

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale  
«Sistemi di cattura della CO<sub>2</sub> da fumi  
industriali»***

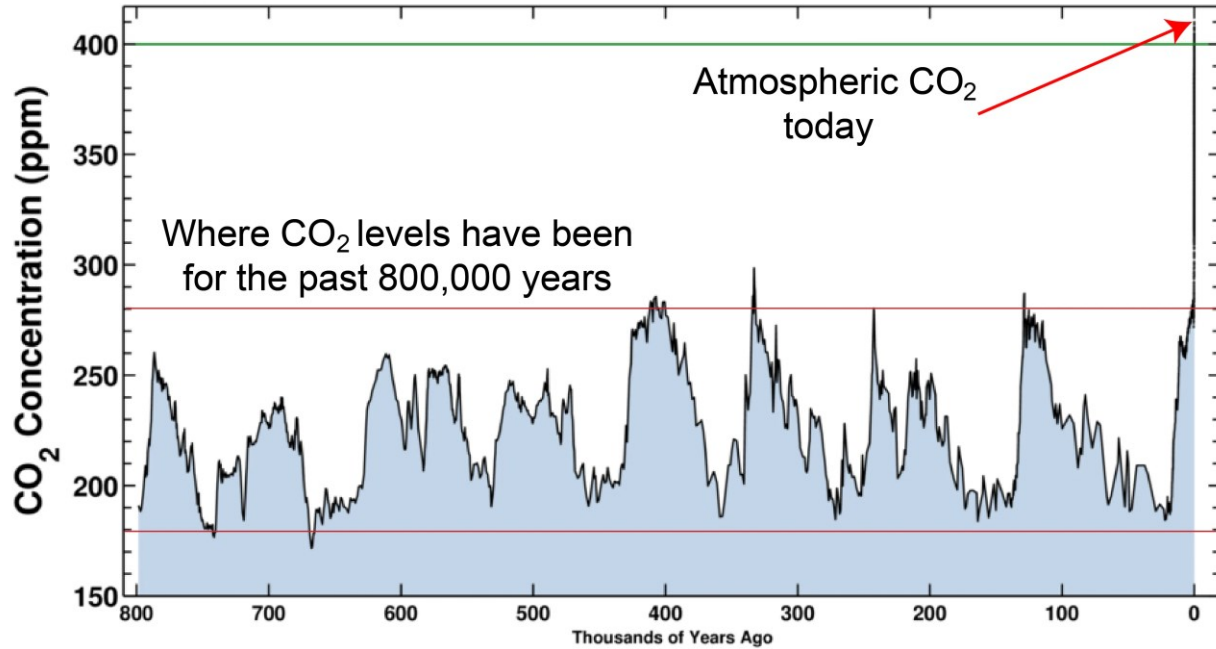
Tutor universitario: Prof.ssa Anna Stoppato

