

acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

## Carlo Mapelli

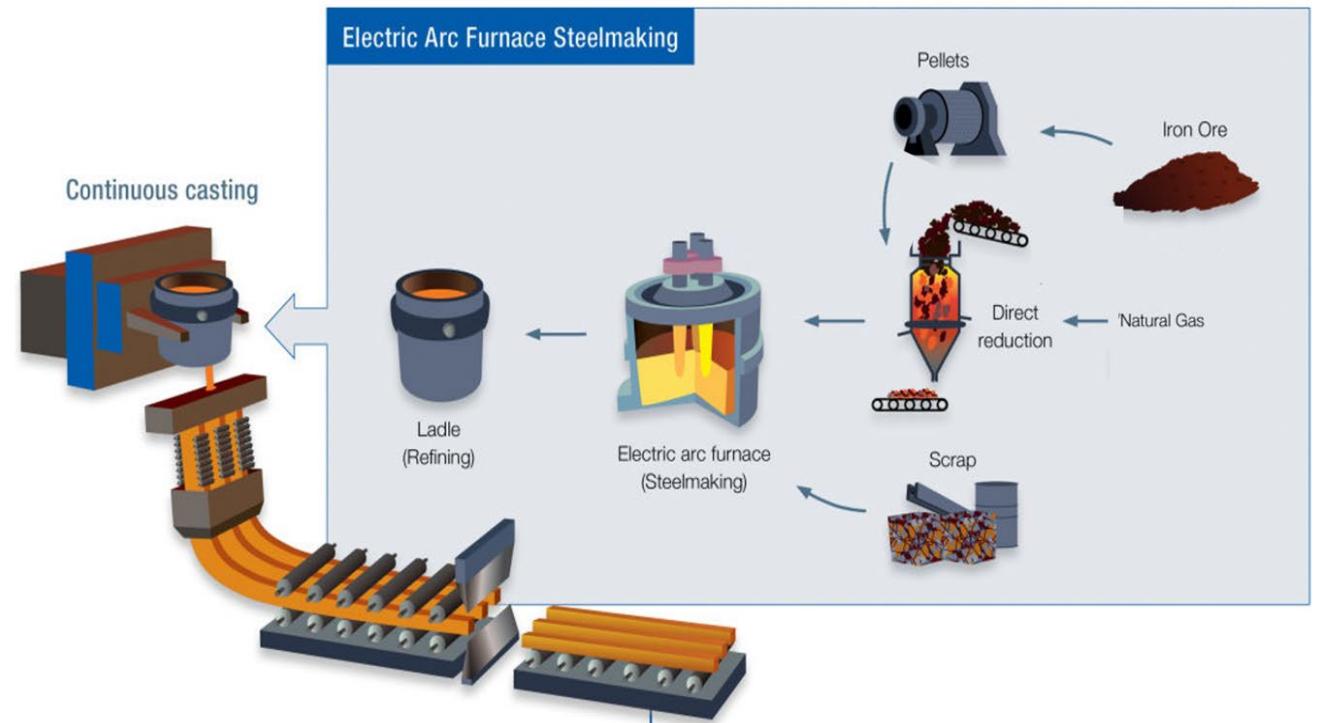
POLITECNICO DI MILANO



## I principali cicli siderurgici



Da minerale e Coke  
 $2500\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{t}_{\text{steel}}$



Da rottame  
Spugna di ferro da minerale e  $\text{CH}_4$

$150\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{t}_{\text{steel}}$   
 $850\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{t}_{\text{steel}}$

## Materie prime

- > **Carattere energetico/riducente**
  - Carboni fossili/Coke
  - Biocarbone
  - Gas Naturale
  - Ossigeno
  - Idrogeno
- > **Fondenti**
  - $\text{CaCO}_3/\text{CaO}$
- > **Refrattari**
- > **Materie prime metallifere/metalliche**
  - Minerali
  - Ghisa
  - Spugna di ferro (DRI/HBI)
  - Rottami
  - Alliganti/Ferroleghie

## I carboni

### Composizione dei carboni fossili



**Antracite**

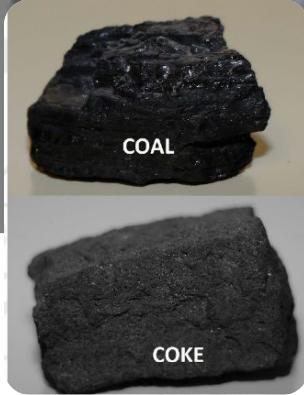
Tipo	Composizione (% in peso)*						Potere cal. Kcal/g
	C	H	O	N	Volatili	Umidità	
Torba	45-60	3,5-6,8	20-45	0,8-3,0	45-75	70-90	4,1-5,3
Lignite	60-75	4,5-5,5	17-35	0,8-2,1	45-60	30-50	6,7-7,2
Litantrace	75-92	4,0-5,5	3,0-20	0,7-2,0	11-50	1,0-20	6,9-8,8
Antracite	92-95	2,9-4,0	2,0-3,0	0,5-2,0	3,5-10	1,5-3,5	8,6-8,9

\*calcolata sul carbone secco (con l'eccezione del valore di umidità)



