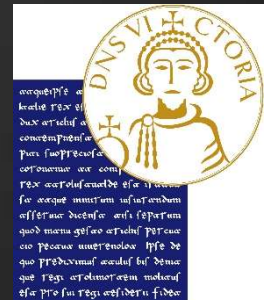


# Coronavirus e inquinamento

Francesco Pepe  
Dipartimento di Ingegneria, Università del Sannio

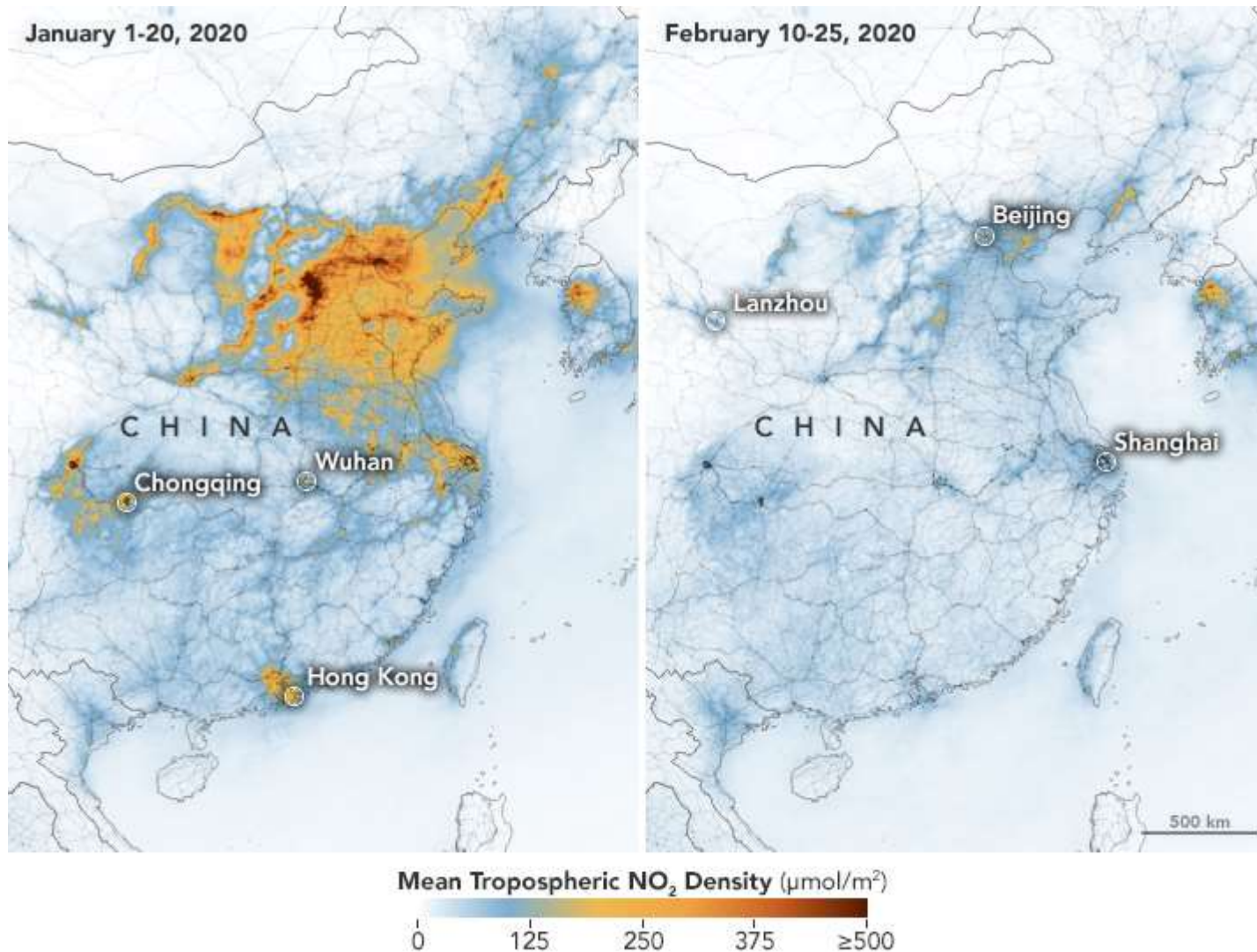


# Cosa ci insegna l'impatto del coronavirus sull'inquinamento?

La NASA ha recentemente rilasciato alcune immagini satellitari relative all'impatto del SARS-CoV-2 (e del COVID-19 che questo provoca) sull'inquinamento atmosferico in Cina

In particolare, è stata rilevata una significativa diminuzione della concentrazione di biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), un tipico inquinante atmosferico "spia" dei processi di combustione

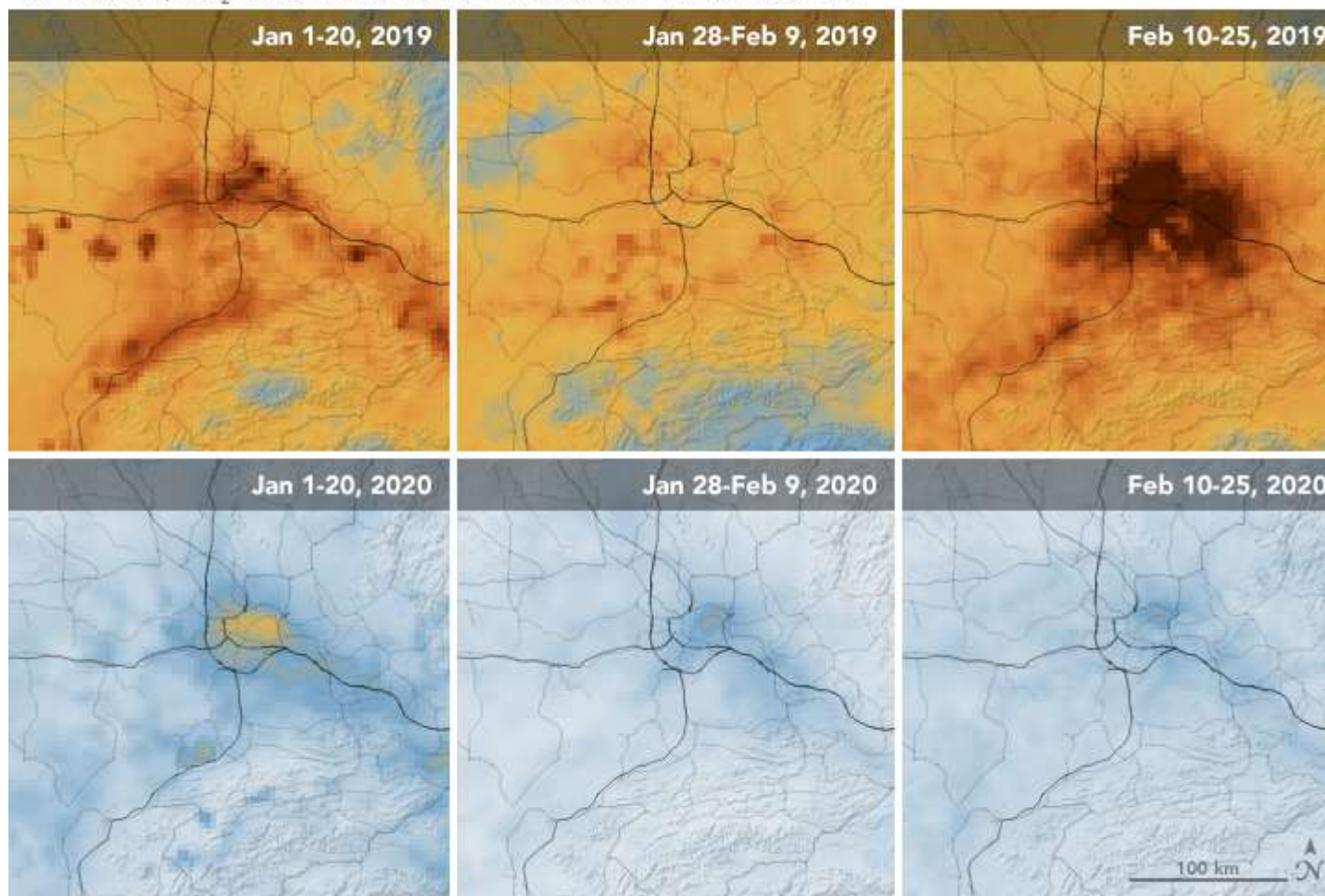
# Concentrazione di $\text{NO}_2$ sulla Cina centrale e orientale



# Dettaglio sull'area di Wuhan

## Pollutant Drops in Wuhan—and Does not Rebound

Unlike 2019, NO<sub>2</sub> levels in 2020 did not rise after the Chinese New Year.



