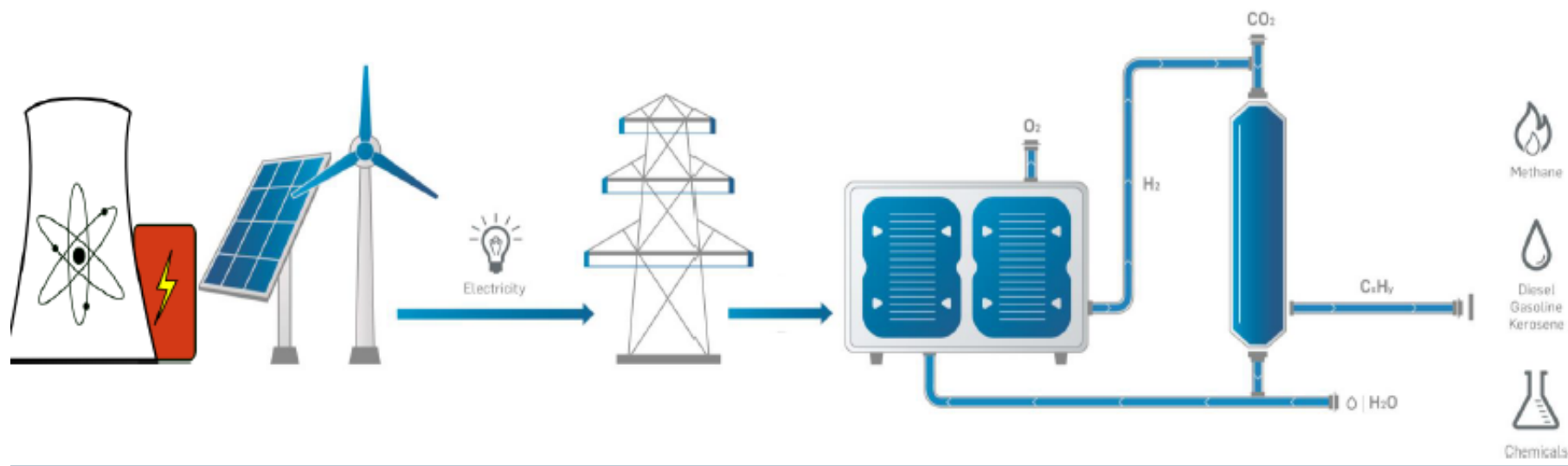


CO₂ e IDROGENO

H₂ production is energetically intensive!

In order to reduce global CO₂ emissions, the adoption of H₂ as coreactant for CO₂ reuse makes sense **only if** H₂ can be obtained using “excess” electric energy

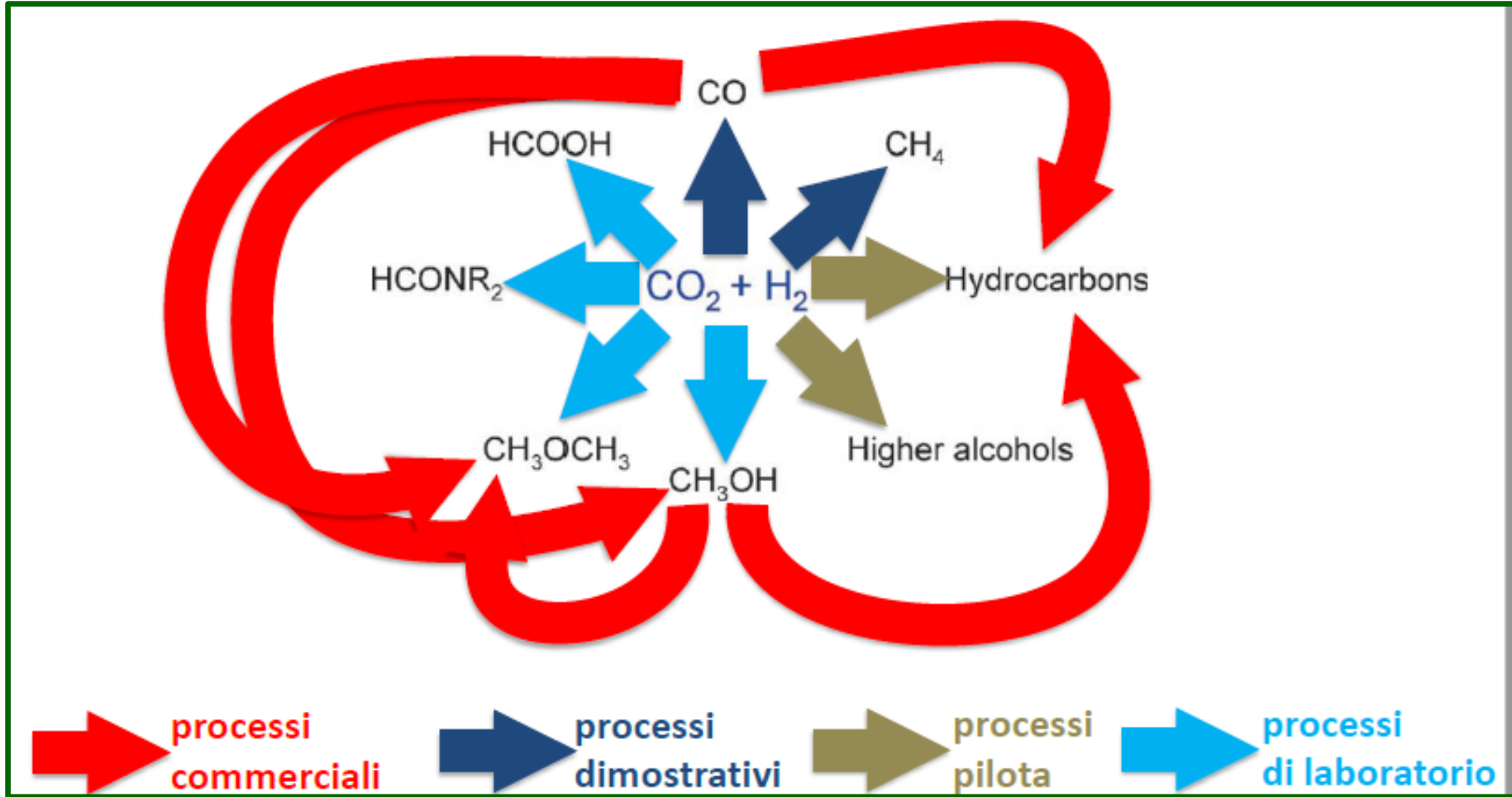
(eg. energy from renewables, nuclear power, “stranded” energy, etc.)