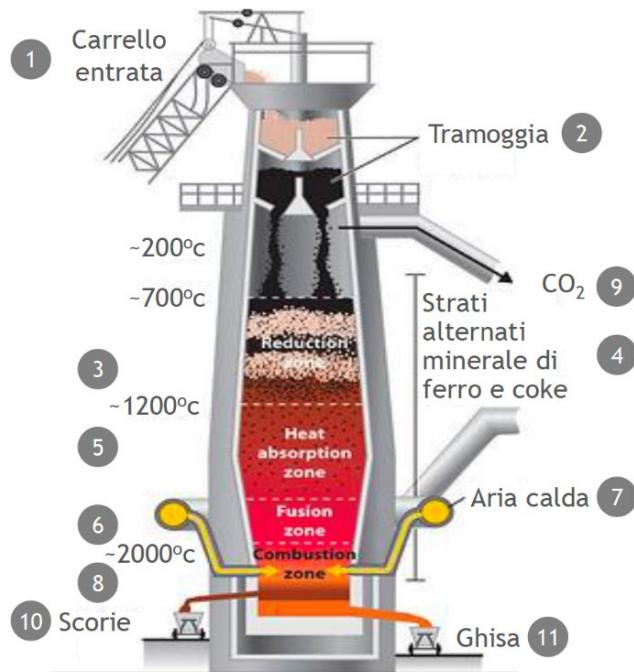
**Lignite**

## La cokefazione



- ▶ 100 °C evaporazione dell'acqua igroscopica.
- ▶ 200 °C inizio della decomposizione del carbone.
- ▶ 250-340 °C inizio di sviluppo di gas combustibili e rammollimento.
- ▶ 290 °C decomposizione dei bitumi oleosi.
- ▶ 325-450 °C sviluppo del carbone primario.
- ▶ 350-600 °C il carbone è caratterizzato da una significativa pastosità.
- ▶ 600 °C termina lo sviluppo del catrame e il processo di solidificazione della massa pastosa con formazione del cosiddetto semi-coke.
- ▶ 1000-1100 °C il processo di cokizzazione si completa realizzando una tipica consistenza porosa.

## Consumi di coke e carbone



- 1 Utilizzato per caricate materie prime nell'altoforno
- 2 Distribuisce le materie prime uniformemente
- 3 Da avvio alla conversione dell'ossido di ferro in ferro
- 4 Durante la reazione, strati alternati di ferro e coke
- 5 Assorbimento calore prodotto da combustione del coke
- 6 Fusione materiali grazie al calore
- 7 Iniezione continua di aria calda per combustione coke
- 8 Combustione coke e formazione di CO / CO<sub>2</sub>
- 9 Gas di condotto in uscita dal forno
- 10 Formazione loppa d'altoforno (sottoprodotto)
- 11 Ghisa in uscita dal foro di colata sul fondo dell'altoforno

510kg/t

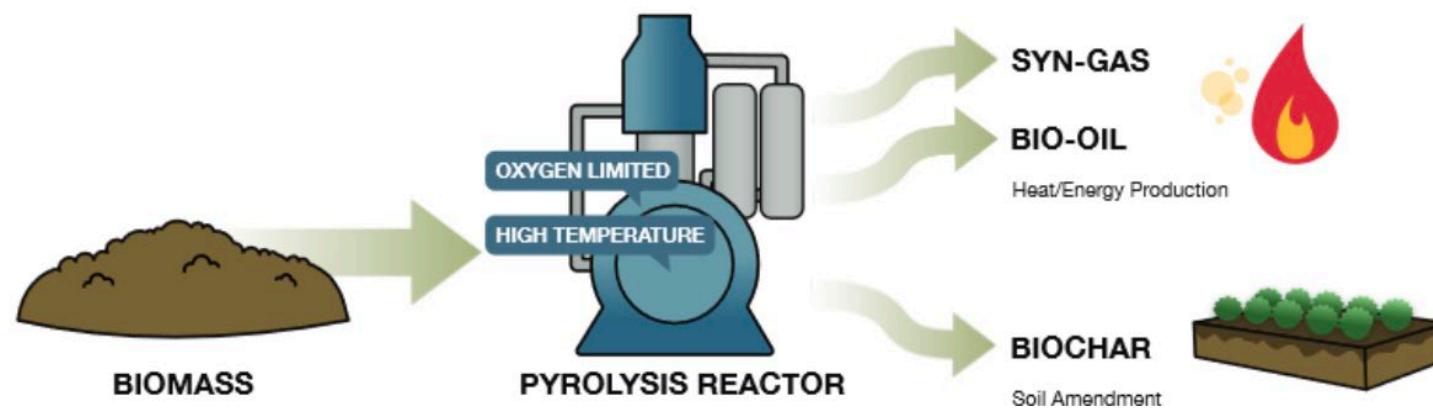
310-360kg<sub>coke</sub>/t<sub>ghisa</sub>