Mean Tropospheric NO<sub>2</sub> Density ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ )

0 125 250 375  $\geq 500$

# Cosa è l'NO<sub>2</sub>?

L'NO<sub>2</sub> è un *inquinante secondario*: in massima parte deriva dalla reazione, catalizzata dalla radiazione UV, tra il monossido di azoto (NO) e l'ossigeno atmosferico:  $\text{NO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2$

È un gas irritante, ed è un precursore dello *smog fotochimico*: a temperature superiori a 18°C, la compresenza di NO<sub>2</sub> e COV porta alla formazione di sostanze fortemente irritanti

NO e NO<sub>2</sub> anche corresponsabili delle *piogge acide*: in atmosfera ossidati a N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, poi  $\text{N}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3$

# Cosa è l'NO<sub>2</sub>?

L'**NO** è il "vero" inquinante primario, e si forma durante i processi di combustione

- perché i processi di combustione producono *radicali liberi* che attaccano le molecole di azoto atmosferico (**N<sub>2</sub>**) ossidandole
- perché il combustibile contiene azoto (capita spesso con il carbone), che per effetto della combustione diventa NO
- perché alle temperature delle reazioni di combustione ( $T > 1200^\circ\text{C}$ ) azoto e ossigeno atmosferici reagiscono ( **$\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$** )

# Se diminuiscono le attività umane, diminuisce l'inquinamento

«*Quelle foto della NASA sulla Cina sono la dimostrazione che si può ridurre l'inquinamento*»: naturalmente è vero, ma il punto è (provare a) **tenere insieme tutela dell'ambiente e qualità della vita**

**Poco sviluppo sicuramente porta anche poco inquinamento, ma porta anche minori disponibilità di beni e servizi**

**L'ambiente è salvo (forse), ma si finisce con il morire giovani, e di malattie altrimenti banali**

# Sostenibilità ambientale

Un sentiero stretto: continuare a far migliorare le condizioni di vita dell'umanità nel suo complesso senza intaccare le risorse disponibili per le generazioni future

E naturalmente è una questione assai più ampia di quella ambientale: l'ONU ha fissato 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, dandosi come scadenza temporale il 2030



# Sostenibilità ambientale

## THE GLOBAL GOALS

OBIETTIVI GLOBALI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

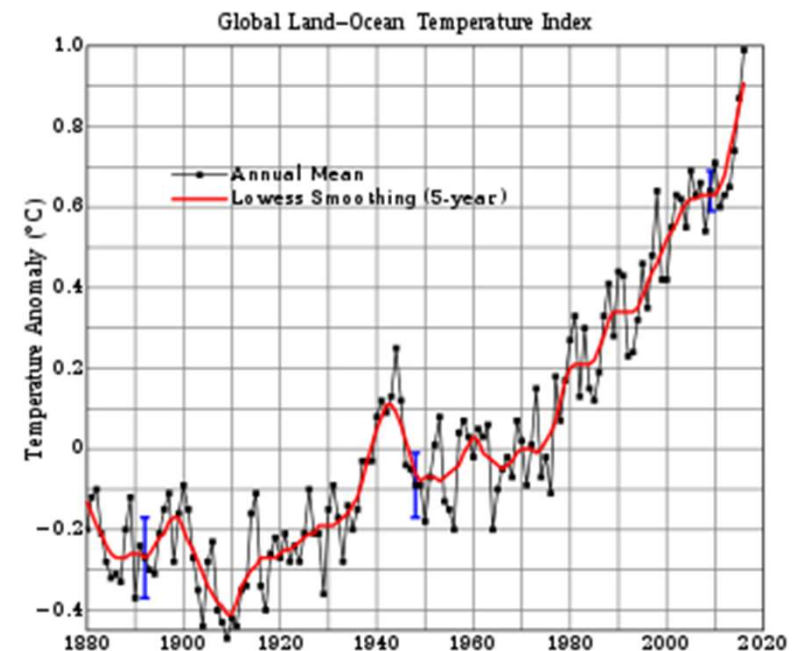


# Sostenibilità & cambiamento climatico

Il cambiamento climatico (il riscaldamento globale) è un'evidenza sotto gli occhi di ognuno

Conseguenze (possibili, previste, "sicure" ecc.):

- aumento della frequenza di eventi metereologici "estremi"
- innalzamento del livello del mare
- alterazioni irreversibili di ecosistemi
- alterazione di equilibri socioeconomici



Andamento della temp. media al suolo globale dal 1880 (fonte: Wikipedia)

# Cambiamento climatico

E' un'evidenza sotto gli occhi di ognuno, ma non siamo tutti uguali, come rilevarono alcuni *purtualli* (arance, in dialetto napoletano) quando, naufragata la nave che li trasportava, si trovarono a galleggiare con altri oggetti meno nobili di loro

Il Messaggero, quotidiano italiano a diffusione nazionale, ed. del 5/1/2019



# Cambiamento climatico

## Non siamo tutti uguali... (II)



In the East, it could be the COLDEST New Year's Eve on record. Perhaps we could use a little bit of that good old Global Warming that our Country, but not other countries, was going to pay TRILLIONS OF DOLLARS to protect against. Bundle up!

01:01 - 29 dic 2017

100.923 45.602 137.384



This very expensive GLOBAL WARMING bullshit has got to stop. Our planet is freezing, record low temps, and our GW scientists are stuck in ice



The concept of global warming was created by and for the Chinese in order to make U.S. manufacturing non-competitive.



**Donald J. Trump** ✓ @realDonaldTrump · 14h

In the beautiful Midwest, windchill temperatures are reaching minus 60 degrees, the coldest ever recorded. In coming days, expected to get even colder. People can't last outside even for minutes. What the hell is going on with Global Warming? Please come back fast, we need you!

77K 33K 137K



**Frances Fisher** ✓  
@Frances\_Fisher

Follow

Replying to @realDonaldTrump

It's called Climate Change you a**sshole**.