G. Visconti, L.Lietti. Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Università di Bari 31 Marzo 2017



TECNOLOGIE DI IDROGENAZIONE Livello di Sviluppo



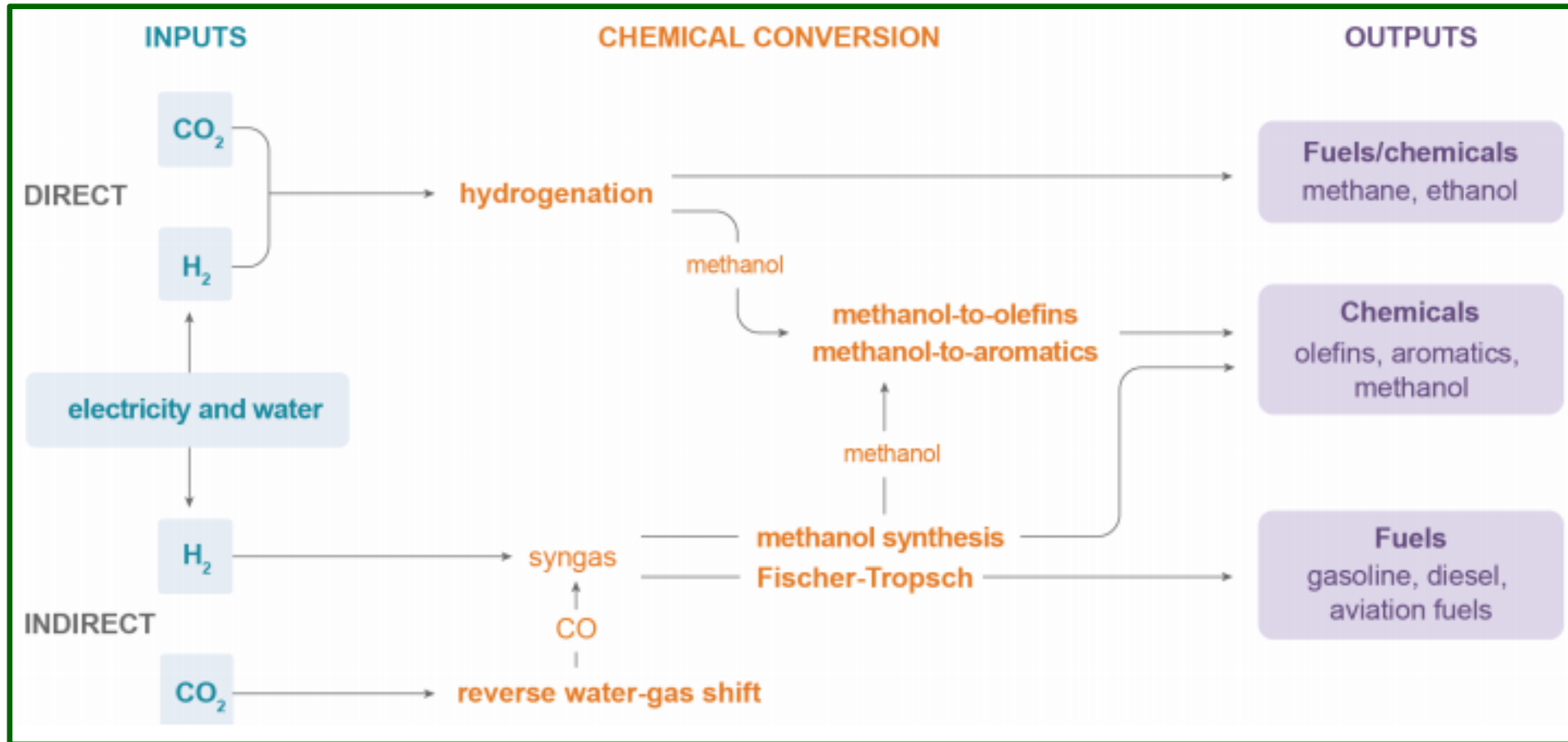
G. Visconti, Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Prima Conferenza CCSU Bari 4-5 Dic 2019



IDROGENAZIONE ASPETTI CRITICI

- ❖ Non sono disponibili catalizzatori commerciali (on shelf) per l'idrogenazione di correnti concentrate di CO_2
- ❖ Le cinetiche dei processi di idrogenazione ad alte concentrazioni di CO_2 spesso non sono disponibili
- ❖ I processi di idrogenazione sono spesso molto esotermici
- ❖ Sono richiesti reattori compatti, facilmente scalabili e flessibili (modulari e capaci di adattarsi ai frequenti cambiamenti di carico)