200-150kg<sub>polverino\_tubiere</sub>/t<sub>ghisa</sub>

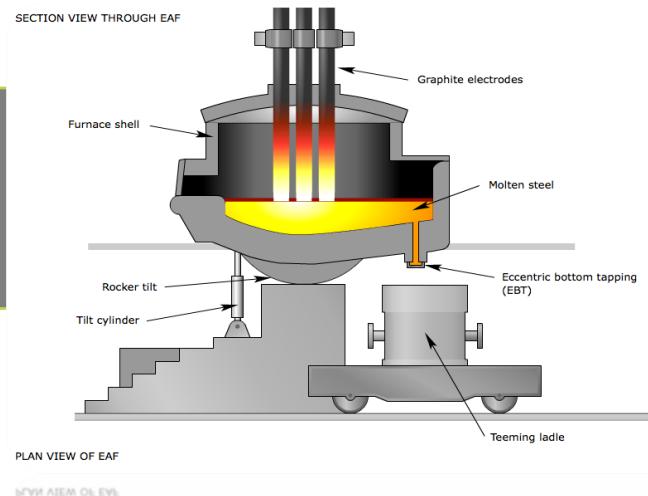
Fattori che determinano qualità e costo:

- Pezzatura
- CRI (Indice di Reazione del Coke)
- CSR (Resistenza del Coke dopo Reazione)

## Biocarbone



## I carboni (pet coke e pece) sono anche la materia prima per la costruzione degli elettrodi dei forni elettrici



Si consumano  $0.8-1.2\text{kg}_{\text{elettrodo}}/\text{t}_{\text{acciaio}}$

+

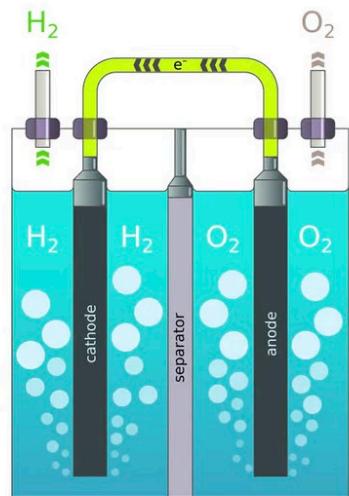
Carbone utilizzato come vettore energetico per ricarburare il bagno

$3-25\text{kg}_{\text{antracite/coke}}/\text{t}_{\text{acciaio}}$

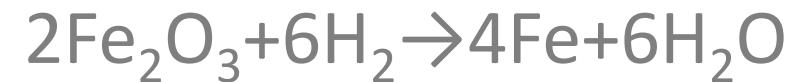
## H<sub>2</sub>

La produzione del cosiddetto idrogeno verde è interessante dal punto di vista dell'eliminazione della CO<sub>2</sub> ma vi è una serie di ostacoli applicativi:

- sicurezza del trasporto (es. valvole e flange) e dello stoccaggio di grandi quantità;
- Il consumo di risorse locali di acqua dolce;
- consumi elettrici (5kWh/m<sup>3</sup><sub>H2</sub>);
- elevati costi degli elettrolizzatori basati sulle leghe di Ni.