11:35 AM - 29 Jan 2019

1 Retweet 9 Likes



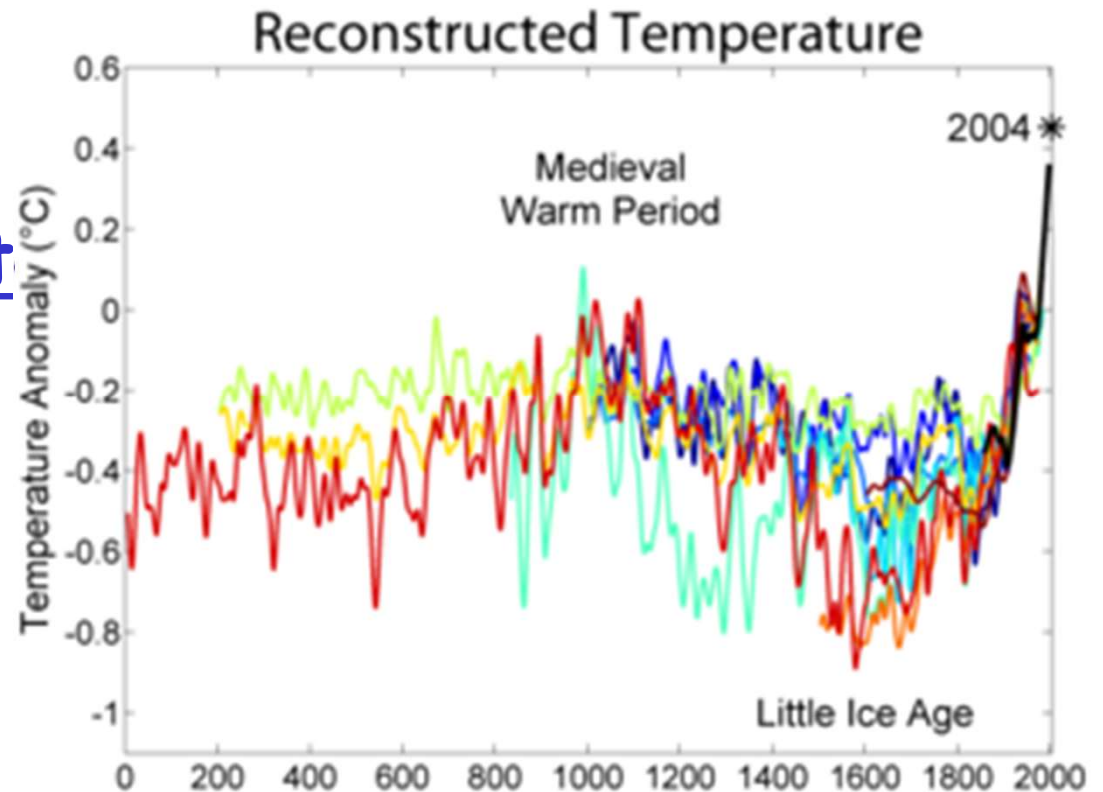
2 1 9

# Origini del cambiamento climatico

Non è la prima volta che il clima cambia, ma questa volta sembra star cambiando più velocemente e più significativamente

Nonostante la climatologia sia una scienza estremament complessa, esiste un largo consenso<sup>(\*)</sup> sull'origine antropica del cambiamento climatico odierno

(\*): pochi scettici



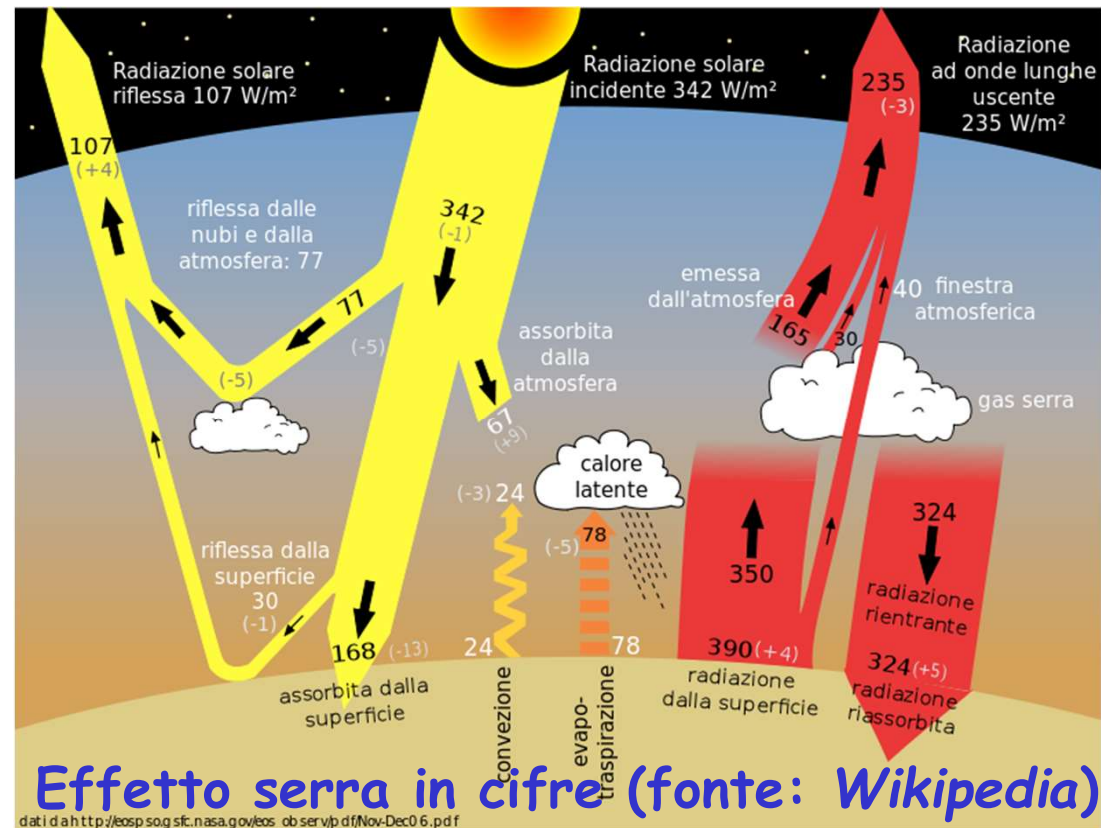
Stima dell'andamento della temp. media al suolo dallo 0 d.C. (fonte: *Wikipedia*)

# Effetto serra

Se l'origine del riscaldamento globale è antropica, allora il meccanismo è un'alterazione dell'effetto serra

L'effetto serra (il cui principale responsabile è il vapor d'acqua) esiste naturalmente

Temperatura media della terra:  $+15^{\circ}\text{C}$   
senza E.S.:  $-18^{\circ}\text{C}$



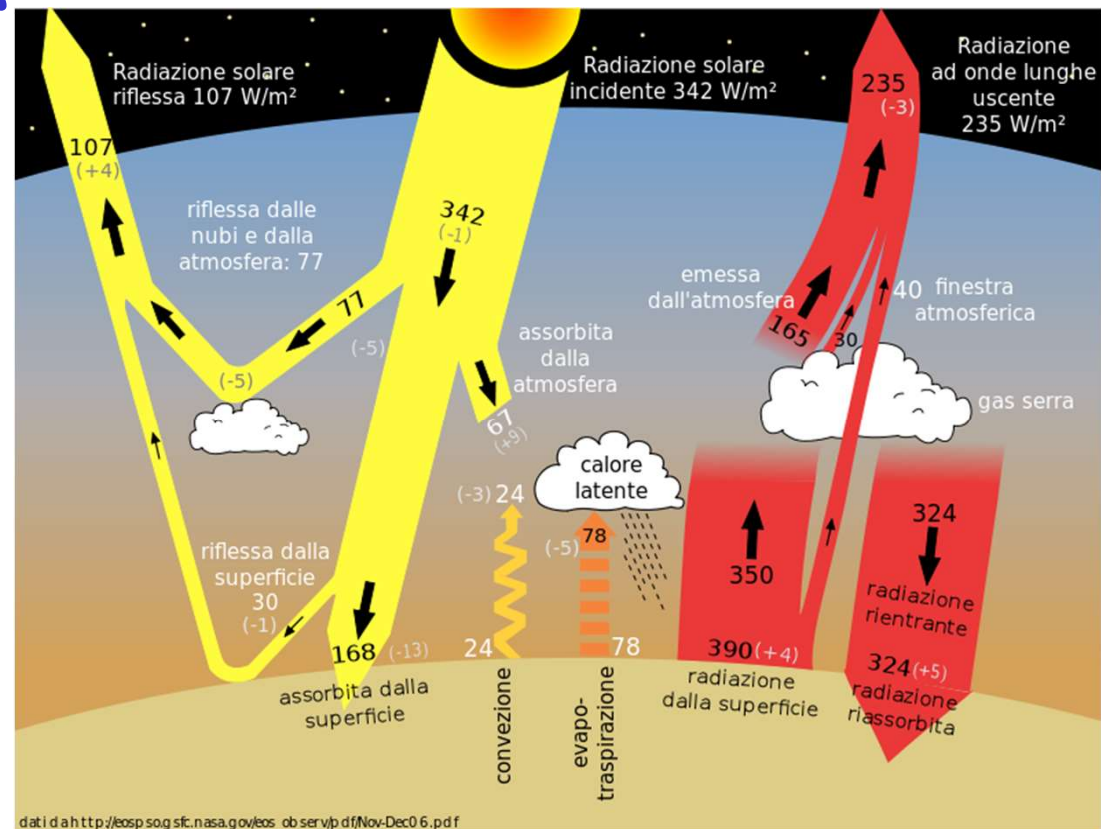
"Peso" dell'Effetto Serra:  $+33^{\circ}\text{C}!!$

