

15 maggio 2025 – 14.00/18.30

INGEGNERIA E OPPORTUNITÀ IMPRENDITORIALI PER GOVERNARE I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Università Ca' Foscari Venezia – Auditorium Danilo Mainardi
Campus Scientifico Via Torino 155 Edificio Alfa, Venezia Mestre

TECNOLOGIE ISPIRATE AI PROCESSI NATURALI PER LA RIMOZIONE DI ANIDRIDE CARBONICA DALL'ATMOSFERA

Enrico Bertuzzo
Università Ca' Foscari di Venezia

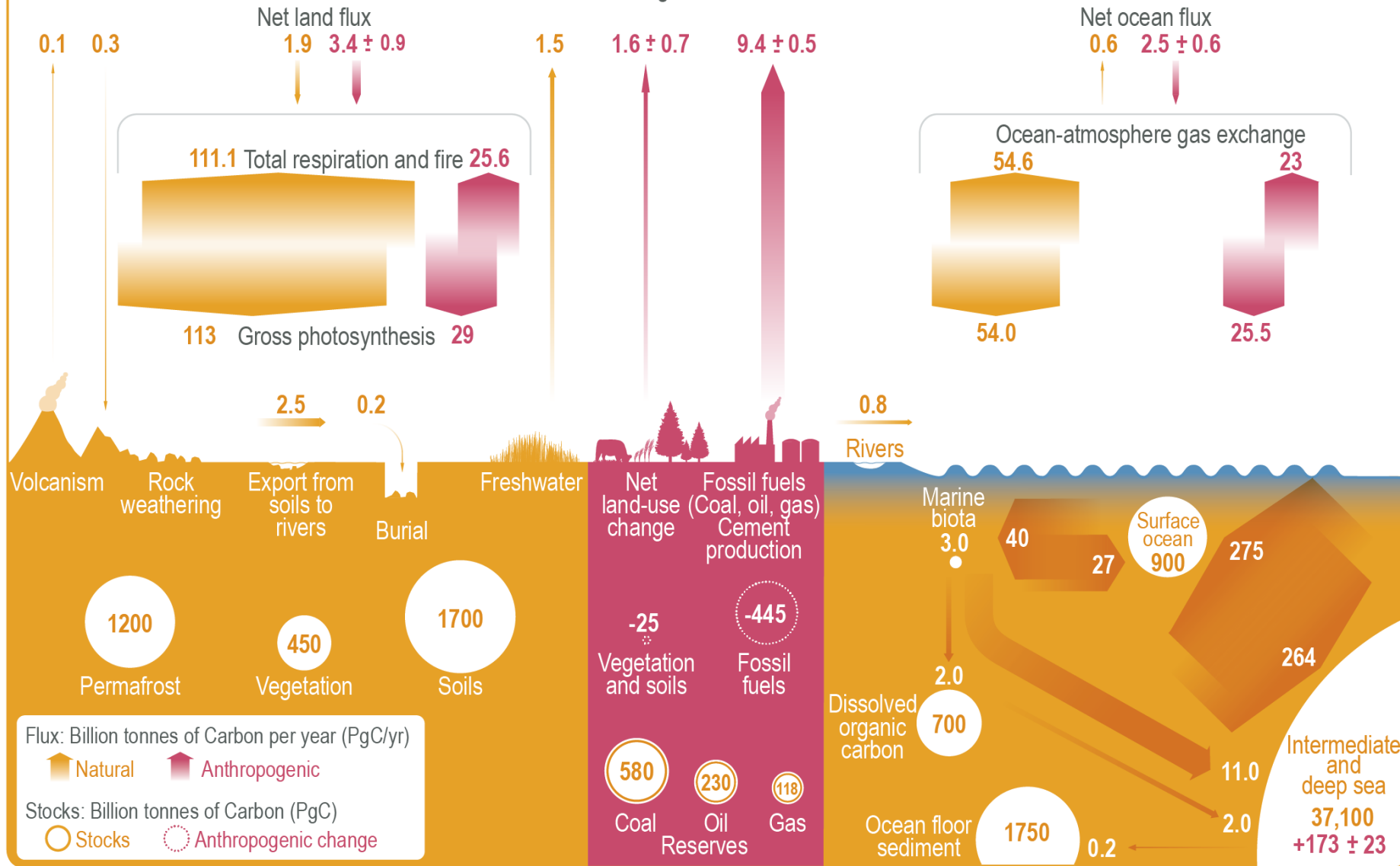


<https://www.giornatainnovazione.it/>



Scenari Emissioni IPCC

IPCC report 6, Figura 5.12



Stock: GtC (miliardi di ton. di C)

Flussi: GtC/anno

1 GtC = 3.67 Gt CO₂

Emissioni globali: 40 Gt CO₂/anno

Per contenere riscaldamento globale sui 1.5-2 °C per il 2100:

- **Riduzione** (fino quasi all'azzeramento) delle emissioni antropiche
- **Rimozione** della CO₂ dall'atmosfera nella seconda metà del secolo: ordine di grandezza 1-10 Gt CO₂

- Riduzione: Carbon Capture and Storage (**CCS**)
- Rimozione: Carbon Dioxide Removal (**CDR**)

Carbon Capture and Storage. CCS

Cattura della CO₂ dalle sorgenti puntuali di emissione (e.g. impianti a combustione) e stoccaggio per tempi climaticamente significativi (migliaia di anni)

Vantaggi: flusso di emissione concentrato in CO₂ permette di separarla con un costo energetico (relativamente) contenuto

Svantaggi: contribuisce alla riduzione delle emissioni ma non alla rimozione di CO₂ dall'atmosfera