Laureando: *Papa Francesco*

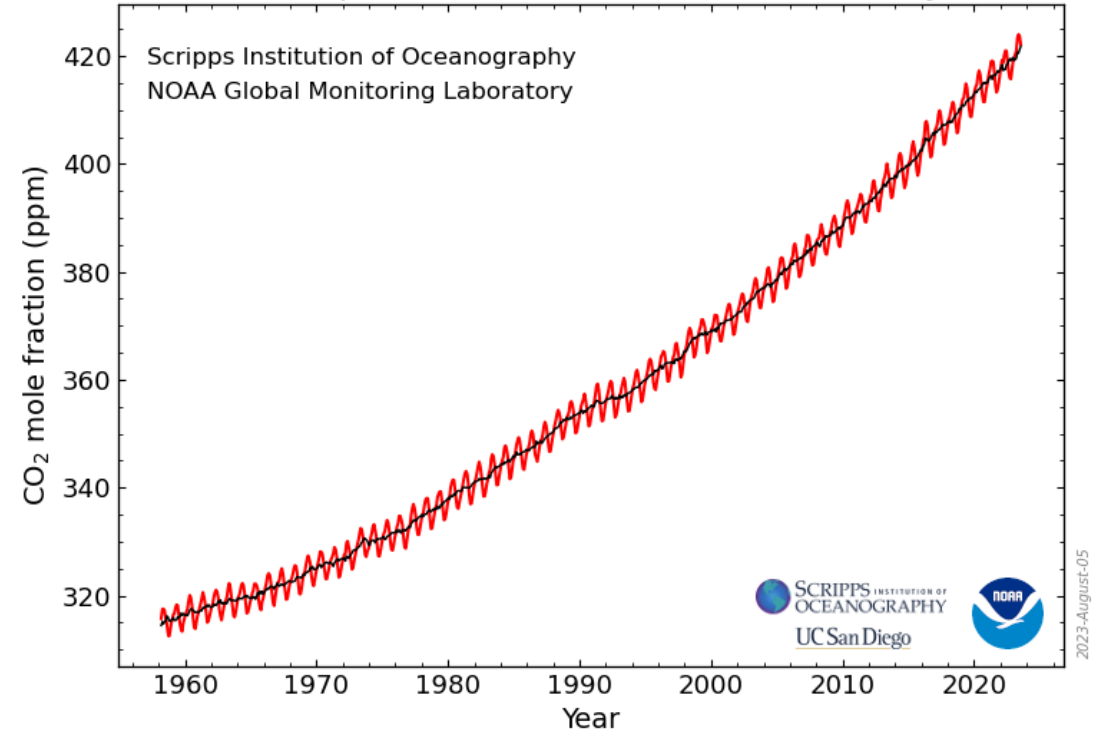
Padova, 25/09/2023

- Aumento esponenziale della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera
- Da circa 278 ppm nell'era pre-industriale ai 415 ppm nel 2022

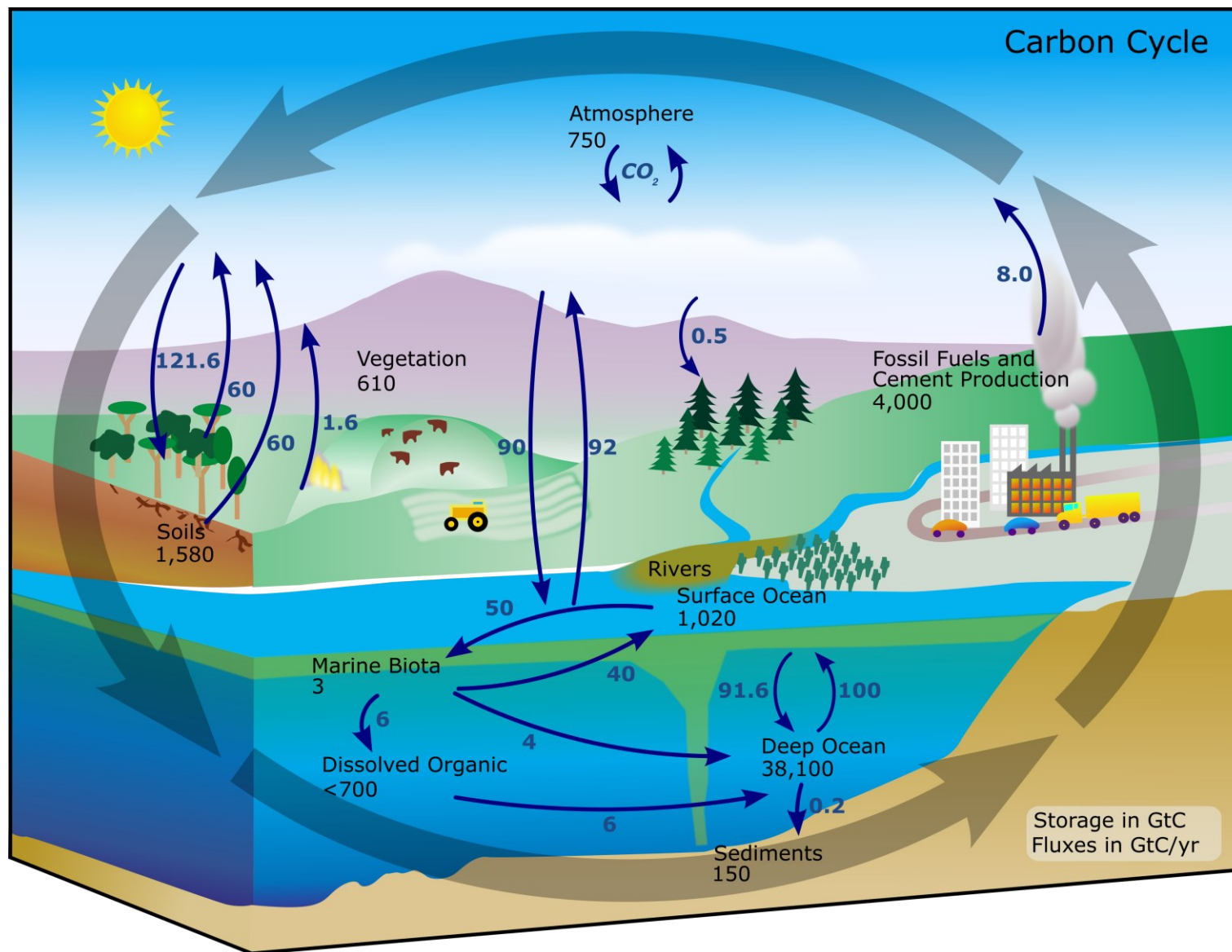
Ice-core data before 1958. Mauna Loa data after 1958.