# Effetto serra

Principali gas serra: H<sub>2</sub>O (36-70%);  
CO<sub>2</sub> (9-26%); CH<sub>4</sub> (4-9%); O<sub>3</sub> (3-7%)

Altri gas importanti:  
N<sub>2</sub>O, gas fluorurati

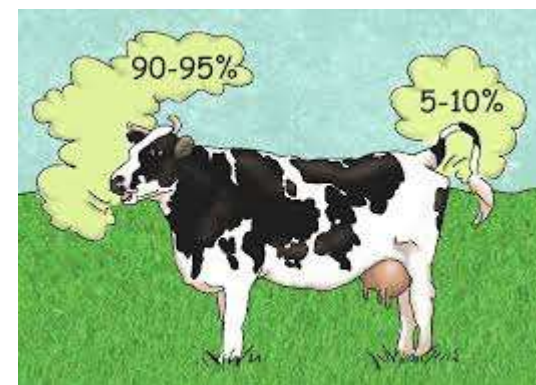
Notare gli intervalli delle stime elencate sopra (incertezza enorme) e il fatto che si sta parlando di anomalie di 0.5-1°C su ~33°C (incertezza enorme)



# Effetto serra

Principali attività antropiche responsabili dell'incremento dell'effetto serra:

- produzione di energia (emissioni di  $CO_2$ , rilasci indesiderati di  $CH_4$ )
- agricoltura (processi fermentativi, emissioni da animali di allevamento)
- gestione del suolo (riduzione dell'area adibita a foreste e sostituzione con aree agricole)
- gestione di rifiuti (fermentazioni in discariche)





# Effetto serra

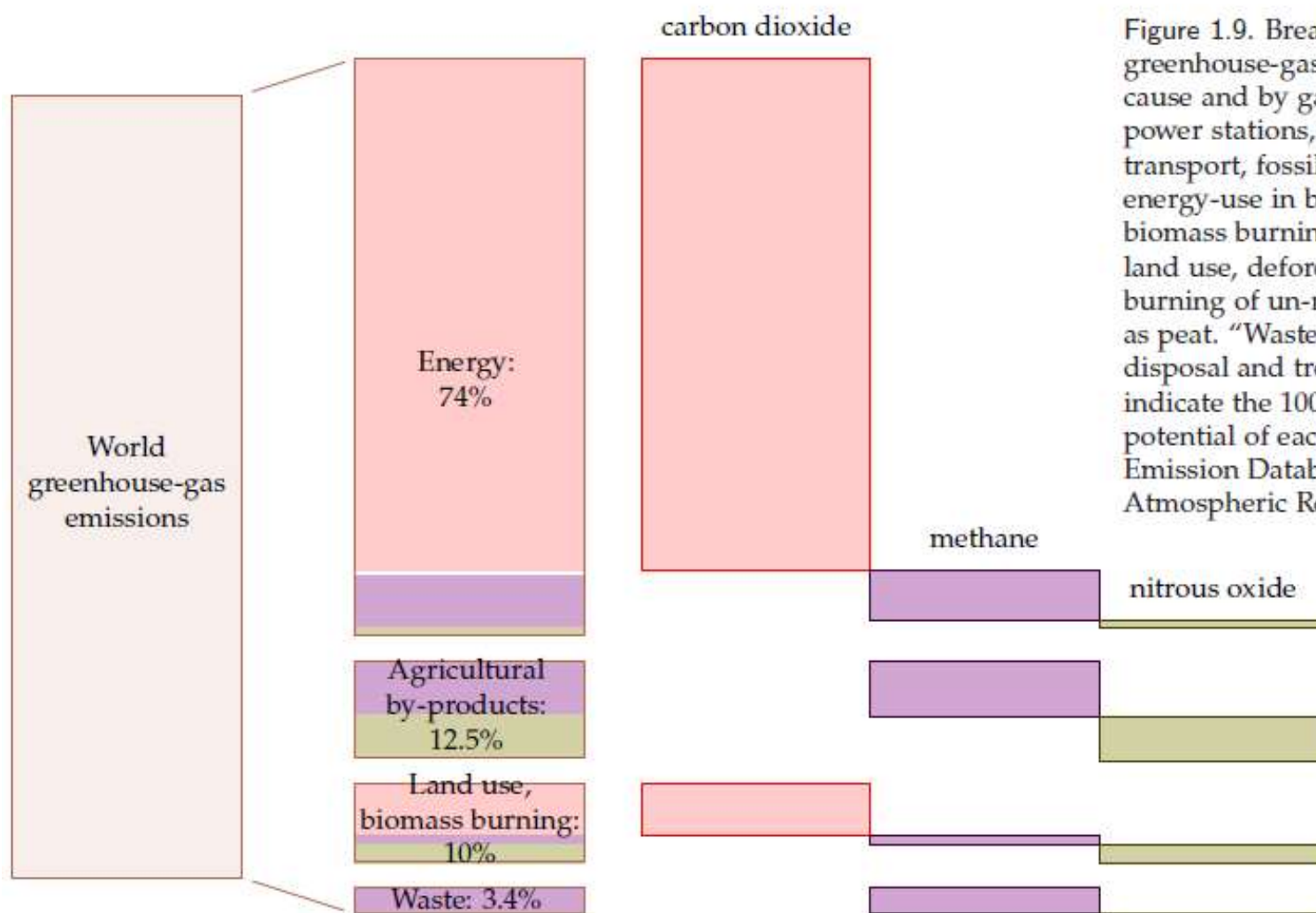


Figure 1.9. Breakdown of world greenhouse-gas emissions (2000) by cause and by gas. "Energy" includes power stations, industrial processes, transport, fossil fuel processing, and energy-use in buildings. "Land use, biomass burning" means changes in land use, deforestation, and the burning of un-renewed biomass such as peat. "Waste" includes waste disposal and treatment. The sizes indicate the 100-year global warming potential of each source. Source: Emission Database for Global Atmospheric Research.

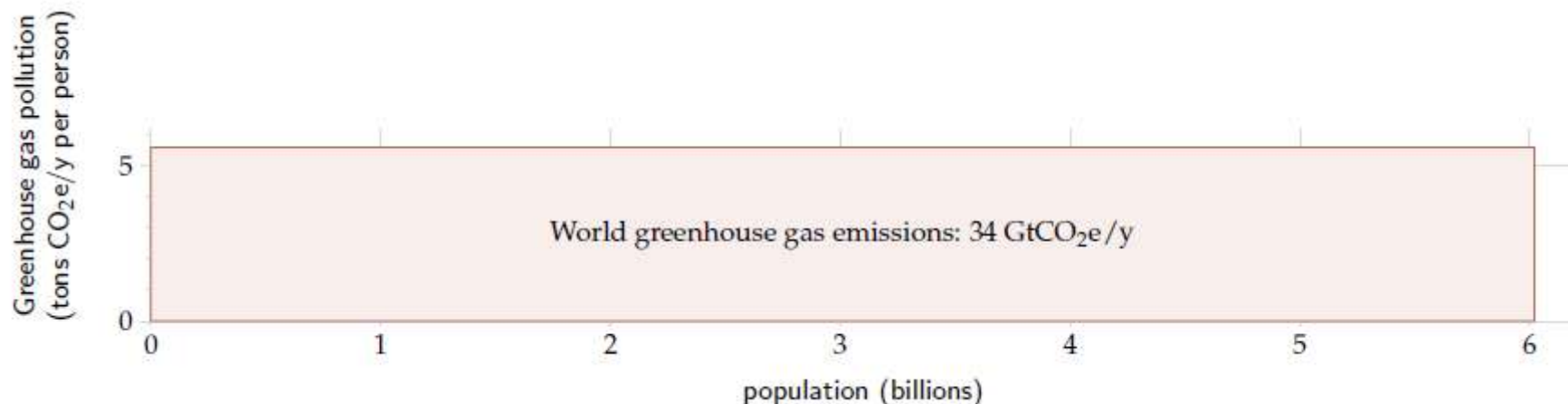
Fonte: D.J.C. MacKay, *Sustainable Energy - Without the Hot Air* (2009), [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com), in seguito: SEWTHA