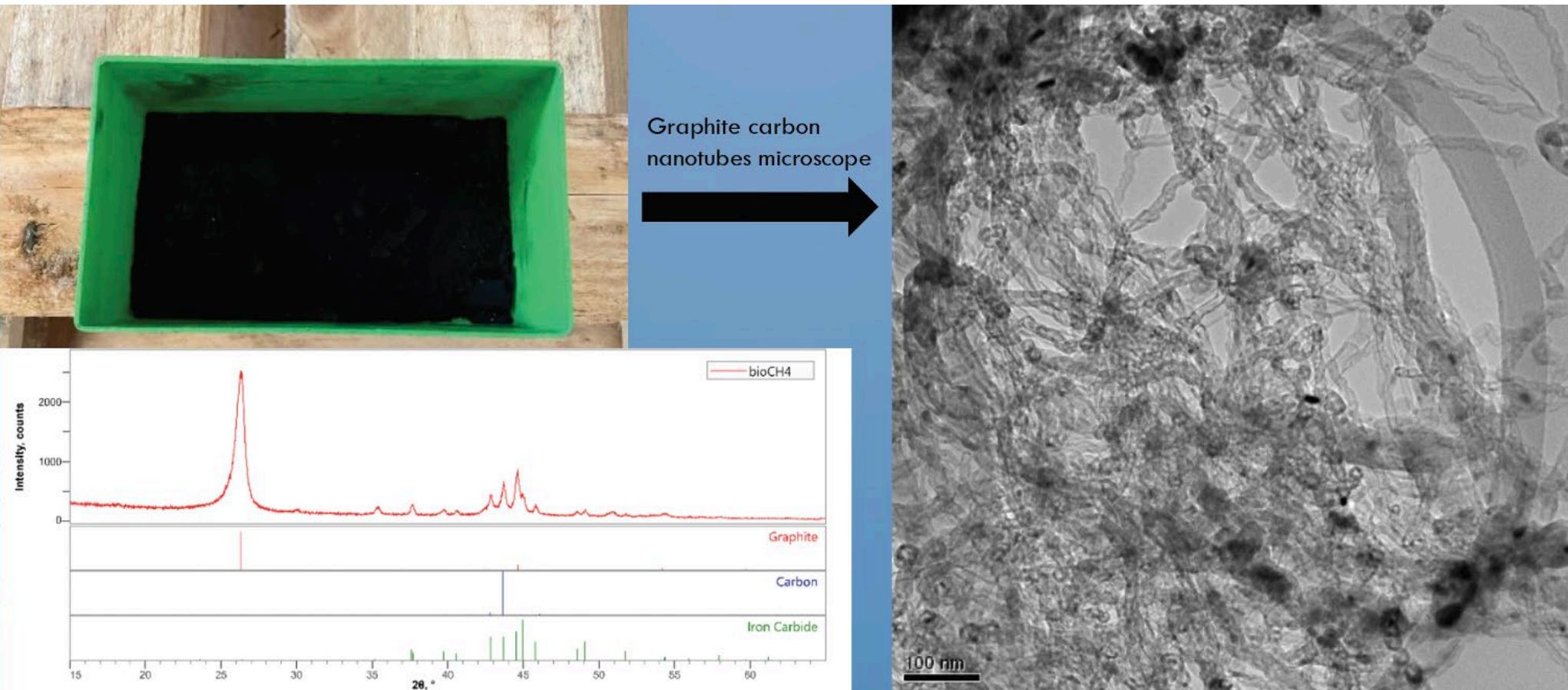


Classic Electrolysis Cell Configuration



## Pirolisi del gas naturale con ottenimento di due materie prime

H<sub>2</sub> e C solido



Su permesso di  
i-H<sub>2</sub>

## Gas Naturale

Un altoforno può consumare da  $75-200\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{ghisa}}$  di gas naturale (Processo usato negli USA) in sostituzione del polverino.

I preriduttori consumano  $270-300\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{DRI}}$

EAF consuma da  $15-20\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{acciaio}}$

I forni di riscaldamento a servizio dei laminatoi consumano  $25-30\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{acciaio}}$





## Calcare e Calce



(UNICALCE - Brembilla)



Il calcare si usa direttamente negli altoforni per calmierare la temperatura e equilibrare la presenza della silice che renderebbe la scoria troppo viscosa.

Consumo di calcare: 25-30kg/t<sub>ghisa</sub>

Nei forni elettrici e nei forni di conversione della ghisa in acciaio la CaO si usa per rimuovere il fosforo (defosforazione).

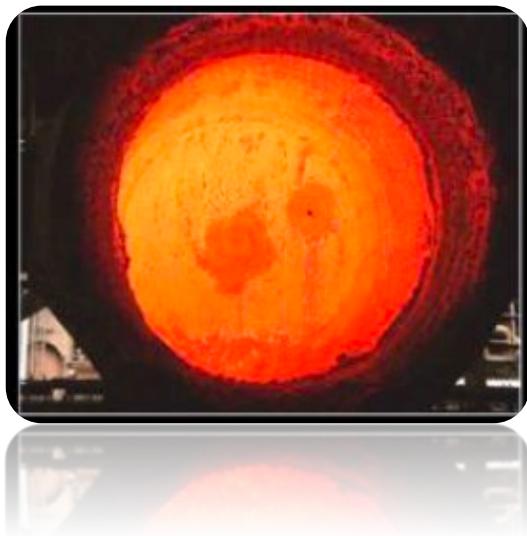
EAF: 25-90kg/t<sub>acciaio</sub>

BOS-BOF: 30-67kg/t<sub>acciaio</sub>

Negli impianti di metallurgia secondaria (forni siviera) la CaO si usa per rimuovere lo zolfo.

**SENZA CALCARE E CALCE NON SI PUÒ PRODURRE ACCIAIO**

## I refrattari



Sono materiali di natura ceramica.  
Devono proteggere dal calore e dal metallo liquido la carpenteria metallica degli impianti.

Evitano eccessive dispersioni del calore.

Devono resistere all'aggressione chimica delle scorie.

Refrattari ricchi in silice ( $\text{SiO}_2$ ) ed allumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )  
si utilizzano per gli altoforni.

Refrattari a base di magnesite o calce-magnesiaca  
( $\text{MgO}.\text{CaO}$ , es. dolomite) sono utilizzati nei convertitori  
ad ossigeno, nei forni elettrici e nei forni siviera.

Si devono sempre usare refrattari con composizioni  
chimiche analoghe alle scorie con cui sono in contatto!

L'approvvigionamento dei refrattari e la loro  
manutenzione è uno dei costi vivi più significativi  
dell'esercizio siderurgico e la loro qualità impatta  
significativamente sulla sicurezza.

Consumo BOS/BOF-EAF: 5-50kg/t<sub>acciaio</sub>

## Minerali Ferrosi



<b>Magnetite (Ferro magnetico)</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
<b>Maghemite</b>	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
<b>Hematite (Ematite rossa o ferro oligisto)</b>	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
<b>Limonite (Ematite bruna)</b>	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
<b>Siderite (Ferro spatico)</b>	$\text{FeCO}_3$
<b>Pyrite</b>	$\text{FeS}_2$