Conversione CO₂ in combustibili e prodotti chimici

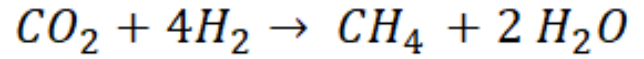


IEA. Putting CO₂ to use 2019, settembre 2019

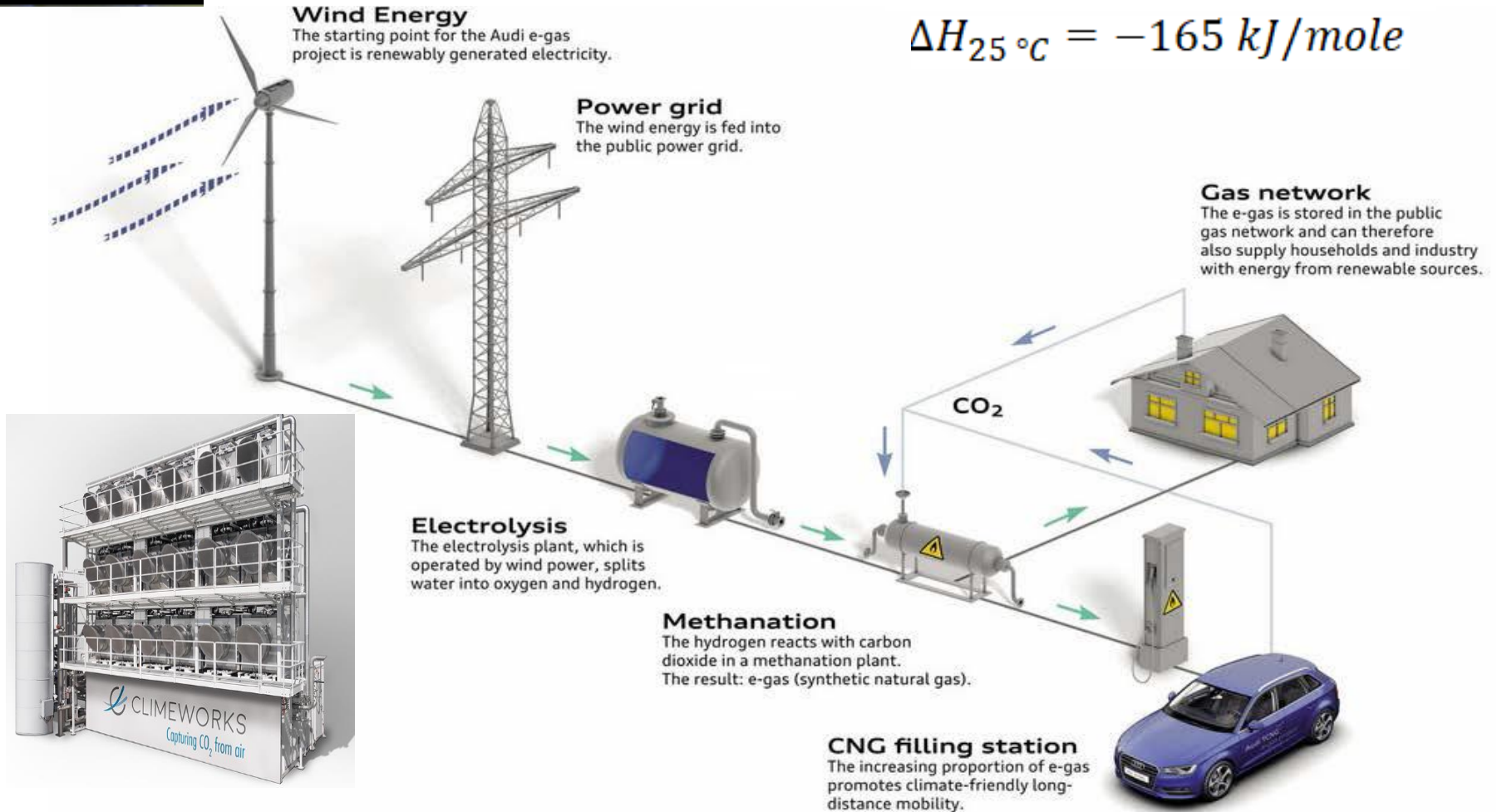


TECNOLOGIE DI IDROGENAZIONE Metano da CO2

Audi e-gas



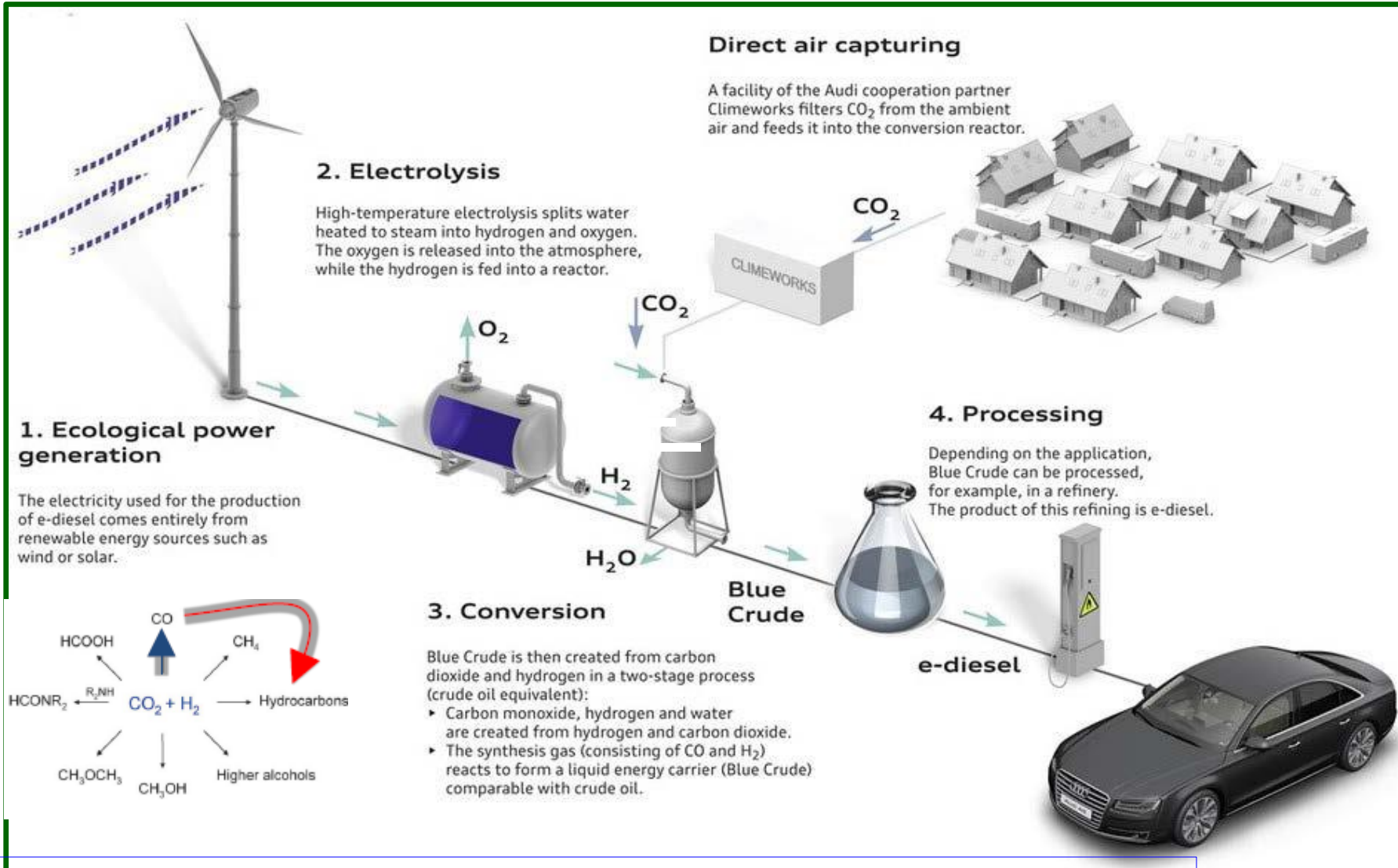