# Contributi all'effetto serra

Fonte: SEWTHA

Quanti gas serra emettiamo (indirettamente: consumando energia, consumando prodotti agricoli ecc.)? In media, nel mondo ca.  $5000 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{anno} \cdot \text{persona}$

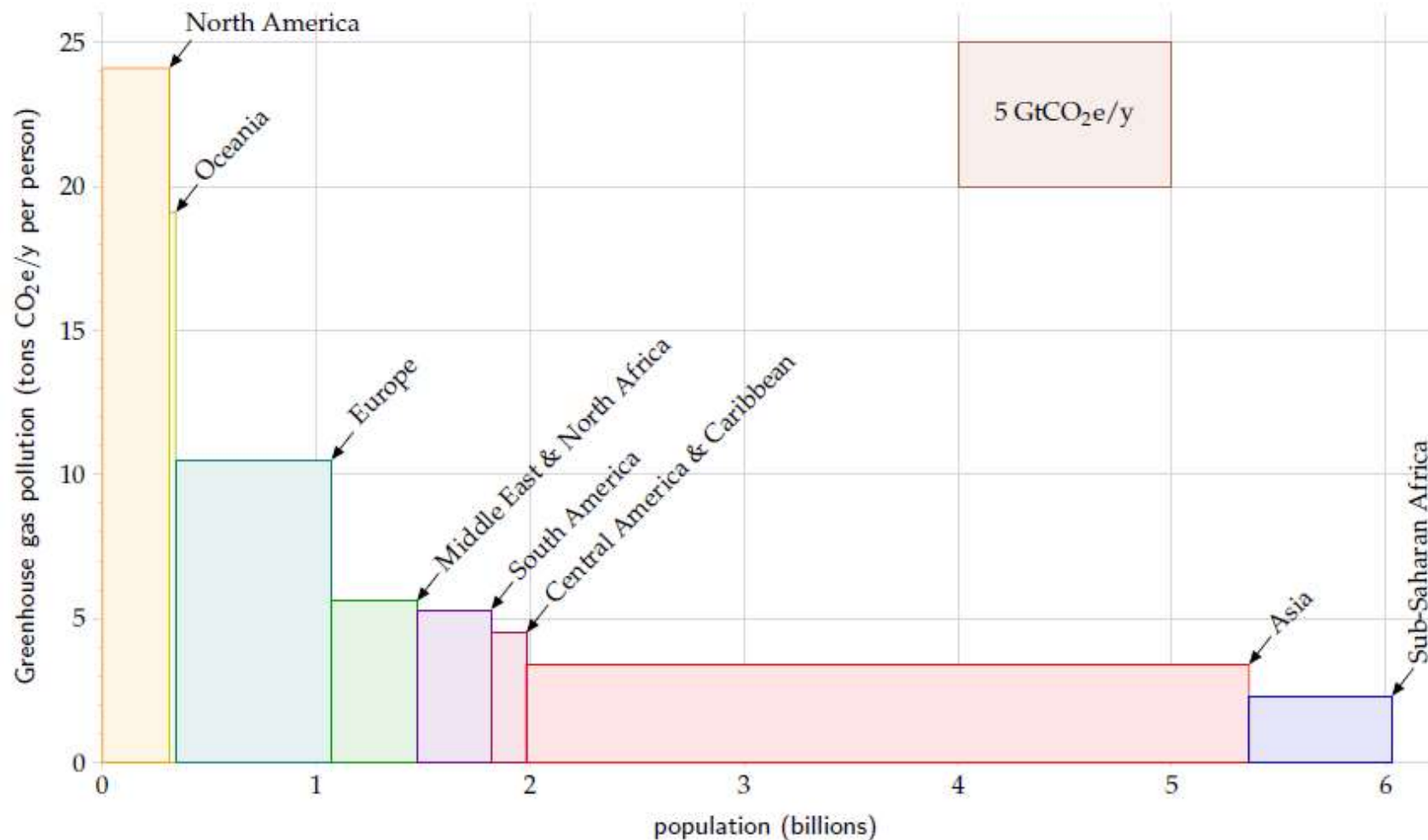
"e" sta per "equivalente":  
per esempio, in termini di effetto serra  
1 kg di  $\text{CH}_4$  equivale a 34 kg di  $\text{CO}_2$



# Contributi all'effetto serra

Fonte: SEWTHA

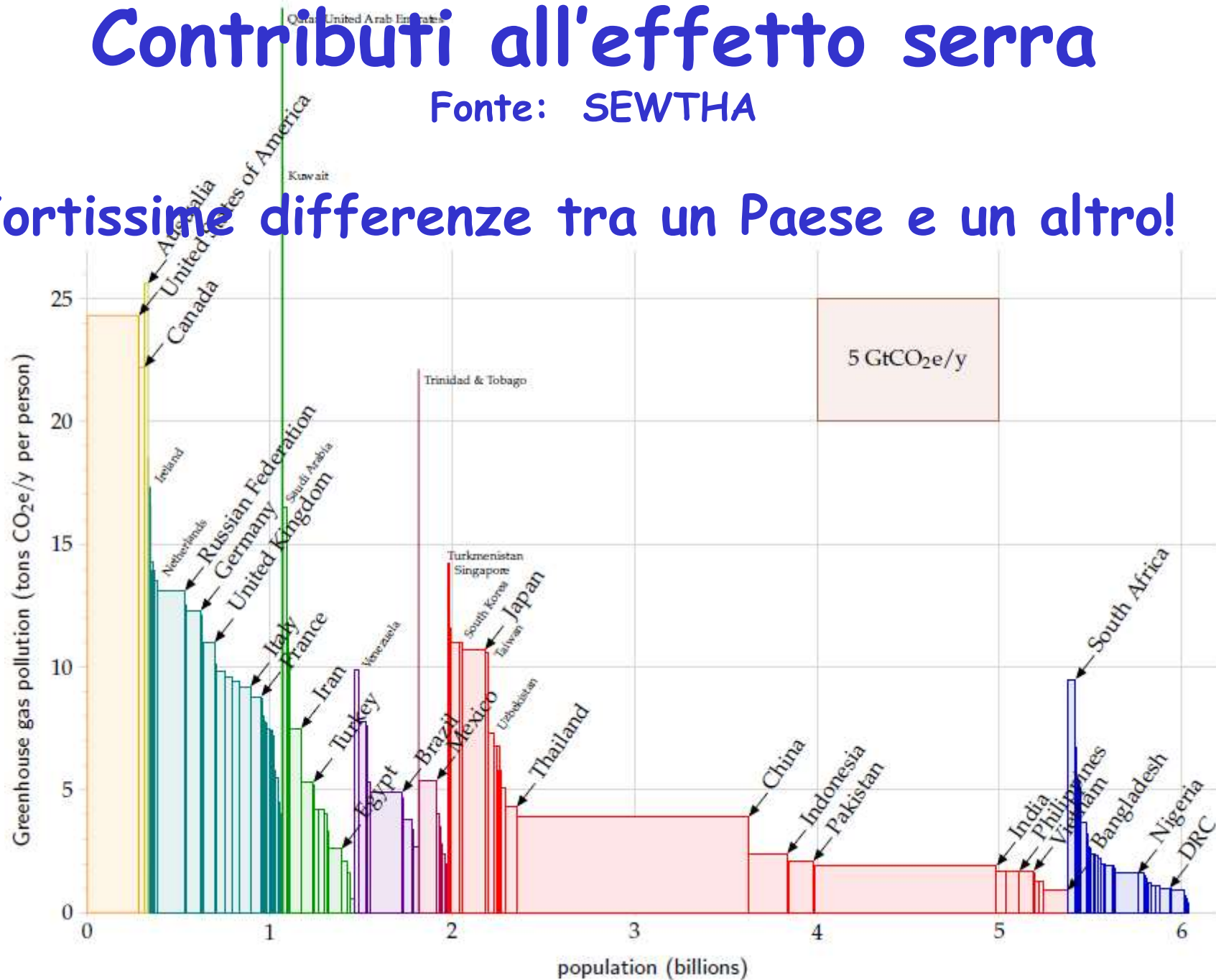
Fortissime differenze tra un Paese e un altro!