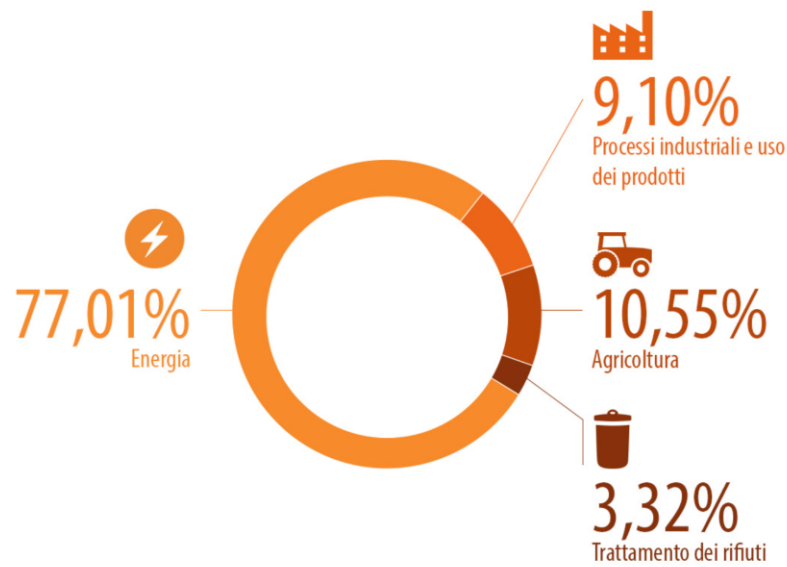
Atmospheric CO<sub>2</sub> at Mauna Loa Observatory



- Le oscillazioni storiche segnarono l'alternarsi di ere glaciali ed interglaciali