$$\Delta H_{25\text{ }^\circ\text{C}} = -165 \text{ kJ/mole}$$



G. Visconti, Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Prima Conferenza CCSU Bari 4-5 Dic 2019



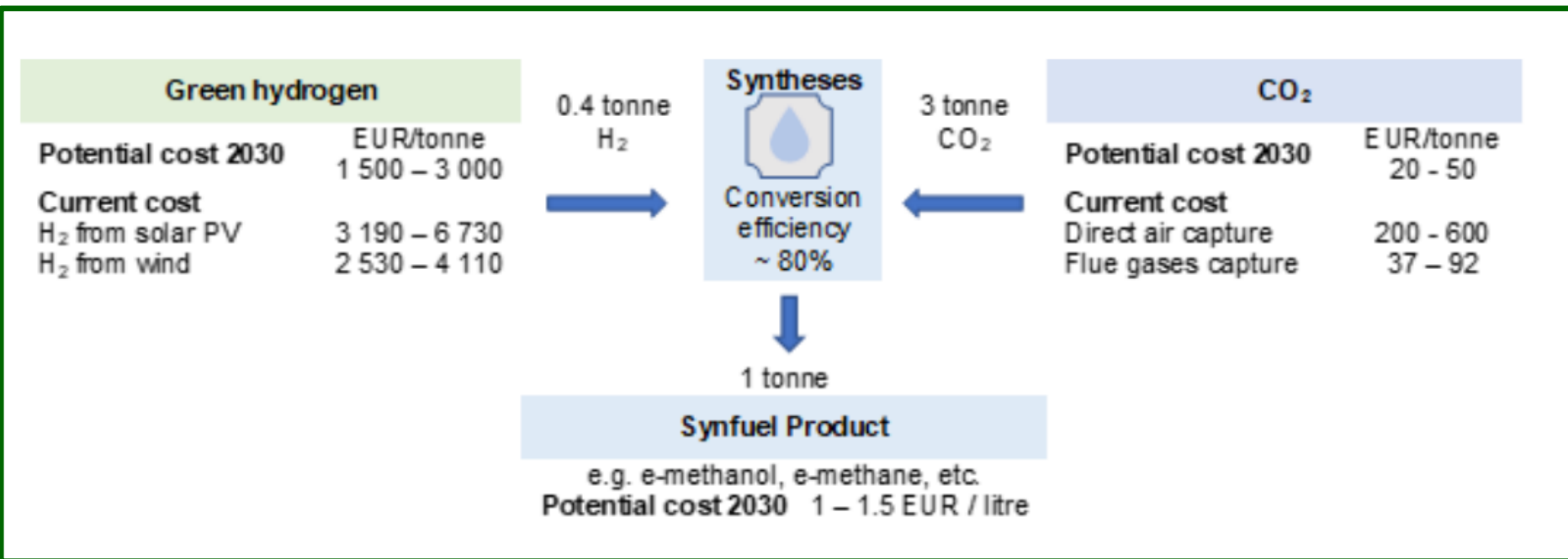
TECNOLOGIE DI IDROGENAZIONE Gasolio da CO2