# Contributi all'effetto serra

Fonte: SEWTHA

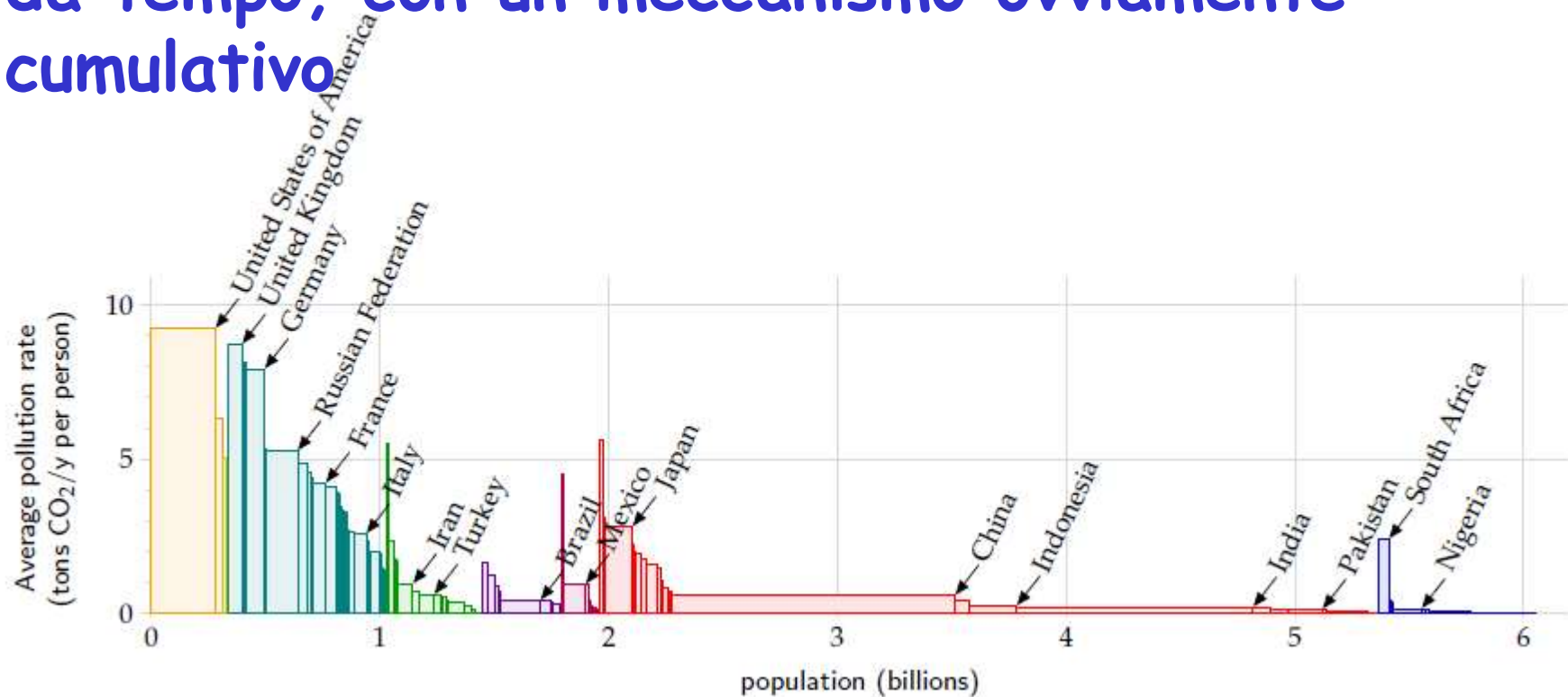
Fortissime differenze tra un Paese e un altro!



# Contributi cumulativi all'effetto serra

Fonte: SEWTHA

E' opportuno non dimenticare che i Paesi industrializzati contribuiscono all'effetto serra da tempo, con un meccanismo ovviamente cumulativo



# Bilancio energetico italiano

Fonte: Min. Svil. Econ., <http://dgsaie.mise.gov.it/ben.php>

**Consumi energetici 2017: 170 Mtoe**

**Consumi: Industria: 16.0%**

**Trasporti: 22.9%**

**Civile: 28.2%**

**Agricoltura: 1.7%**

**Usi non energetici: 3.3%**

**Bunkeraggi (comb. navi): 1.5%**

**Consumi e perdite settore energ.:  
26.0%**

**toe: tonnellata di petrolio (oil) equivalente**

**1 toe =  $10^7$  kcal = 11.6 MWh; 1 Mtoe =  $10^6$  toe**

# Bilancio energetico italiano

Fonte: Min. Svil. Econ., <http://dgsaie.mise.gov.it/dgerm/ben.asp>

Consumi energetici 2017: 170 Mtoe

Fonti:

- Combustibili solidi: 6.1%
- Gas naturale: 36.3%
- Petrolio: 34.0%
- Rinnovabili: 18.7%
- Elettrico (importato): 4.9%

toe: tonnellata di petrolio (*oil*) equivalente  
1 toe =  $10^7$  kcal = 11.6 MWh; 1 Mtoe =  $10^6$  toe

# Bilancio energetico italiano

Fonte: Min. Svil. Econ., <http://dgsaie.mise.gov.it/dgerm/ben.asp>

Consumi energetici 2015: 170 Mtoe

Rinnovabili (31.7 Mtoe, 18.7%):