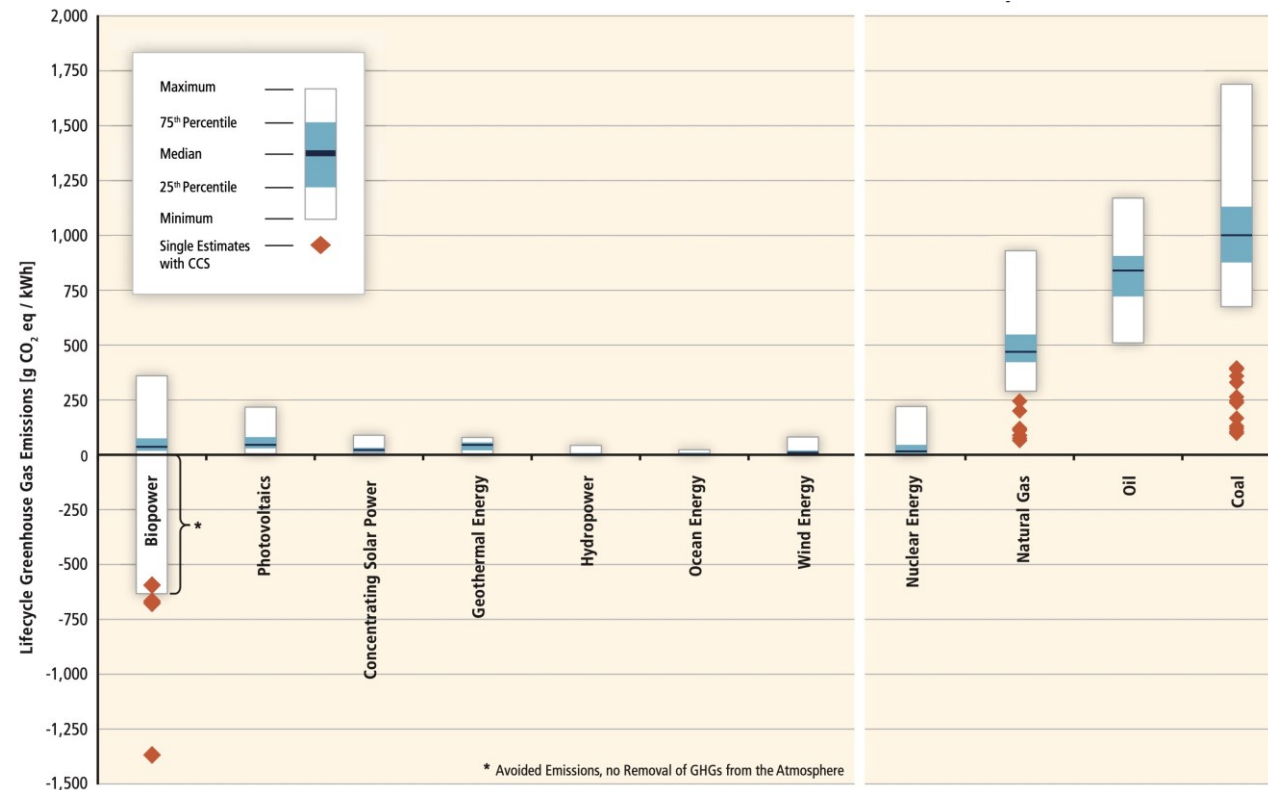


## Emissioni di gas serra nell'UE divise per settore\* nel 2019



\*Tutti i settori esclusi uso del suolo, cambiamenti di uso del suolo e silvicoltura (LULUCF)  
La percentuale totale è diversa da 100% a causa dell'arrotondamento delle cifre

Fonte: Agenzia europea dell'ambiente (EEA)



Oltre alla produzione di energia elettrica da fonti fossili nei processi industriali troviamo:

- Produzione di cemento Portland (670 kg per ton cem.)
- Utilizzo di carbone coke nelle acciaierie
- Produzione di NH<sub>3</sub> da reforming del metano
- Impianti di sweetening del metano

- Tutti i sistemi richiedono la separazione di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  da una grande massa di gas mediante processi di pre- e post-combustione o con processo oxyfuel

La scelta del metodo di cattura dipende da:

### **QUALITA'**

Composizione dei fumi che determina la concentrazione

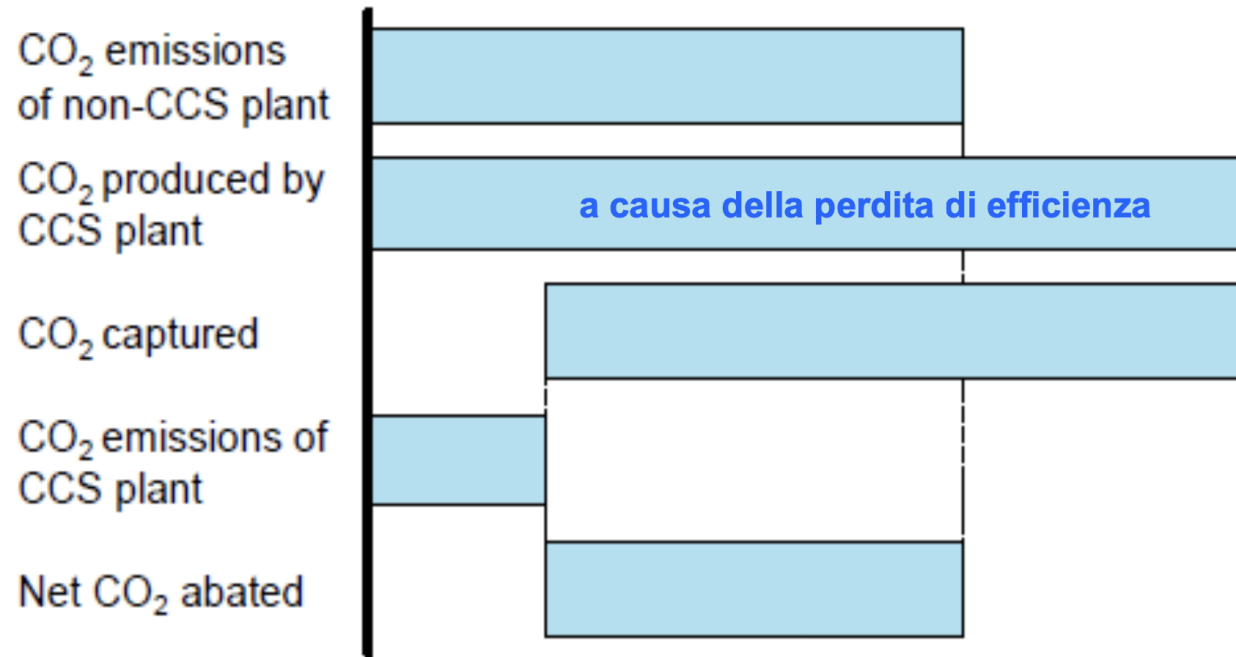
### **QUANTITA'**

Reale massa o volume di  $\text{CO}_2$ . Bassa concentrazione  $\Rightarrow$  uso di solventi più potenti

### **PRESSIONE**

Tanto è maggiore e tanto sono minori i volumi da trattare  $\Rightarrow$  minor costo del processo

### **USO SUCCESSIVO DELLA $\text{CO}_2$ ESTRATTA**



- La cattura e la compressione richiedono circa 10-40% di energia in più rispetto impianto senza CCS
- Conveniente l'applicazione di CCS in impianti con rendimento  $\geq 45\%$
- Con efficienze di cattura 80-90% le emissioni in uscita sono minori rispetto a impianto senza CCS

- Separazione della CO<sub>2</sub> dai gas di combustione

Le possibili tecnologie la cui scelta dipende da aspetti fisici ed economici sono:

- Separazione a membrane
  - Separazione criogenica
  - Cattura per assorbimento (mediante solventi)
  - Cattura per adsorbimento (PSA o TSA)
- 
- **Membrane:** materiali che permettono una permeazione selettiva dei gas grazie alla natura del materiale ed al salto di pressione monte-valle ⇒ uso con gas ad alte pressioni
  - **Criogenia:** passaggio da gas a fluido (mediante compressioni ed espansioni)
  - **Assorbimento** della CO<sub>2</sub> dei fumi mediante solventi (ammine)
  - **Adsorbimento** mediante l'uso di filtri molecolari o carboni attivi

- **Membrane** sono materiali che permettono una permeazione selettiva dei gas grazie alla natura del materiale ed al salto di pressione monte-valle

Esse si suddividono in:

- Polimeriche (organiche)
- Inorganiche (porose o dense/metalliche)
- A matrice mista
- A trasporto facilitato o liquide supportate

Devono possedere le seguenti caratteristiche:

- Alta permeabilità della CO<sub>2</sub>
- Alta selettività della CO<sub>2</sub> rispetto ad altri gas
- Resistenza termica e chimica
- Resistenza all'invecchiamento
- Costi effettivi economicamente bassi



### Punti di Forza:

- Basso costo di fabbricazione, buona processabilità e maggior scalabilità
- Adatte per flussi di gas ad alte pressioni
- Mostrano evidenti vantaggi dal punto di vista termodinamico
- Consente di superare limiti imposti dall'equilibrio di reazioni chimiche  $\Rightarrow$  impianti più semplici