G. Visconti, Politecnico di Milano. Dipartimento di Energia. Prima Conferenza CCSU Bari 4-5 Dic 2019



Costi di produzione Power-fuel



<https://energypost.eu/behaviour-change-covid-19-lockdown-kicks-open-the-door-to-a-net-zero-pathway/>

I costi di produzione del metanolo e del metano sono 5-7 volte superiori a quelli di origine fossile

La loro produzione è possibile solo quando è disponibile idrogeno rinnovabile a basso costo i.e. impianto George Olah in Islanda (metanolo)



TECNOLOGIE DI CARBONATAZIONE

INPUTS

CONVERSION

OUTPUTS

CO₂

Cement, aggregates *

carbonation during
concrete mixing

CO₂-cured concrete



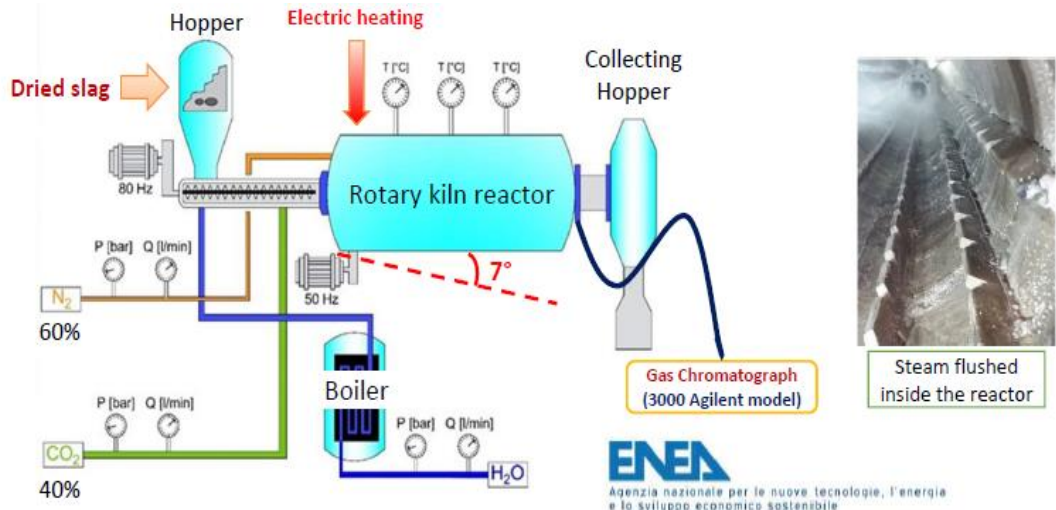
CO₂

Energy
electricity, heat

waste carbonation

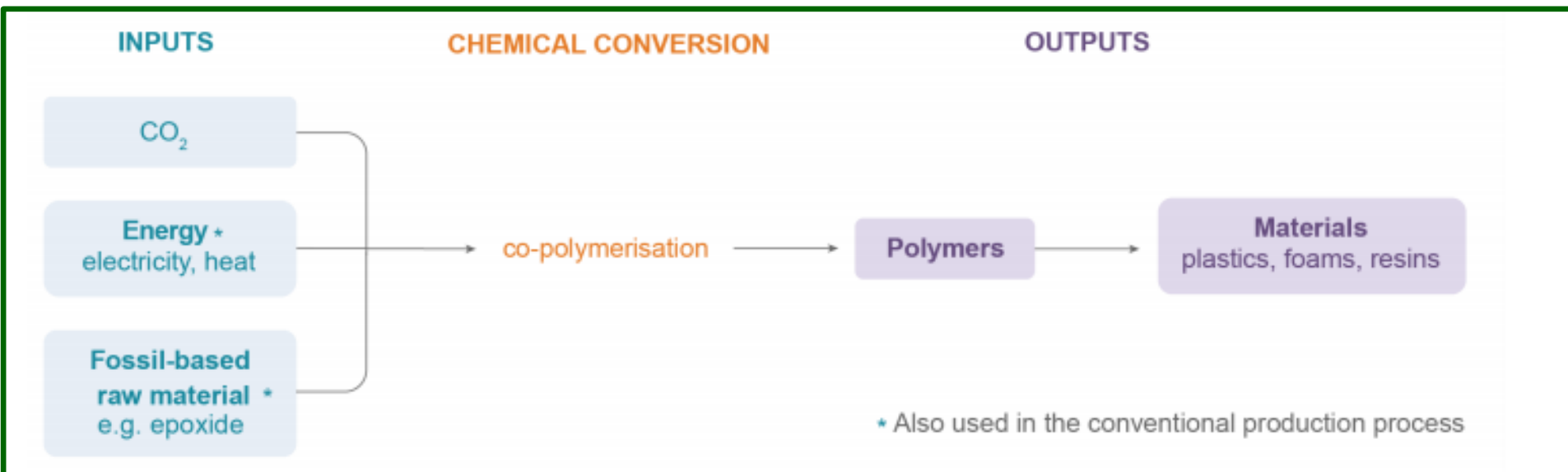
Building aggregates

Waste material
iron slag,
coal fly ash



IEA. Putting CO₂ to use 2019, settembre 2019

PRODOTTI CHIMICI DA CO₂



IEA. Putting CO₂ to use 2019, settembre 2019

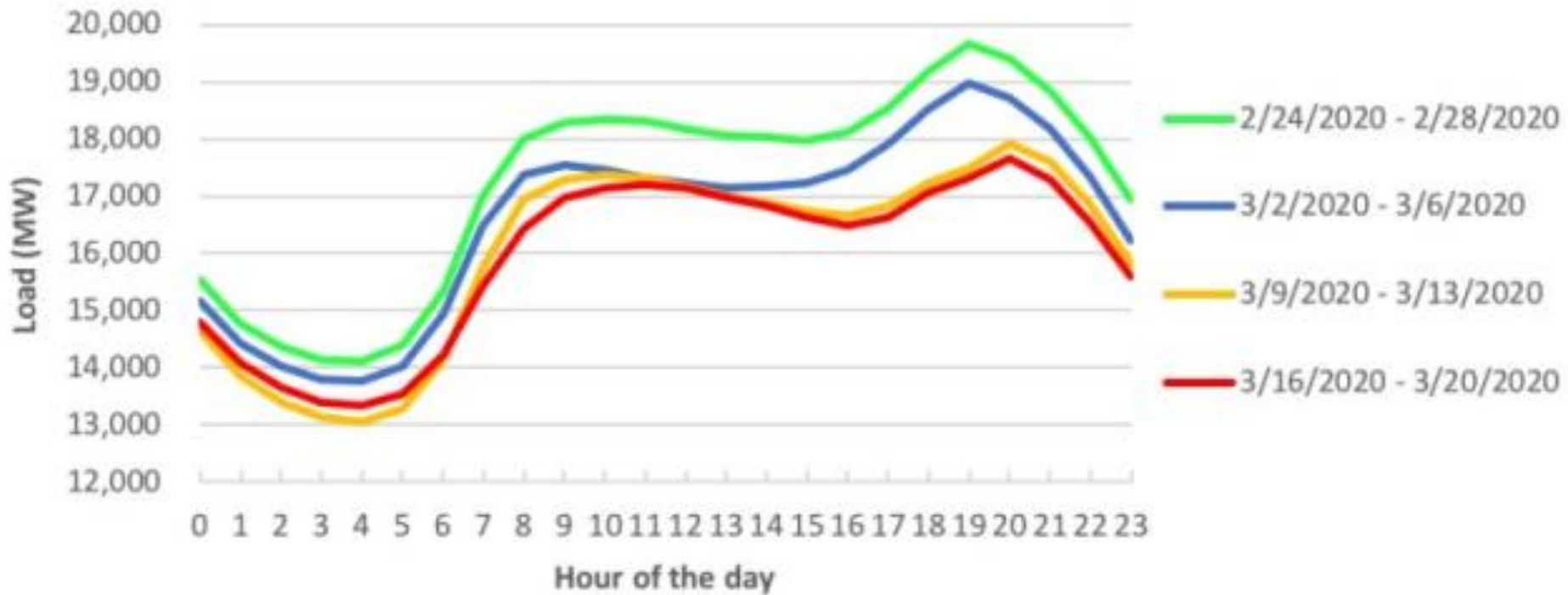


Post Corona Virus ?