Carbon Dioxide Removal. CDR

Rimozione della CO_2 dall'atmosfera
(emissioni negative)

DAC: Direct Air Capture

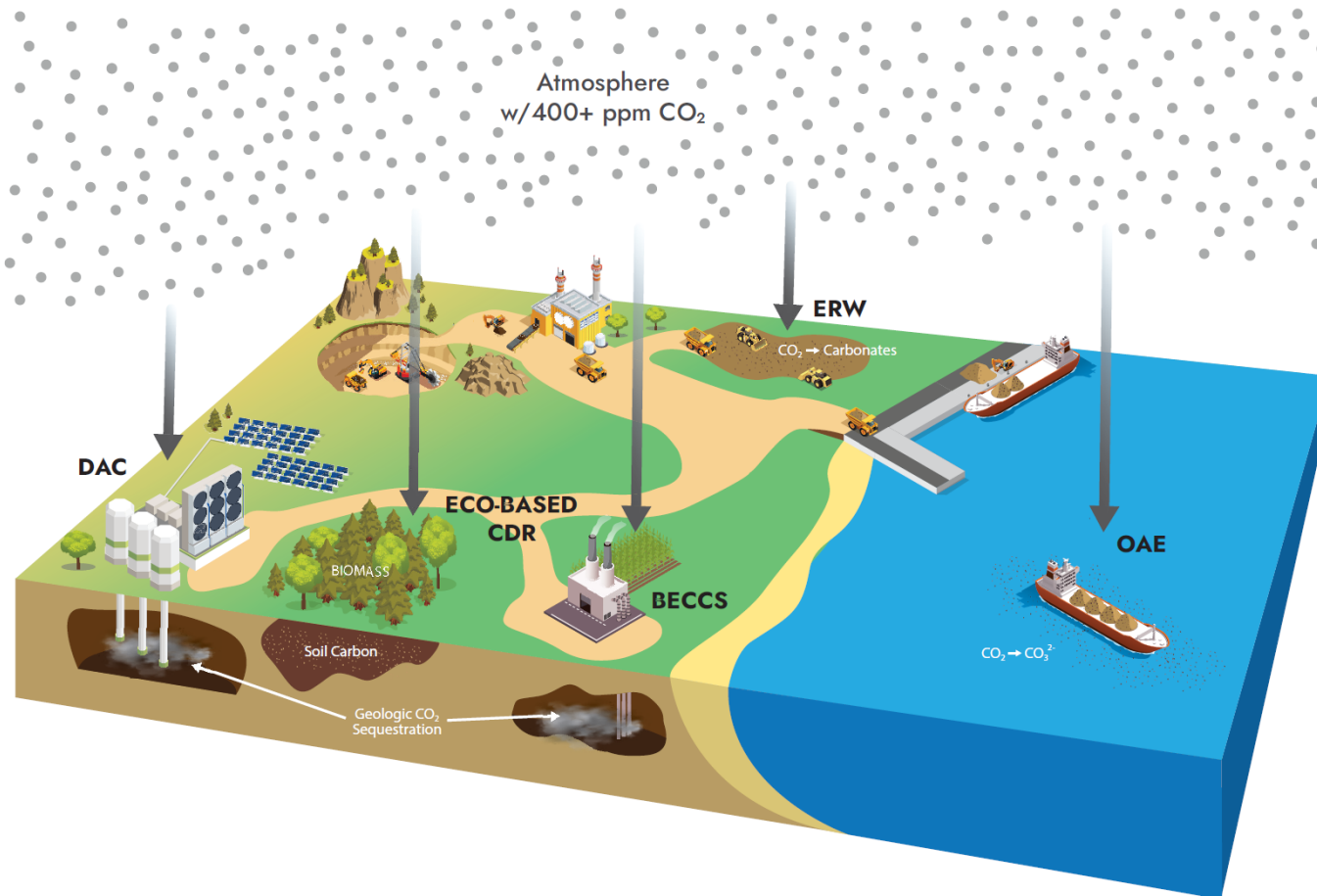
ECO-BASED

BECCS: Bioenergy with Carbon Capture and Storage

ERW: Enhanced Rock Weathering

OAE: Ocean Alkalinity Enhancement

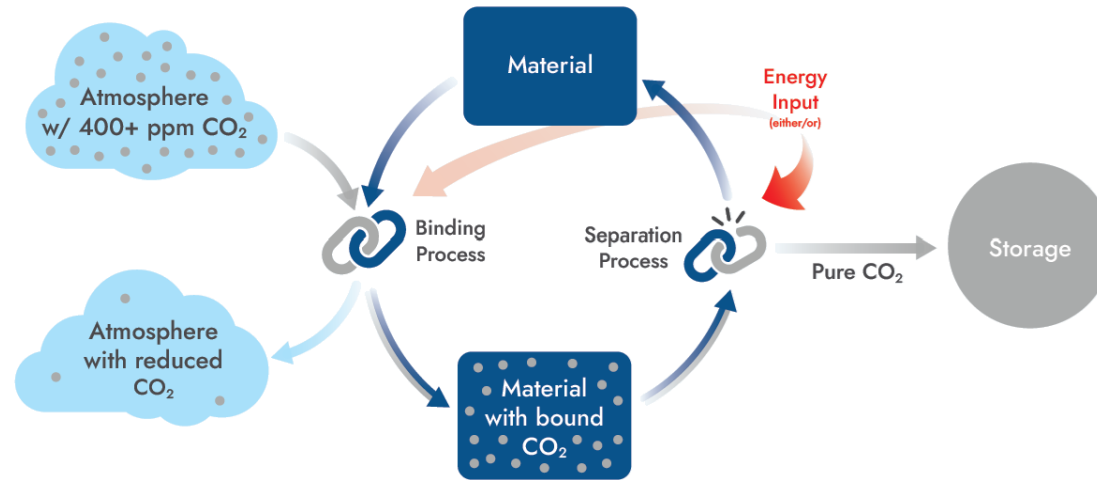
Svantaggi: concentrazione CO_2 in atmosfera
bassa: grossi quantità di energia o materia
per rimuoverla