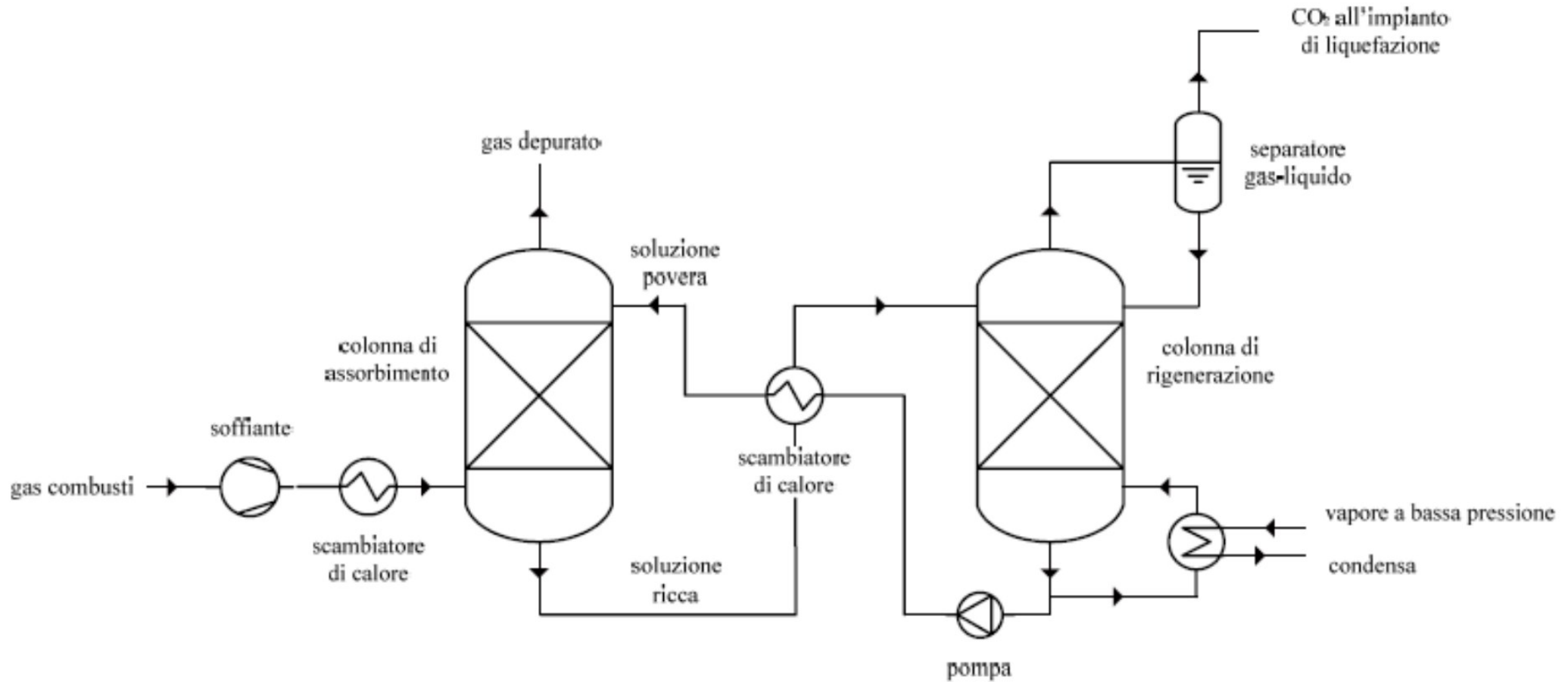
### Criticità:

- Limitata robustezza  $\Rightarrow$  utilizzabili solo con blande condizioni operative
- Affidabilità e convenienza economica non ancora verificati

### Prospettive future:

- La loro dimostrazione su larga scala e per lunghi periodi di utilizzo in condizioni realistiche

- Tecnologia più diffusa utilizza monoetanolamina (MEA)