CONSUMI ELETTRICI NEW YORK Feb. – Mar. 2020

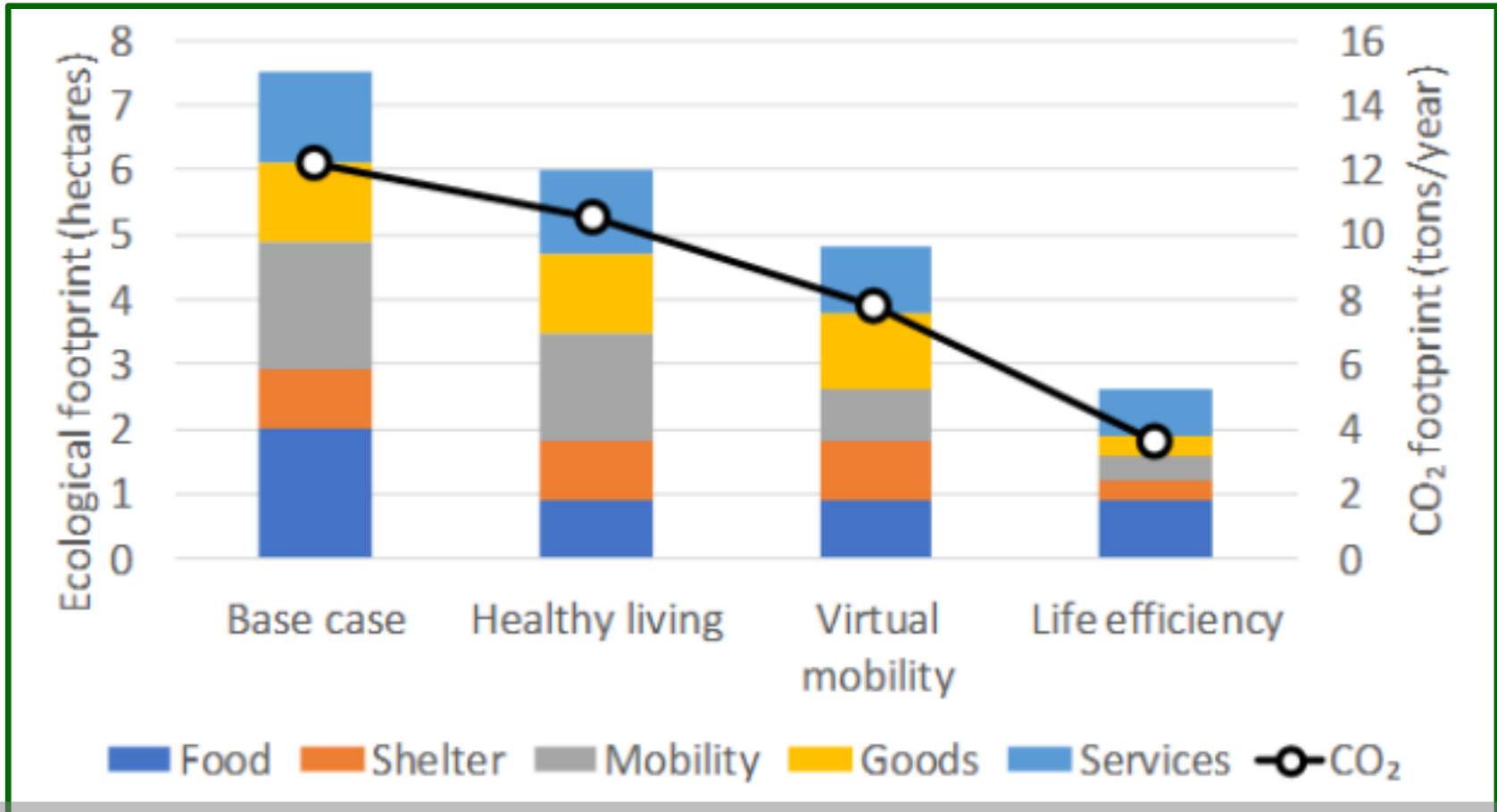
New York ISO Average Hourly Load



<https://energypost.eu/behaviour-change-covid-19-lockdown-kicks-open-the-door-to-a-net-zero-pathway/>



EFFETTI SULL'AMBIENTE DI DIVERSI STILI DI VITA

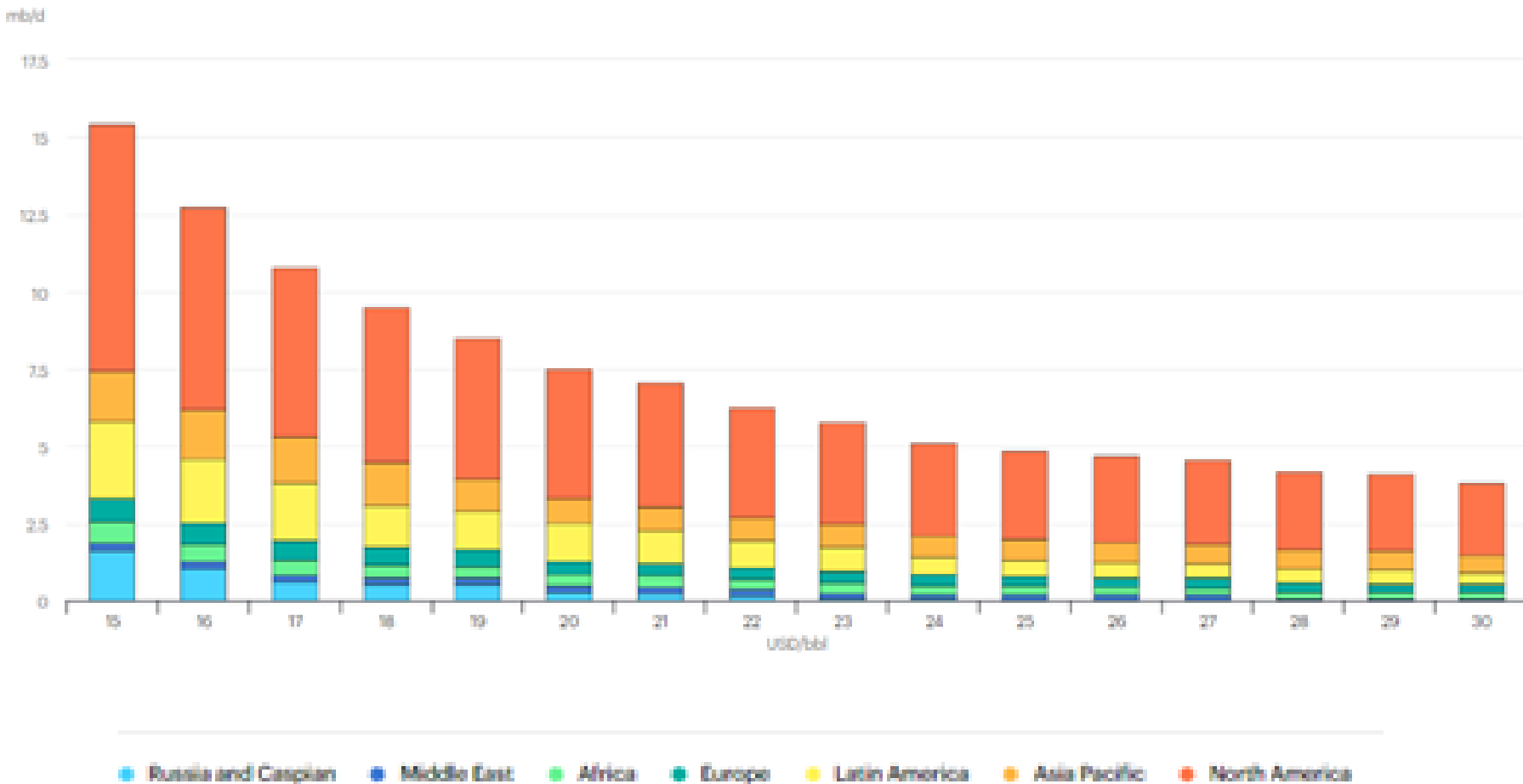


Caso Base: Tre persone, 250 m², stessi rapporti di carne bovina suina e pollame, macchina 15.000 Km/anno 50% condiviso consumo 50 MPG, 30 ore di volo ciascuno