I più utilizzati sono Hematite e Maghemite

acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM



**MACINATO E ARRICCHITO**



**LUMP**



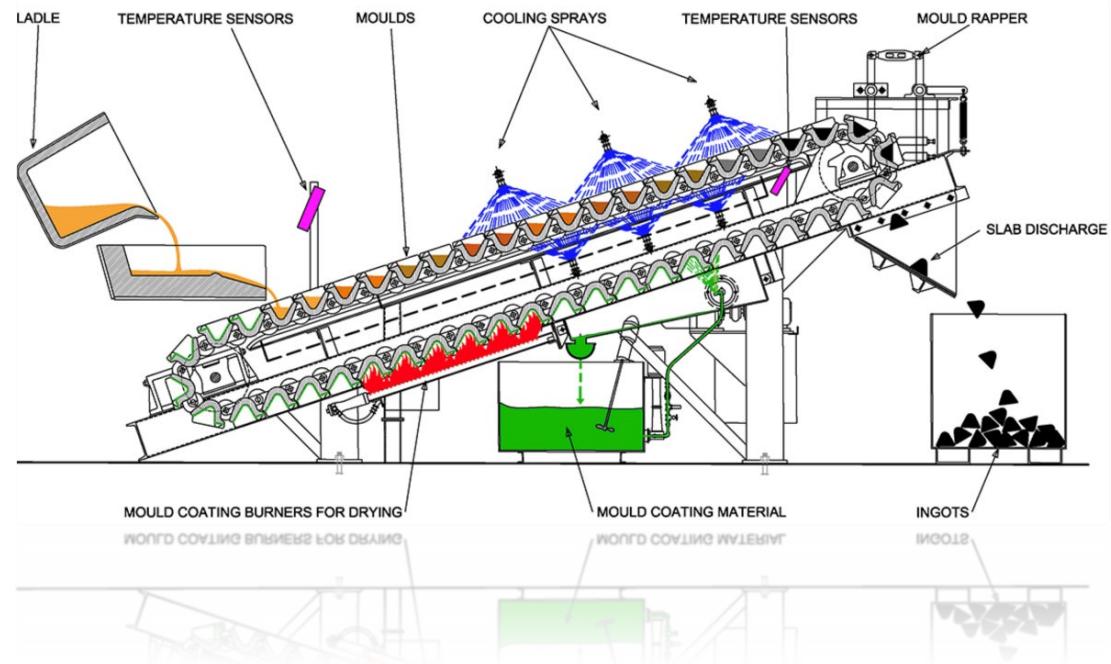
**SINTERIZZATO**



**PELLETS**

# acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

## Ghisa



**4-4.3%C**  
**Fonde a 1.148°C**  
**È un significativo vettore di P e S**



## Rottami



**Parametri fisico-chimici che governano la valorizzazione**

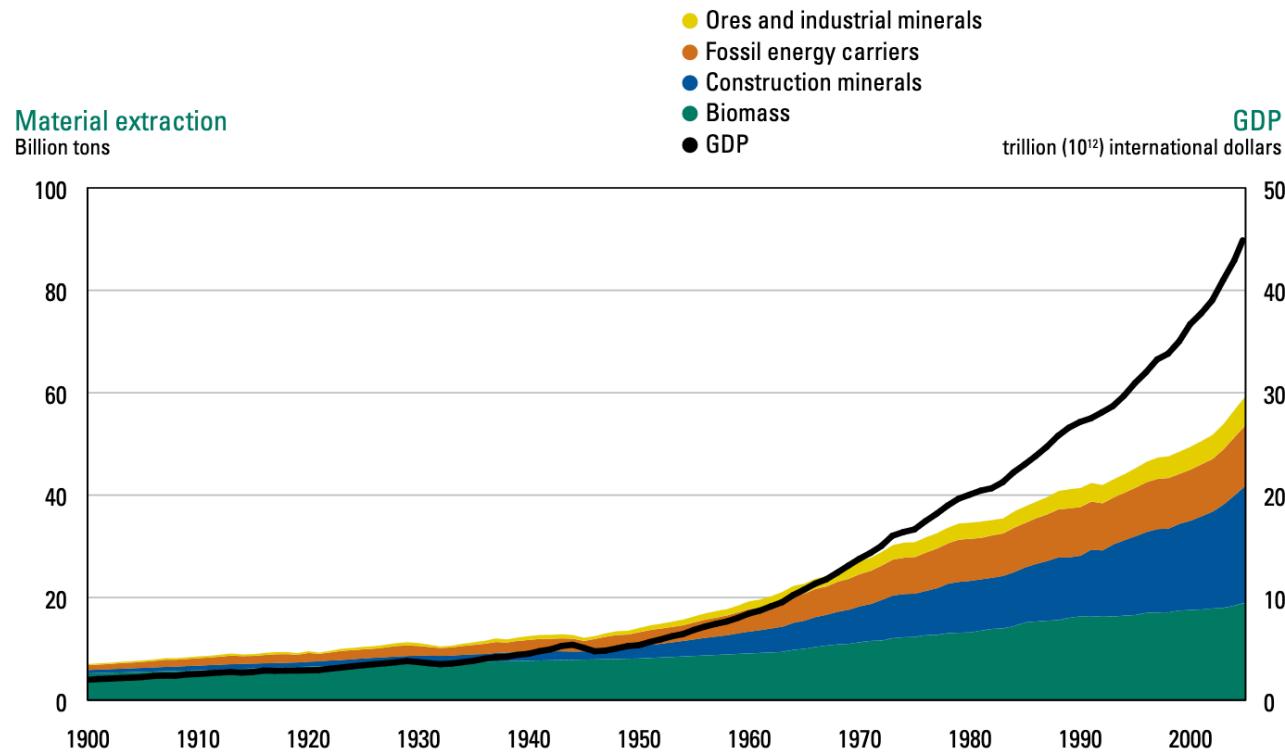
**Pezzatura**

**Composizione chimica (in particolare concentrazione di Cu e Sn)**