Eolico + Fotovoltaico: 5.47%

Idroelettrico: 4.70%

Legna: 4.10%

Biomassa per elettricità: 2.12%

Rifiuti: 0.85%%

Geotermico: 0.81%

Biodiesel 0.63%

toe: tonnellata di petrolio (*oil*) equivalente

1 toe =  $10^7$  kcal = 11.6 MWh; 1 Mtoe =  $10^6$  toe



# Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

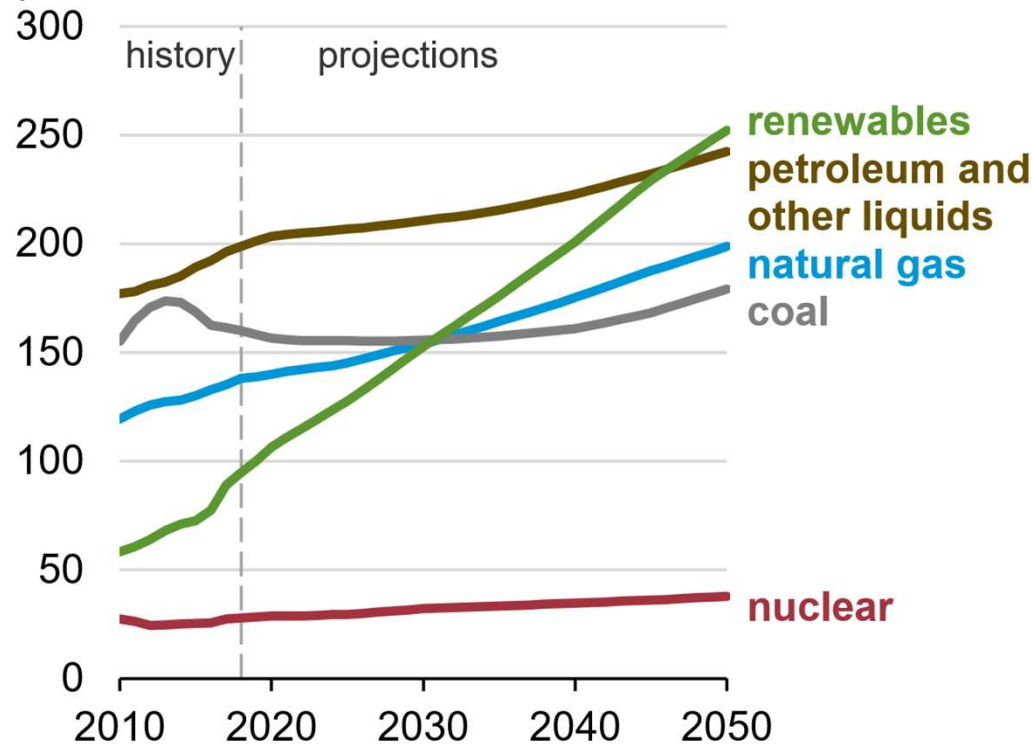
Verosimilmente occorrerà adottare una pluralità di strategie:

- Ridurre i consumi, aumentare l'efficienza (ma i consumi aumentano)
- Incrementare l'uso delle fonti rinnovabili (ma la disponibilità non è tantissima, se si eccettua il solare termodinamico nei deserti)
- Incrementare il ricorso al nucleare (NON è una fonte rinnovabile, e pone seri problemi: sicurezza, rischio di proliferazione nucleare, gestione delle scorie)

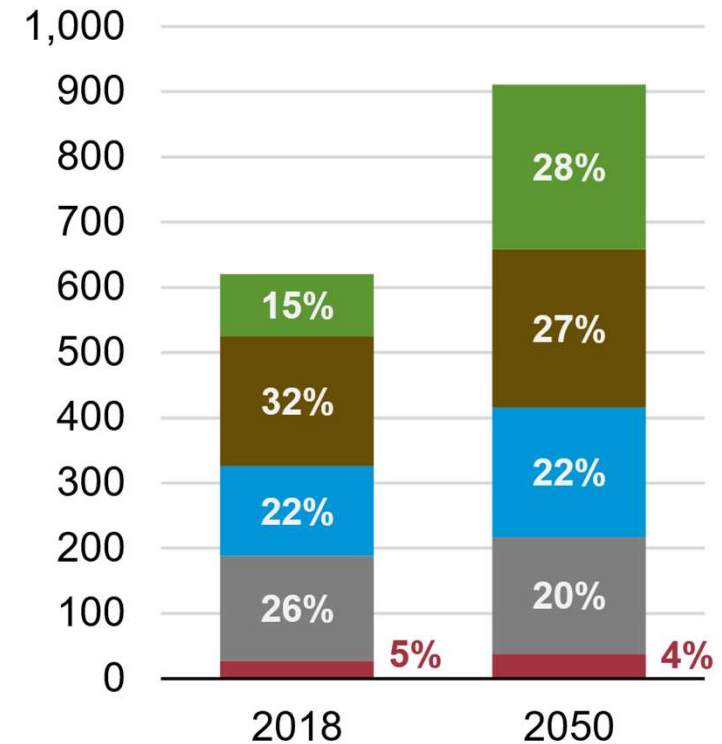
# Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

Global primary energy consumption by energy source (2010-2050)

quadrillion British thermal units



quadrillion British thermal units



Problema addizionale: a parte le emissioni di CO<sub>2</sub>, le riserve delle fonti fossili (e le fonti nucleari) tendono ad esaurirsi...

# Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

Verosimilmente nel futuro prossimo (alcuni decenni) un ruolo centrale continuerà ad essere giocato dalle fonti fossili

A livello globale le fonti fossili pesano per l'**80%** del totale, oggi come 25 anni fa

Si stima che nel 2050 il peso scenderà al **69%**: valore inferiore, ma non di molto

Scenario verosimile:

- 1) Si continueranno ad usare fonti fossili
- 2) Se ne scoraggerà l'uso (o si incoraggerà la cattura della CO<sub>2</sub>) mediante una carbon tax

# Carbon Capture and Storage (CCS)

Catturare la  $CO_2$  emessa da grandi impianti di combustione per stoccarla da qualche parte (formazioni rocciose sotterranee?), impedendone il rilascio in atmosfera

Processo in tre passi:

- 1) Cattura della  $CO_2$
- 2) Trasporto al sito di stoccaggio/utilizzo
- 3) Stoccaggio/utilizzo

IPCC: nel 2100 le tecnologie di **CCS/CCU** contribuiranno per il 10%-55% alla riduzione complessiva delle emissioni di  $CO_2$

# Cattura della CO<sub>2</sub>

1) Cattura **prima** della combustione:

Il combustibile è trasformato in un gas nel quale il carbonio è presente come CO<sub>2</sub>

steam reforming:  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$

gassificazione:  $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$

ossid. parziale:  $\text{C} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$

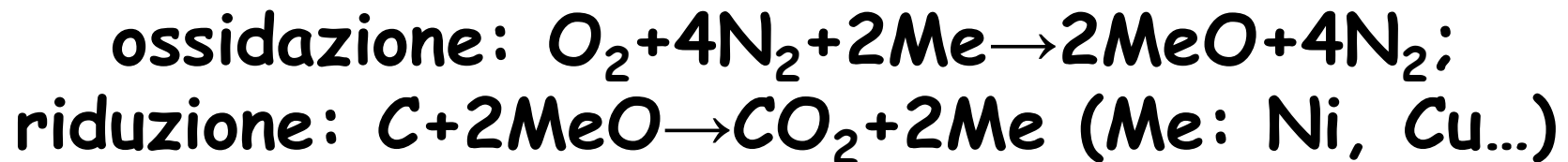
shift del gas d'acqua:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$

Successivamente il gas prodotto viene trattato per rimuovere la CO<sub>2</sub> mediante assorbimento o adsorbimento (cfr. il seguito), e solo l'H<sub>2</sub> viene utilizzato

# Cattura della CO<sub>2</sub>

2) Cattura **durante** la combustione  
(*Chemical Looping Combustion, CLC*):

La combustione viene condotta in modo tale da separare la CO<sub>2</sub> dall'N<sub>2</sub> dell'aria per ottenere una corrente di CO<sub>2</sub> pronta al sequestro



Il processo viene quindi diviso in due fasi; il risultato netto è la combustione (il metallo **Me** subisce un ciclo, o *loop*, ossidazione/riduzione), ma la CO<sub>2</sub> non è mescolata all'N<sub>2</sub>