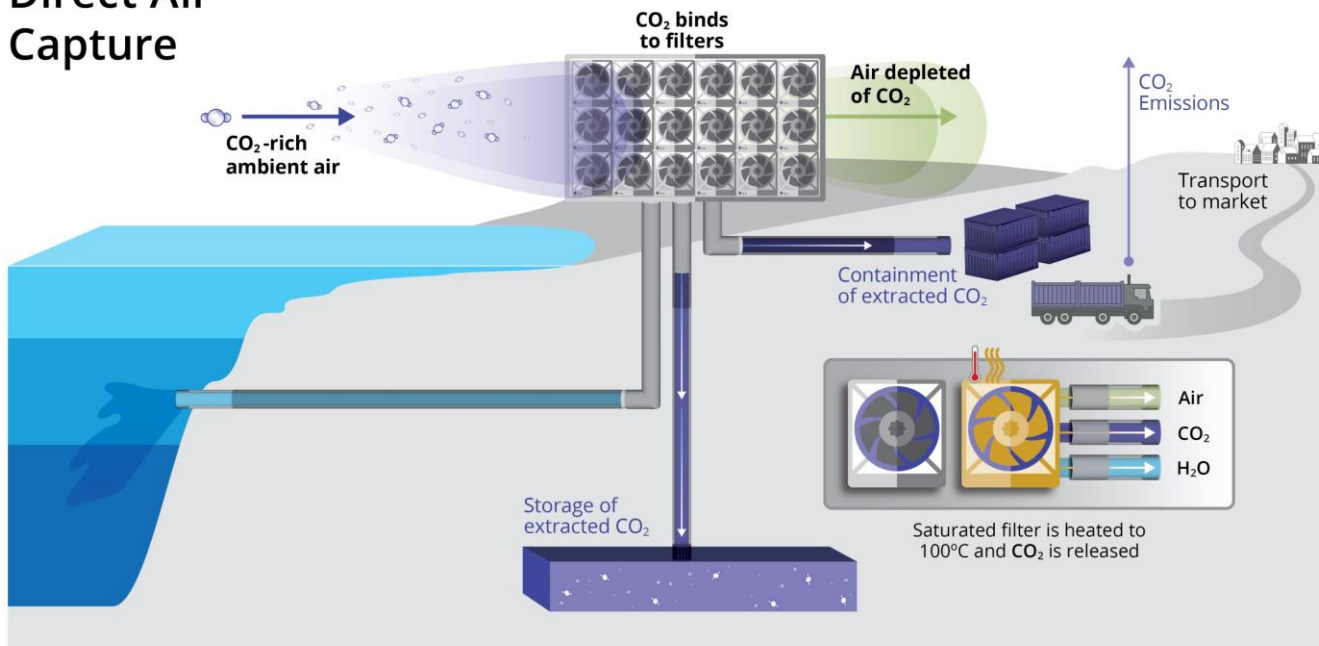
Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

CDR ciclici

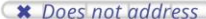
Direct Air Capture



Direct Air Capture



Credit: Sarah Battle, NOAA

Storage amount potential  Storage duration 

Vantaggi:

- Limitato consumo di suolo e materiale,
- Measurement Reporting and Verification (MVR) facile

Svantaggi:

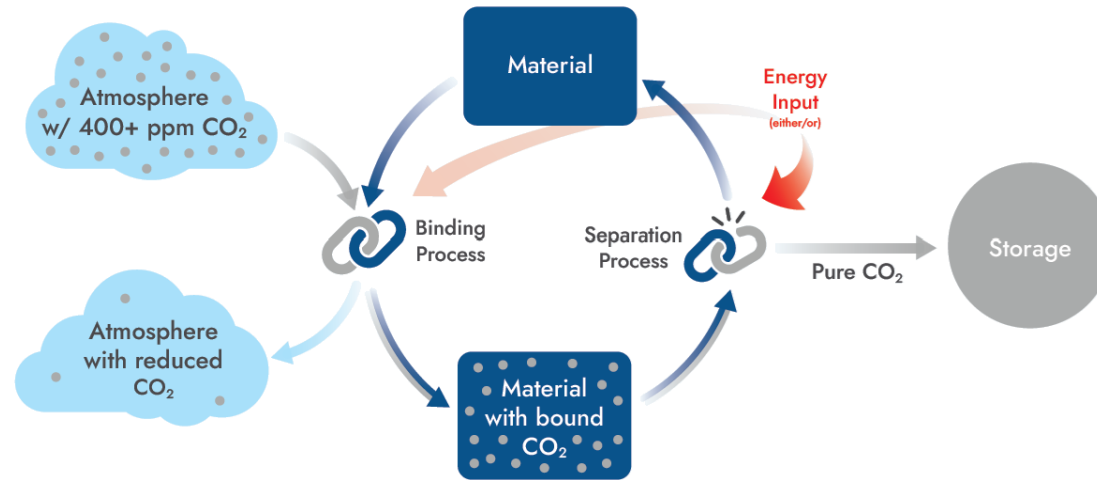
- consumo energetico

Opportunità di ricerca:

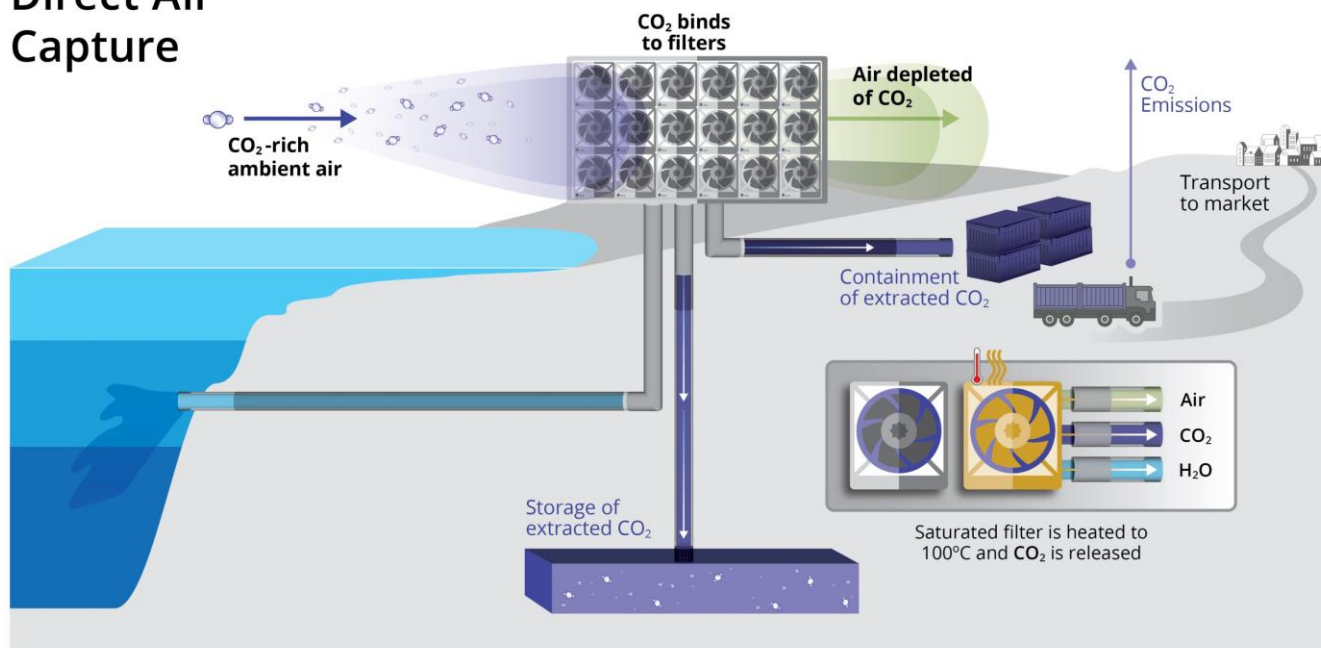
- Ottimizzazione energetica, ricerca sui materiali, scalabilità

CDR ciclici

Direct Air Capture



Direct Air Capture



Credit: Sarah Battle, NOAA

Storage amount potential



Storage duration

✖ Does not address

Consumo energetico

- Limite termodinamico: 120 kWh/tCO₂
- Impianti reali: da 3 a 10 volte il limite termodinamico
- 1 Gt CO₂ = 14 GWy (30-100 GWy)
- Produzione mondiale: 3300 GWy

Volume aria da filtrare

- 10¹⁵ m³/y
- Comparabile con tutta l'aria utilizzata globalmente per raffreddare i circuiti dei condizionatori

CDR Non Ciclici Ecosistemici

Vantaggi:

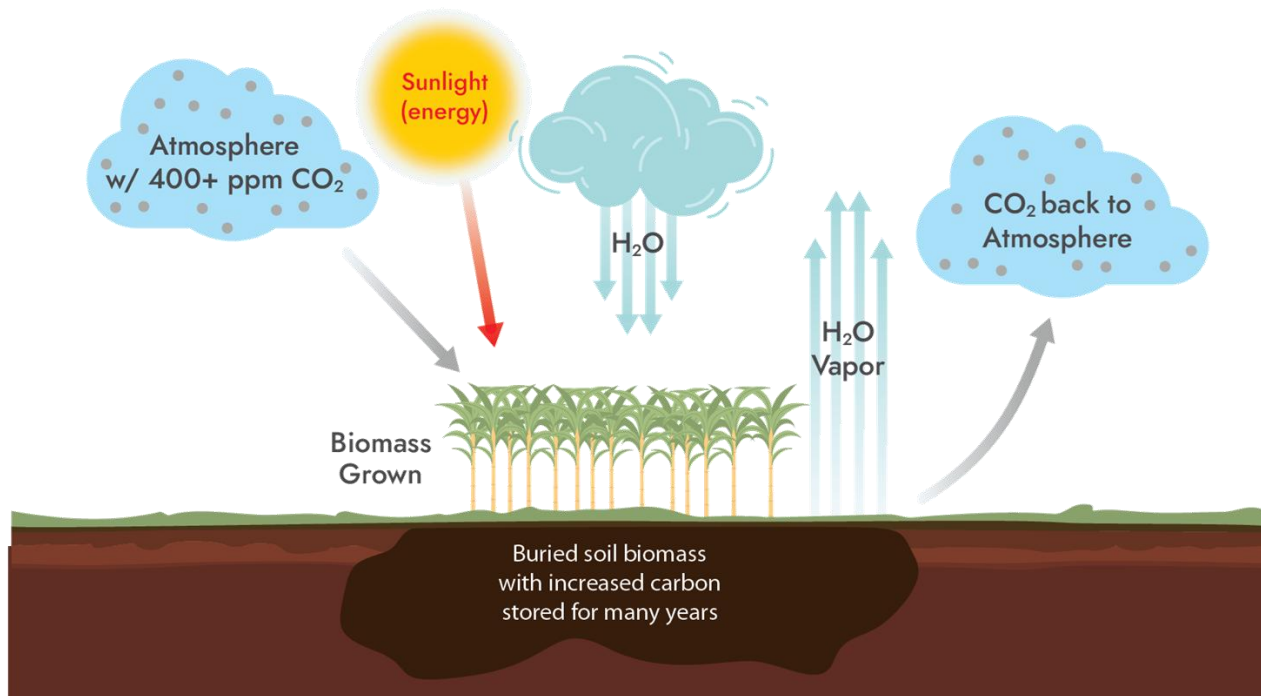
- Energia solare

Svantaggi:

- Measurement Reporting and Verification (MRV) difficile
- Difficile distinguere processi naturali da quelli indotti, quantificare l'effettivo stoccaggio e la durata
- Consumo di suolo in competizione con agricoltura
- Consumo di acqua

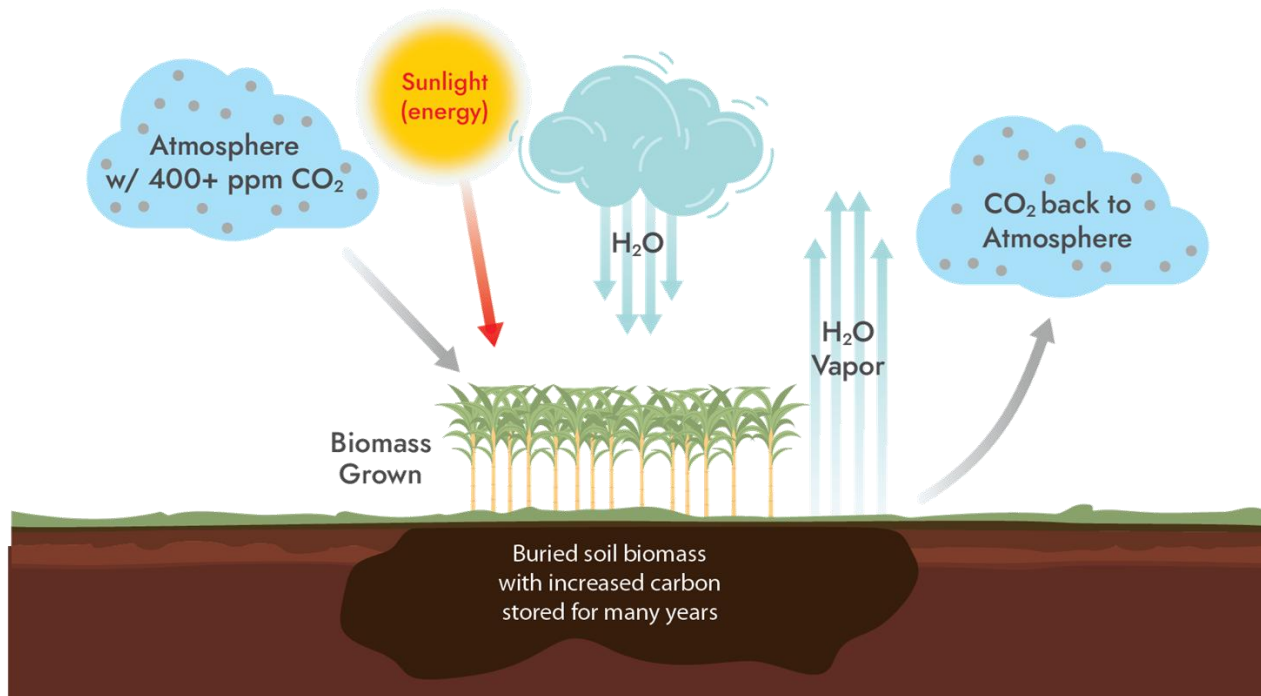
Opportunità di ricerca:

- Miglioramento di MRV
- Sviluppo specie con alta efficienza fotosintetica



Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

CDR Non Ciclici Ecosistemici



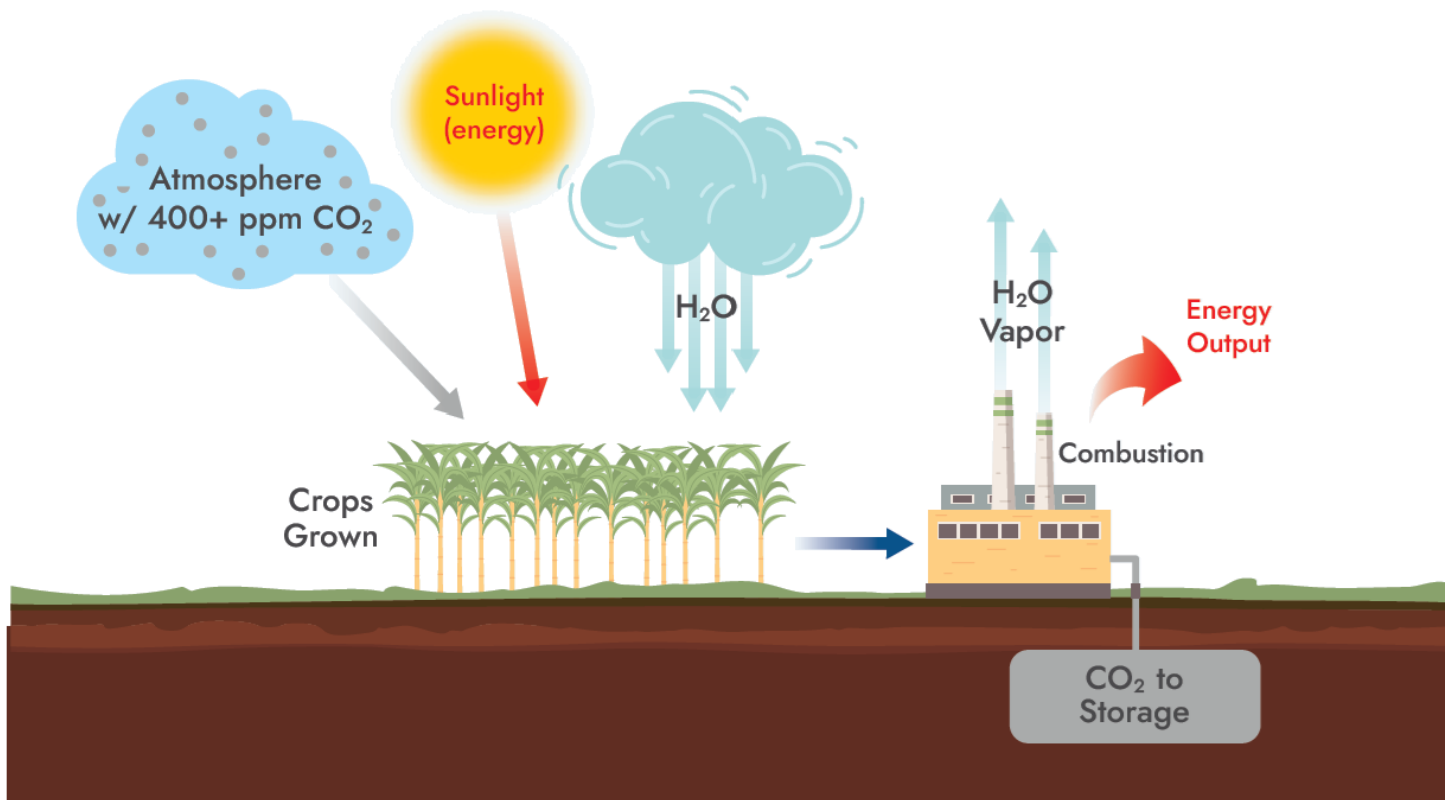
Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

Consumo di suolo

- Efficienza fotosintesi 0.25-0.5%
- 1 GtCO₂ = 0.35 milioni km²
- Area agricola Stati Uniti 3.6 milioni km²
- Area agricola globale 40 milioni km²
- Organismi ingegnerizzati con efficienza 3-6 %: area necessaria 35000 km²

CDR Non Ciclici

Bioenergia con CCS



Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

Vantaggi:

- Più efficiente dei sistemi ecosistemici
- Recupero energia (emissioni negative)
- Measurement Reporting and Verification (MRV) facile

Svantaggi:

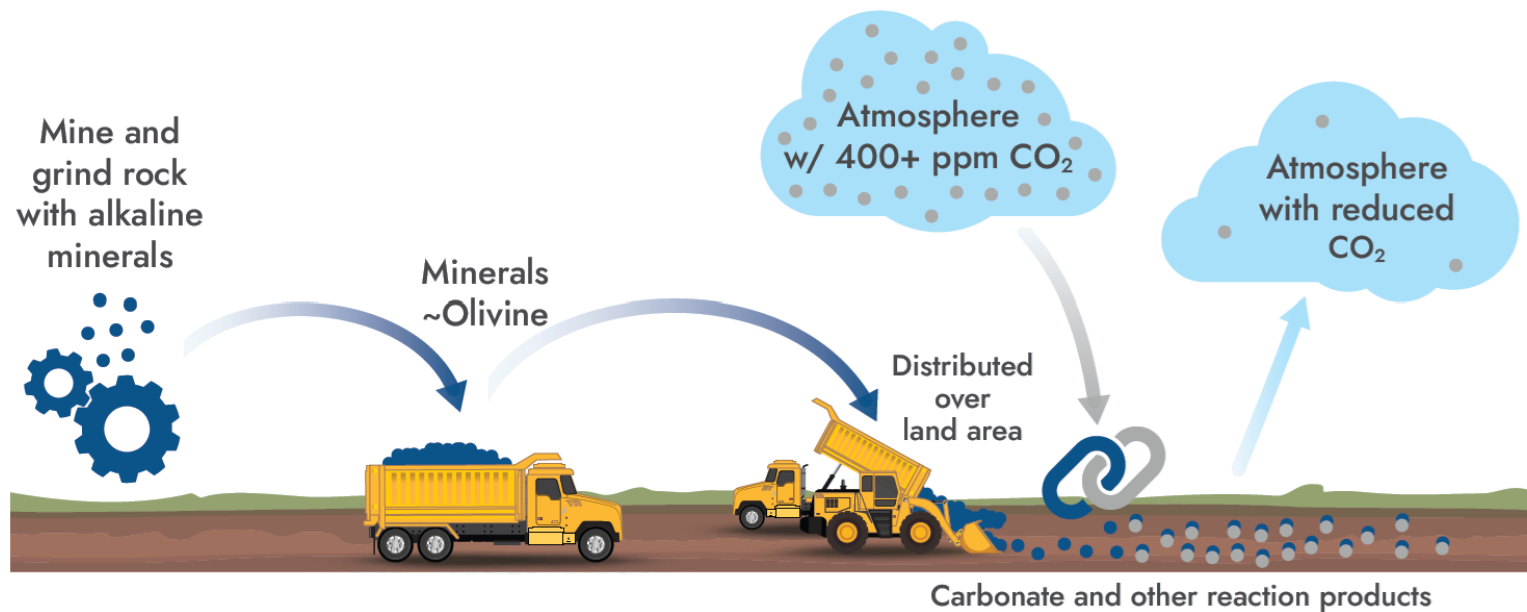
- Consumo di suolo in competizione con agricoltura
- Consumo di acqua