**Trascinamento di materiali inerti o di altri metalli**

**Densità apparente**

## Il disaccoppiamento tra estrazione delle risorse ed il benessere



Source: Krausmann *et al.*, 2009



# La CO<sub>2</sub> e il riscaldamento globale

## Climate change threats to population health and well-being: The imperative of protective solutions that will last

April 2013 · *Global Health Action* 6(1):1-9

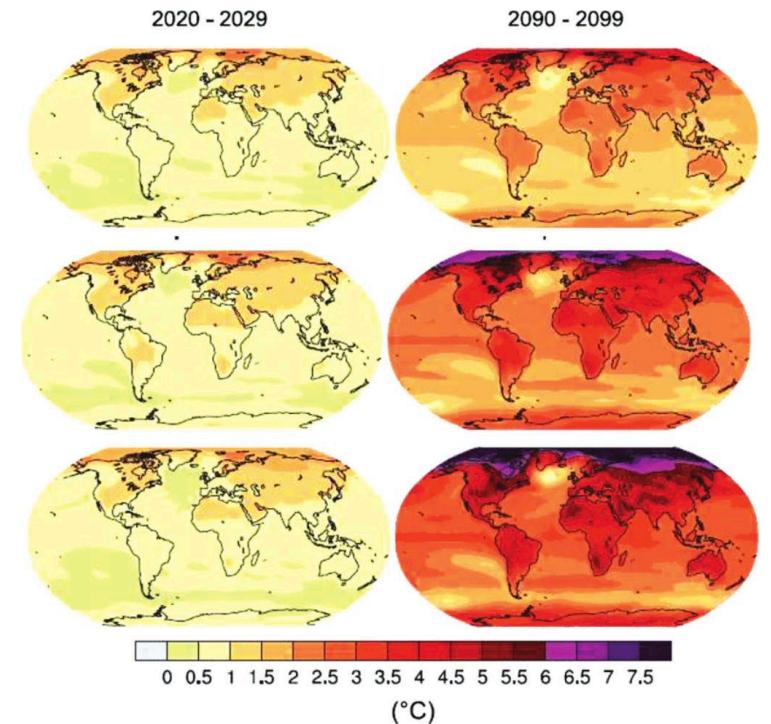
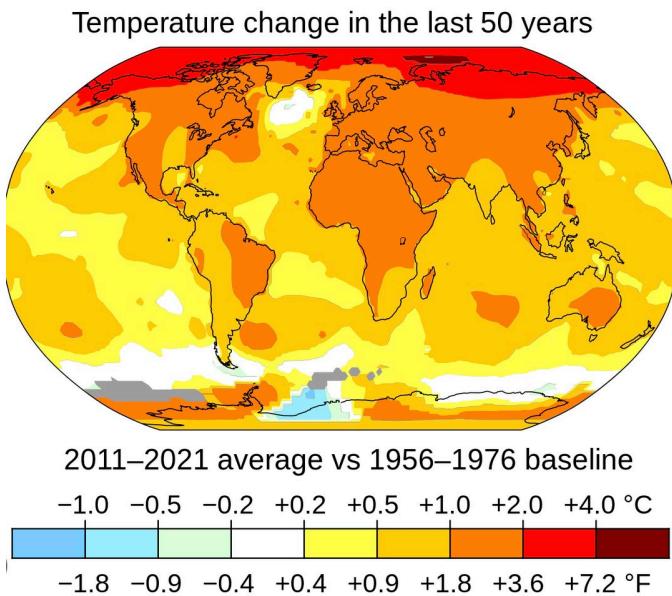
DOI: [10.3402/gha.v6i0.20816](https://doi.org/10.3402/gha.v6i0.20816)

Source · [PubMed](#)