<https://energypost.eu/behaviour-change-covid-19-lockdown-kicks-open-the-door-to-a-net-zero-pathway/>



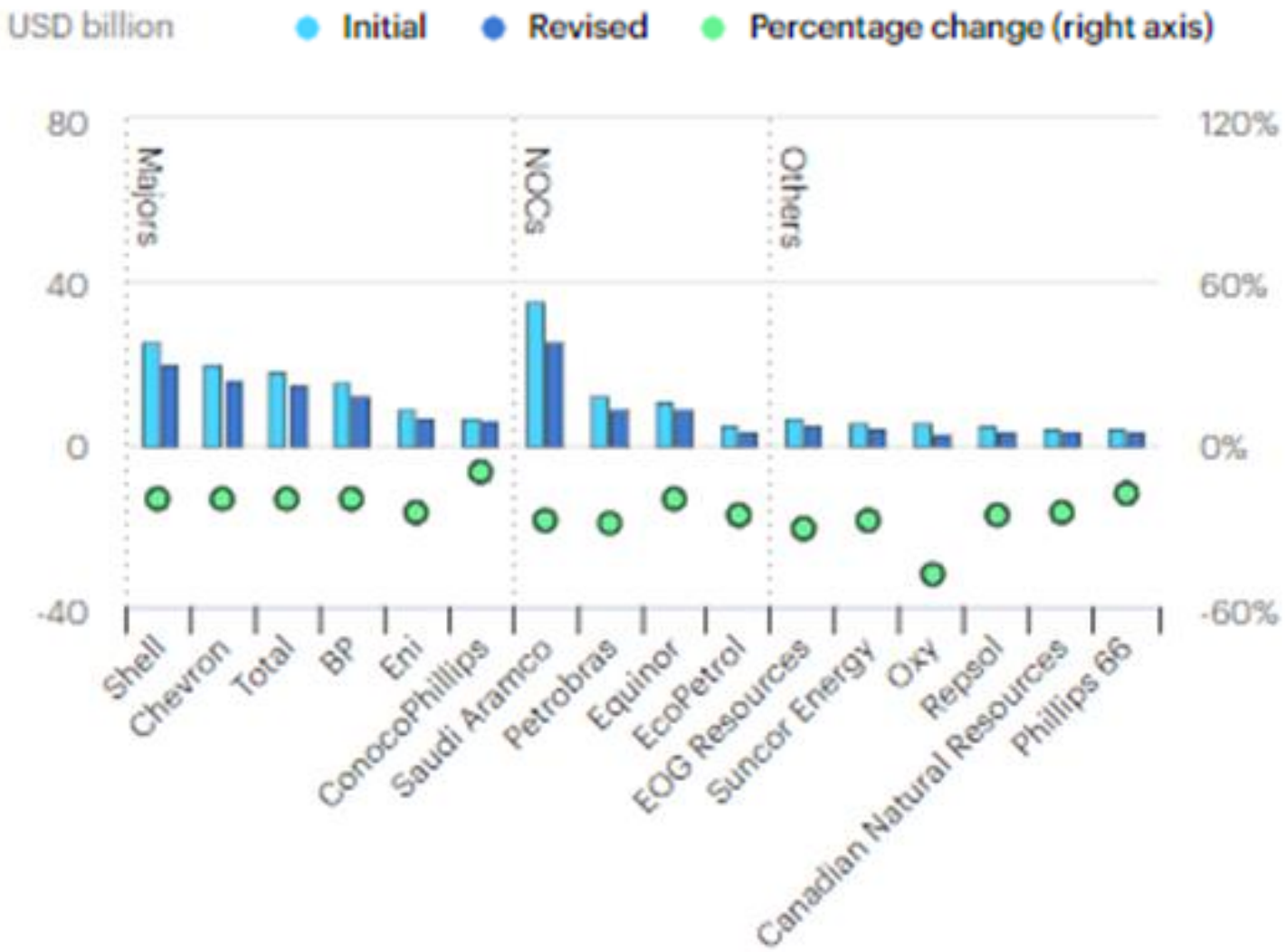
CAPACITA' ESTRATTIVA E PREZZO DEL PETROLIO



<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/location-of-oil-production-that-is-uneconomic-at-different-brent-prices-2020>



RIDUZIONE DEGLI INVESTIMENTI NEL SETTORE OIL & GAS 2020



<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/location-of-oil-production-that-is-uneconomic-at-different-brent-prices-2020>



NOTE CONCLUSIVE

- ❖ Poche sono le attuali opzioni economiche di utilizzo del CO₂ (mercato corrente, EOR, alcune materie plastiche)
- ❖ La diffusione delle rinnovabili può portare a disponibilità di idrogeno tali da favorire le tecnologie di CCU (Hydrogen Roadmap Europe)
- ❖ Fondamentali le iniziative di sostegno e i programmi di ricerca nel settore
- ❖ Il fattore più importante per la diffusione della CCS può essere individuato nell'andamento del mercato del CO₂
- ❖ Il post corona virus può portare a radicali cambiamenti degli scenari