Opportunità di ricerca:

- Sviluppo specie con alta efficienza fotosintetica

CDR Non Ciclici

Enhanced Rock Weathering



Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

Vantaggi:

- Basso consumo energetico: legato allo sforzo di estrazione e trasporto (non rigenerato)

Svantaggi:

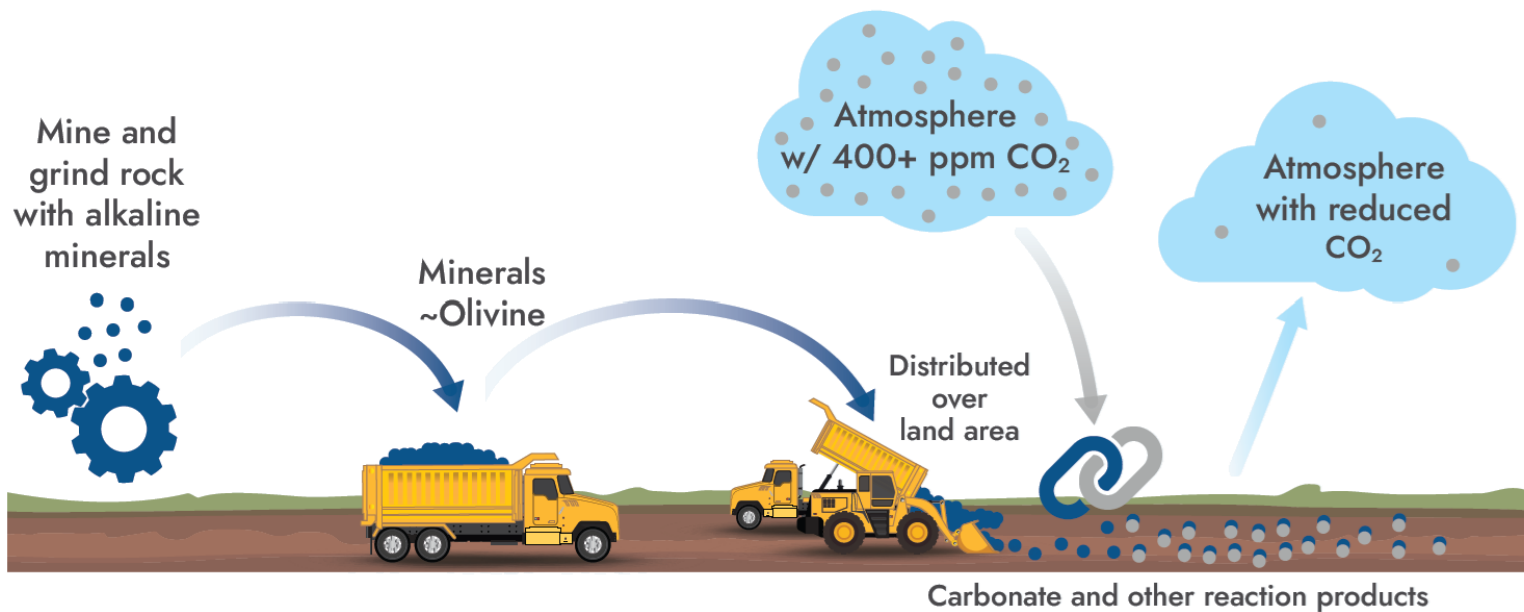
- Ingenti quantità di materiale da trattare
- Measurement Reporting and Verification (MRV) difficile
- Difficile distinguere processi naturali da quelli indotti, quantificare l'effettivo stoccaggio e la durata
- Impatti sull'ecosistema incerti (inquinamento da metalli pesanti)

Opportunità di ricerca:

- Miglioramento di MRV

CDR Non Ciclici

Enhanced Rock Weathering



Credit: Atmospheric Carbon Dioxide Removal A Physical Science Perspective

Consumo materiale

- 1 GtCO₂ = 1.5 Gt di Forsterite
- Produzione mineraria mondiale: 20 Gt/y
- Produzione di materiale polverizzato Stati Uniti 1.5 Gt/y

Consumo energetico

- 100 kWh/t per polverizzazione. Consumo energetico minore del limite termodinamico dei processi ciclici

CDR Non Ciclici

Ocean Alkalinity Enhancement

Vantaggi:

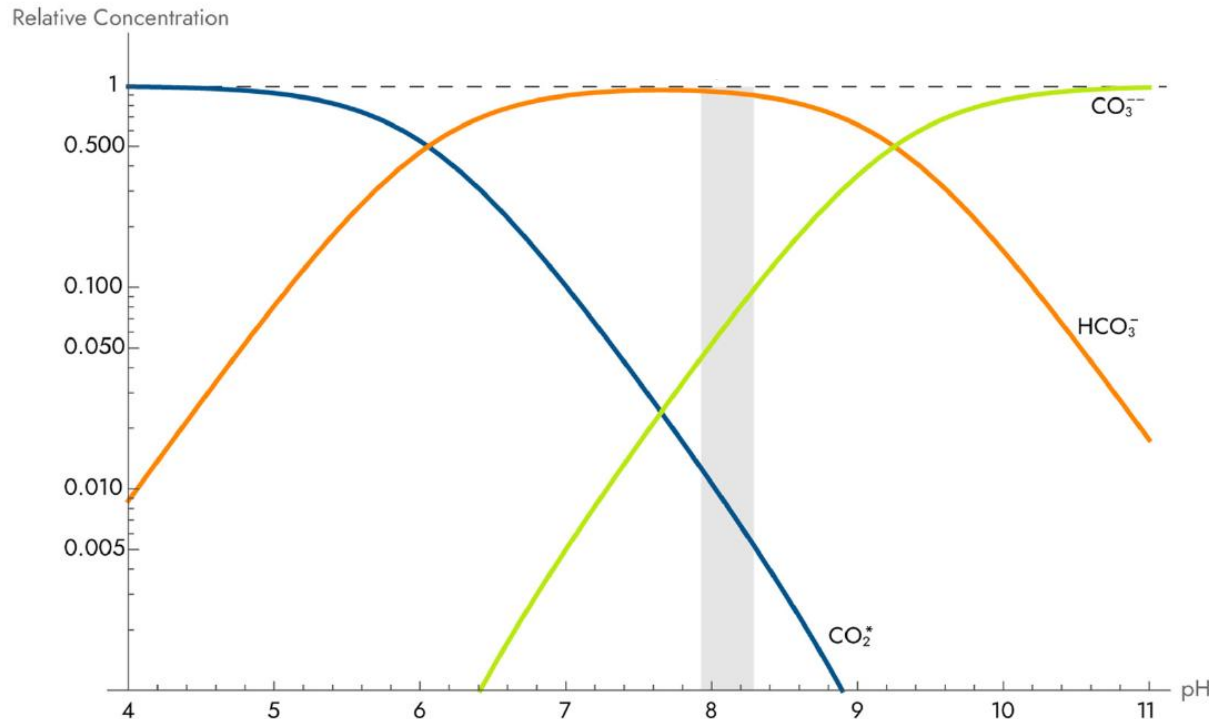
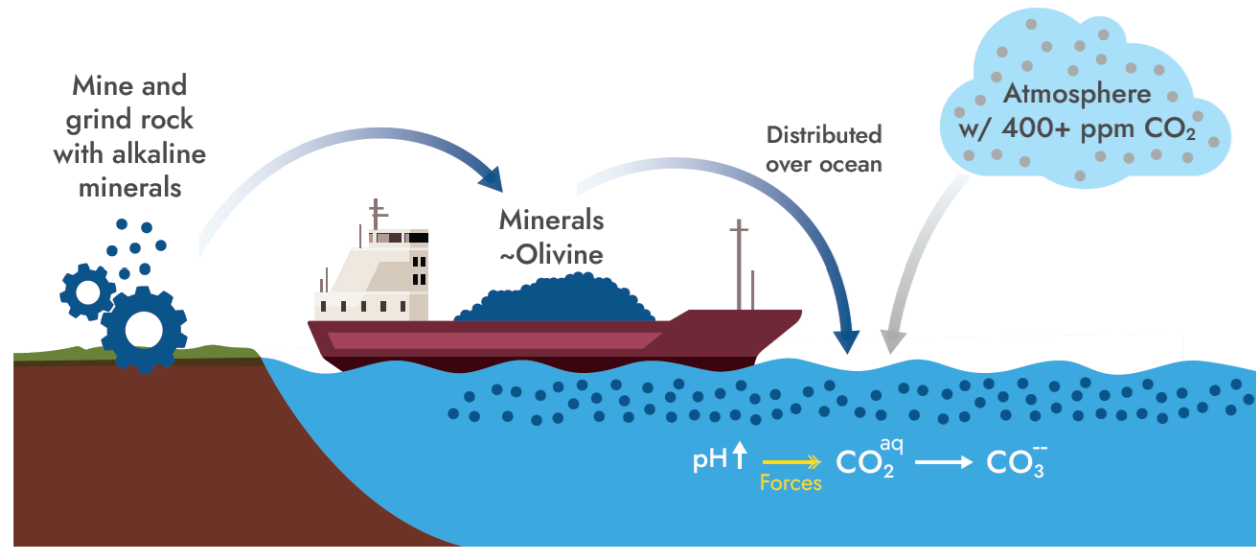
- Basso consumo energetico: legato allo sforzo di estrazione e trasporto

Svantaggi:

- Ingenti quantità di materiale da trattare
- Measurement Reporting and Verification (MRV) difficile
- Difficile distinguere processi naturali da quelli indotti, quantificare l'effettivo stoccaggio e la durata
- Impatti sull'ecosistema incerti

Opportunità di ricerca:

- Miglioramento di MRV



- Costo previsto (DAC) 100-200 \$ tCO₂
- Nessuna “legge di Moore” prevista per limiti fisici e termodinamici.
- Combustione di un litro di benzina produce 2.4 kg di CO₂. Il costo per rimuoverla ammonta ad un’ “accisa” di 20-40 centesimi di €.
- **Rischio:** la disponibilità di tecniche di rimozione può rallentare lo sforzo di riduzione delle emissioni.
- **Ridurre le emissioni è economicamente più conveniente che rimuovere la stessa quantità di CO₂.** Quindi le riduzioni devono essere considerate con più alta priorità. Rimozioni usate per raggiungere specifici target climatici entro la fine del secolo nel caso la velocità di riduzione delle emissioni non sia sufficiente.

15 maggio 2025 – 14.00/18.30

INGEGNERIA E OPPORTUNITÀ IMPRENDITORIALI PER GOVERNARE I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Università Ca' Foscari Venezia – Auditorium Danilo Mainardi
Campus Scientifico Via Torino 155 Edificio Alfa, Venezia Mestre

Grazie per l'attenzione



<https://www.giornatainnovazione.it/>



Terrestrial Ecosystem

Stream Ecosystem