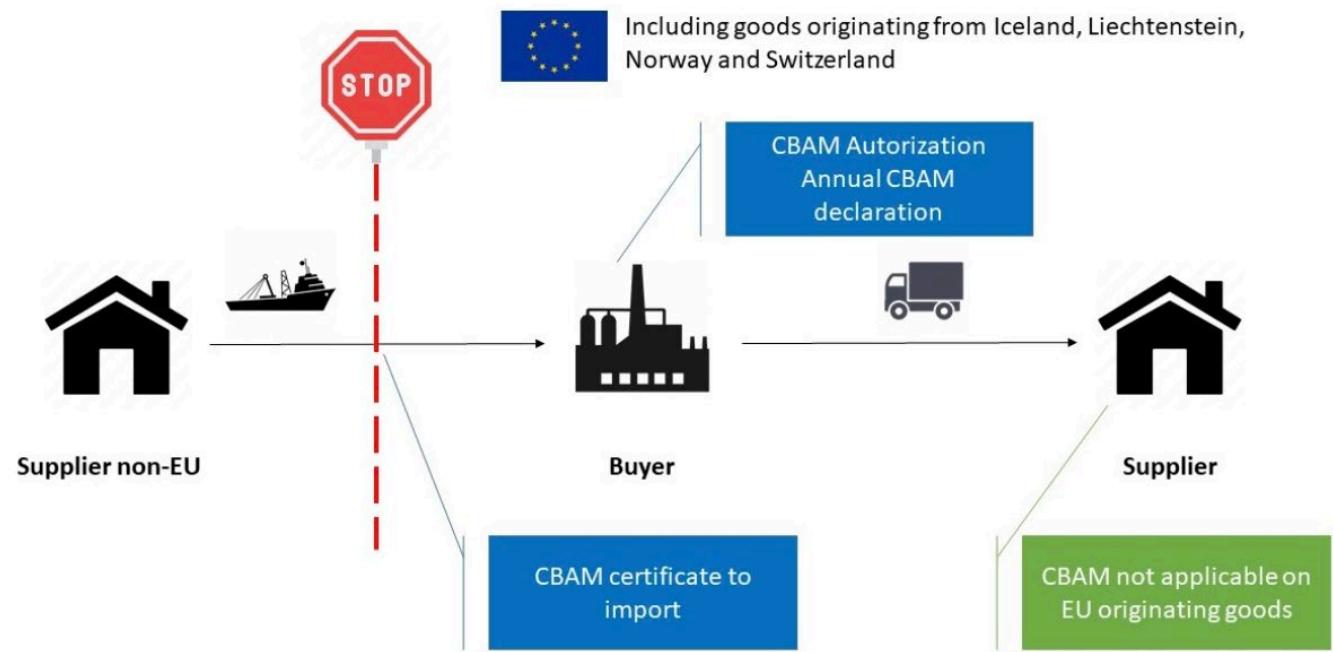
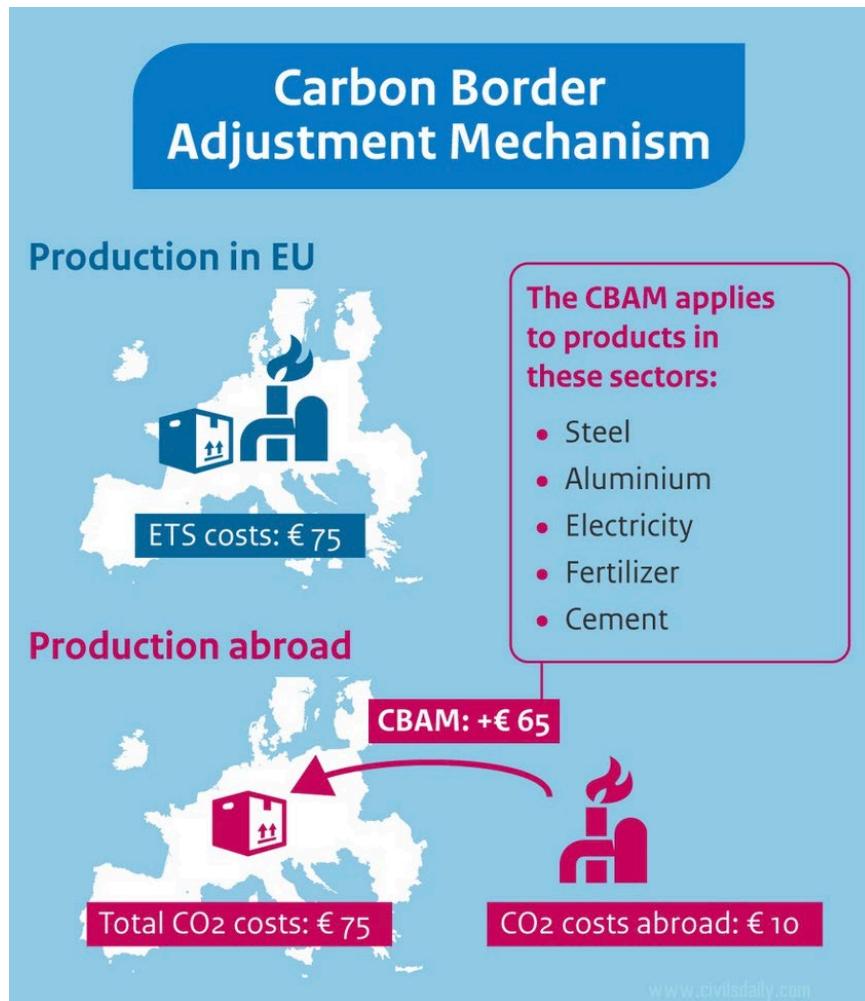
License · [CC BY 4.0](#)

Retraction notice · [Corrigendum to 'Climate change threats to population health and well-being: The imperative of protective solutions that will last \[Global Health Action, 6 \(2013\) 20816\] DOI: 10.3402/gha.v6i0.20816](#)

 Tord Kjellstrom · Anthony J McMichael



# CBAM Carbon Border Adjusting Mechanism



Nowadays the allowancies price of CO<sub>2</sub> is 85€/tCO<sub>2</sub>

## Le categorie delle emissioni

### Scopo 1

Emissioni dirette di gas clima-alteranti da parte degli impianti produttivi

### Scopo 2

Emissioni di gas clima-alteranti associati alla catena logistica e di approvvigionamento dell'energia