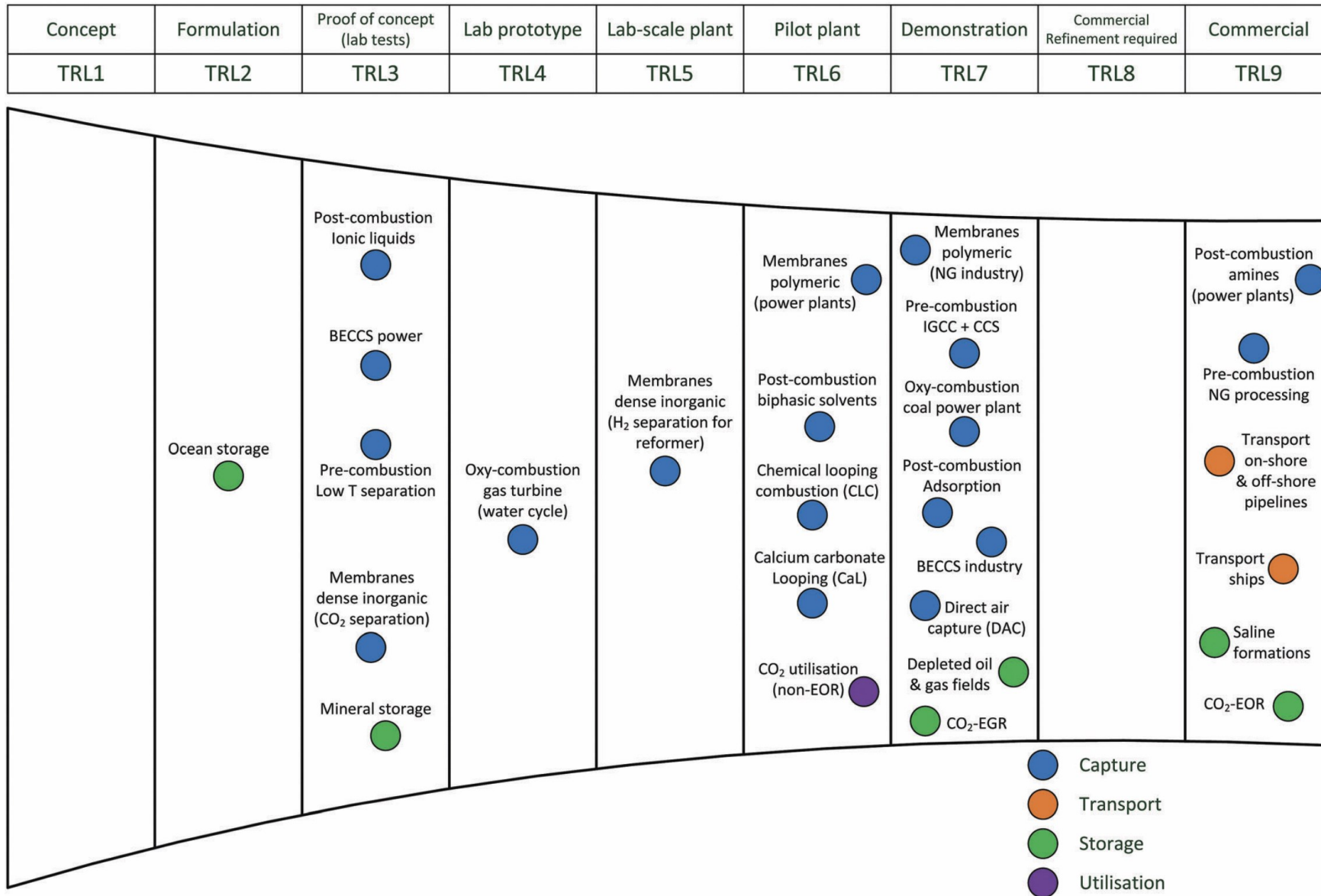
Schema concettuale di processo di assorbimento chimico con MEA, fonte Enea

### Punti di Forza:

- Tecnologia che ha raggiunto la maggiore maturità
- Efficienza 85-95% a fronte di gas con basse concentrazioni di CO<sub>2</sub>
- Rigenerabilità del solvente
- MEA suff. economica con valori di consumo di solvente 1-3 kg per tonnellata di CO<sub>2</sub>

### Criticità:

- Elevato consumo energetico per la rigenerazione (50-80 kJ/mole)
- Formazione di composti corrosivi
- Degradamento del solvente a opera di composti SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> con formazione di sali stabili non rigenerabili



- La CCS è una tecnologia chiave nel perseguimento degli impegni presi per raggiungere la neutralità carbonica finalizzata a limitare i cambiamenti climatici
- Svolgono un ruolo chiave nel contesto industriale (no produzione elettrica) in quanto unica opzione applicabile per l'abbattimento delle emissioni
- Sono necessari incentivi pubblici che favoriscano gli investimenti privati in questa tecnologia come esistono per l'eolico off-shore e nucleare

- G. Zollino, C. Bustreo, Materiale del corso “Tecnica ed economia dell’energia”, A.A 2022/2023, Ingegneria dell’energia, Università degli Studi di Padova
- Bui, Mai, et al. “Carbon capture and storage (CCS): the way forward”, Energy Environ Sci., 2018, 11, 1062-1176
- G. Calì, F. Tedde, D. Marotto, P. Deiana, C. Bassano, M. Subrizi, “Cattura della CO2 in pre e post-combustione: attività in impianto”, Enea, Sottacarbo, 2016
- V. Calabrò, A. Iulianelli, S. Liguori, A. Basile, A. Gugliuzza, A. Saraceno, “Stato dell’arte sui processi di rimozione della CO2 mediante tecnologie a membrane”, Enea, Dipartimento di Modellistica per l’Ingegneria Università della Calabria, 2011
- IEA (International Energy Agency) (2023), “CO2 Emissions in 2022”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- IEA (International Energy Agency) (2022), “CO2 storage resources and their development”, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/co2-storage-resources-and-their-development>
- Parlamento Europeo, “Emissioni di gas serra nell'UE per paese e settore: Infografia”, <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica>
- IEA (International Energy Agency) (2021), “Net Zero by 2050”, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Papa Francesco