# Cattura della CO<sub>2</sub>

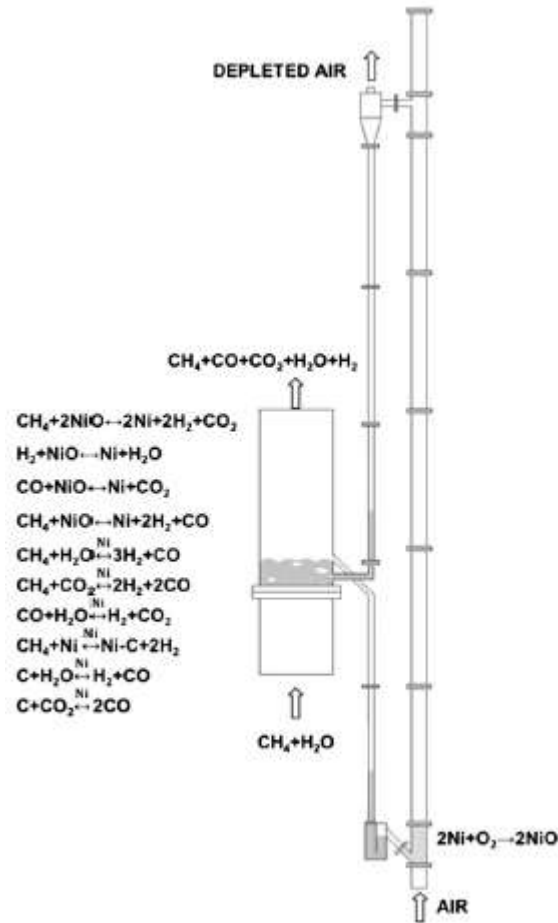
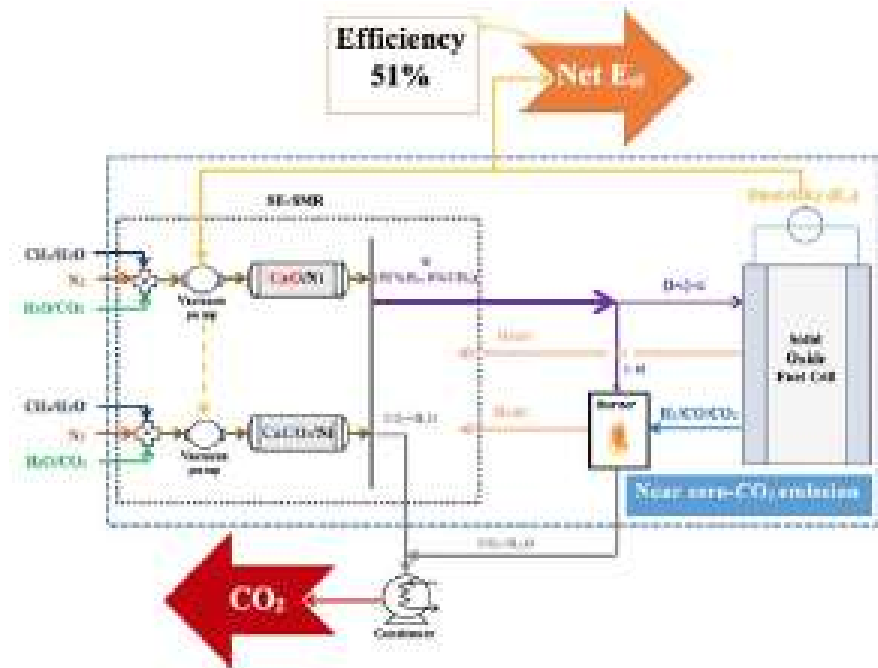


Fig. 1. Schematic representation of CLR-DRB system.

Sistema CLR a doppio letto fluidizzato circolante (Diglio et al., *Powder Technol.* 316, 614, 2017)



Sistema a letto fisso per la produzione di H<sub>2</sub> e di energia elettrica (Diglio et al., *Applied Energy* 210, 1, 2018)

# Cattura della $CO_2$

3) Cattura **dopo** la combustione:

La combustione viene condotta in modalità tradizionale; i fumi vengono depurati in modalità tradizionale (rimozione di particolato,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ); a valle la  $CO_2$  viene rimossa dalla miscela  $N_2/CO_2/H_2O/O_2$

Rimozione mediante assorbimento in soluzioni di **ammine** (composti organici, derivati dall'ammoniaca, capaci di reagire reversibilmente con la  $CO_2$ )



# Cattura della $\text{CO}_2$

3) Cattura **dopo** la combustione:

Alternativa all'assorbimento: adsorbimento  
(cattura reversibile su sostanze solide dotate di elevata porosità e selettività nei confronti della specie da rimuovere)

Isoterme di adsorbimento di  $\text{CO}_2$  su zeolite 13X e su MOF Cu-BTC (Aprea et al., *J. Chem. Eng. Data* 55, 3655, 2010)

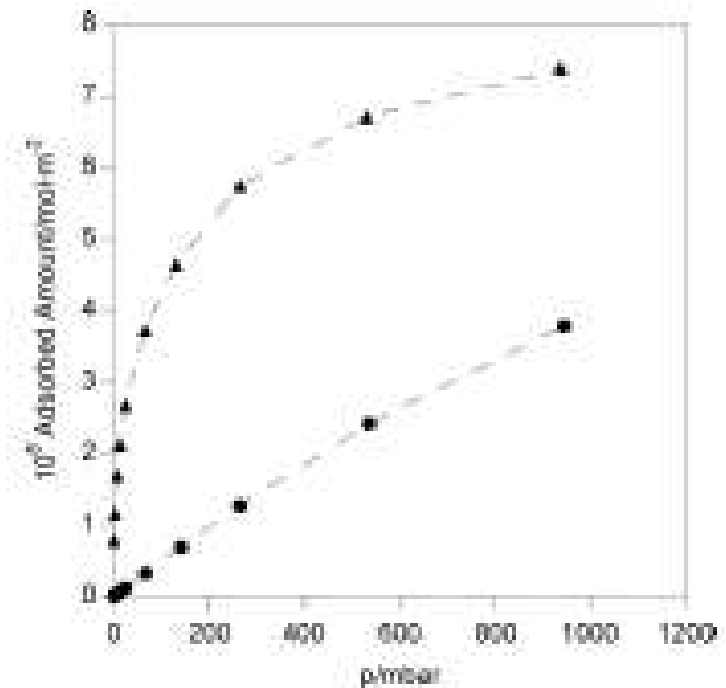


Figure 8. Adsorption isotherms of  $\text{CO}_2$  at 293 K on synthesized Cu-BTC (●) and purchased 13X zeolite (▲) based on the surface area of the adsorbents.

# Cattura della $CO_2$

## 4) Combustione **in ossigeno** (ossicombustione):

L'aria viene preventivamente separata in  $O_2$  ed  $N_2$  mediante distillazione a bassa temperatura, e la combustione viene condotta in  $O_2$  puro

Temperature più alte (efficienza maggiore), praticamente eliminata la formazione di  $NO_x$ , fumi composti principalmente da  $CO_2$  e  $H_2O$ , da cui è facile rimuovere  $H_2O$  (raffreddamento)

Però distillare l'aria a  $-196^\circ C$  costa molto!

# Stoccaggio (permanente) della $CO_2$

Per lo stoccaggio proposto il pompaggio in giacimenti esausti di petrolio o gas naturale

Stoccaggio geologico: stoccaggio mediante reazione tra minerali alcalini (p.es. basalto) e  $CO_2$  (debolmente acida)

Stoccaggio marino: pompaggio della  $CO_2$  a profondità appropriate dove si possono formare composti stabili (*clatrati*)

Naturalmente, un prerequisito è il trasporto (via nave?) della  $CO_2$  dalla centrale termoelettrica al sito di stoccaggio

# Utilizzo della CO<sub>2</sub>

Proposto l'utilizzo della CO<sub>2</sub> per la produzione di metano (**CH<sub>4</sub>**, *Power-To-Gas*) o metanolo (**CH<sub>3</sub>OH**, *Power-To-Methanol*):



H<sub>2</sub> prodotto da fonte rinnovabile (intermittente) mediante elettrolisi dell'acqua:



CO<sub>2</sub> recuperata da fonte fossile, o catturata dall'aria ambiente

(Cattura diretta dall'aria, *Direct Air Capture*)

# Utilizzo della $CO_2$

Metano e (ancor di più) metanolo utilizzabili tal quali (vettori energetici)

In particolare, metanolo facilmente convertibile in  $H_2$  per l'uso in **celle a combustibile** (dispositivi elettrochimici ad elevata efficienza)