### Scopo 3

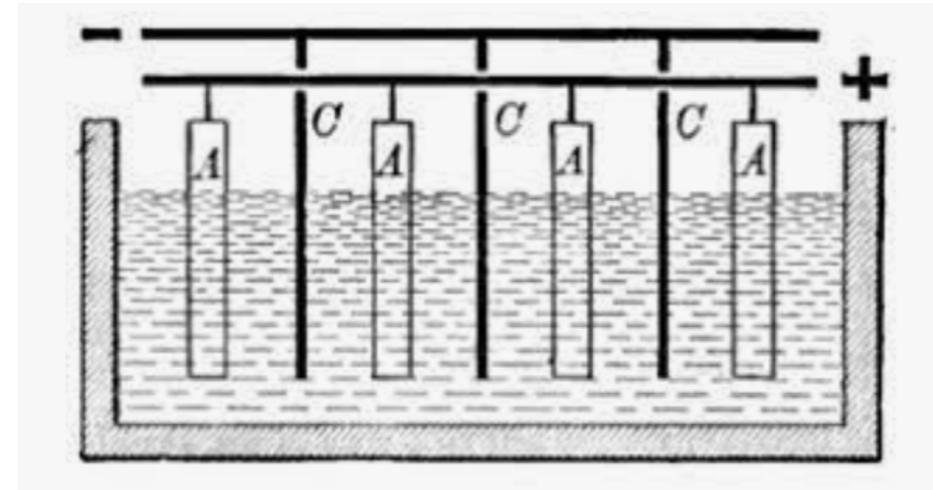
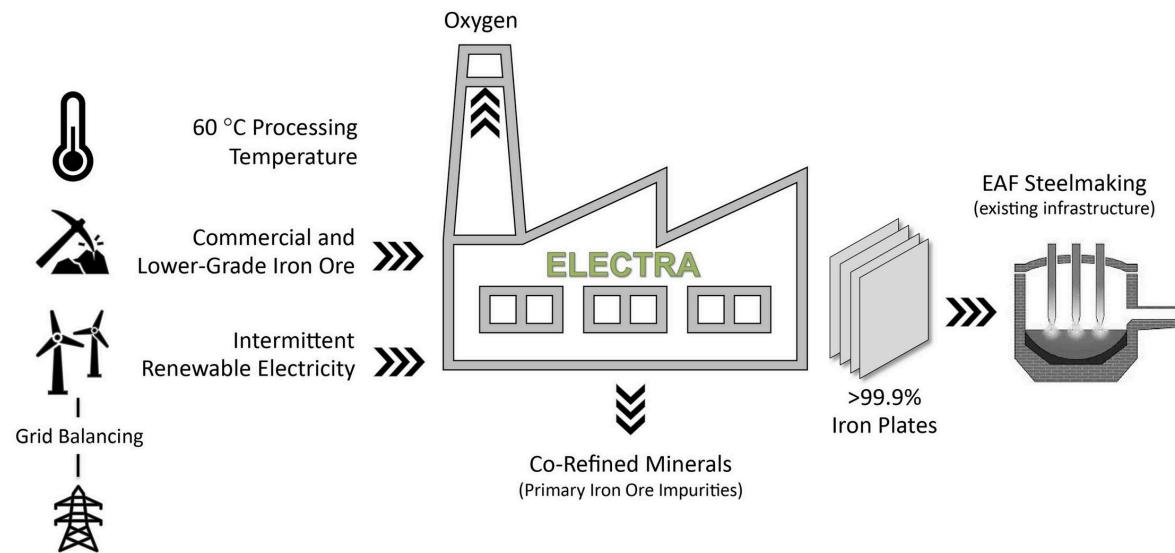
Emissioni di gas clima-alteranti coinvolte nella produzione ed approvvigionamento delle materie prime



acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

# Completa elettrificazione del processo siderurgico

# Riduzione Elettrochimica electra.earth

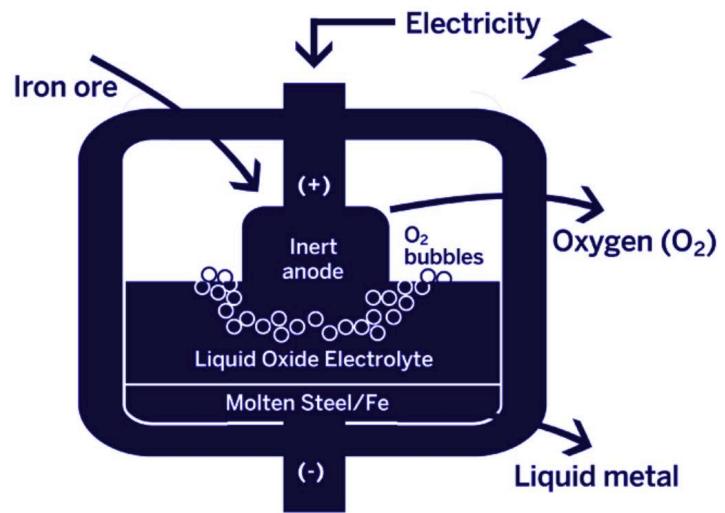


## Low-Grade Iron Ore Opportunity

We've cracked the code of dissolving iron ore and removing impurities while retaining iron in aqueous solution, thereby unlocking immense opportunity to use low-grade ores. These ores are treated as waste today because of high levels of phosphorus, silica, and alumina impurities. Using low-grade ores decreases our operating costs and creates economic value.

Non ci sono informazioni circa il consumo elettrico ed il tipo e costo dei solventi utilizzati.

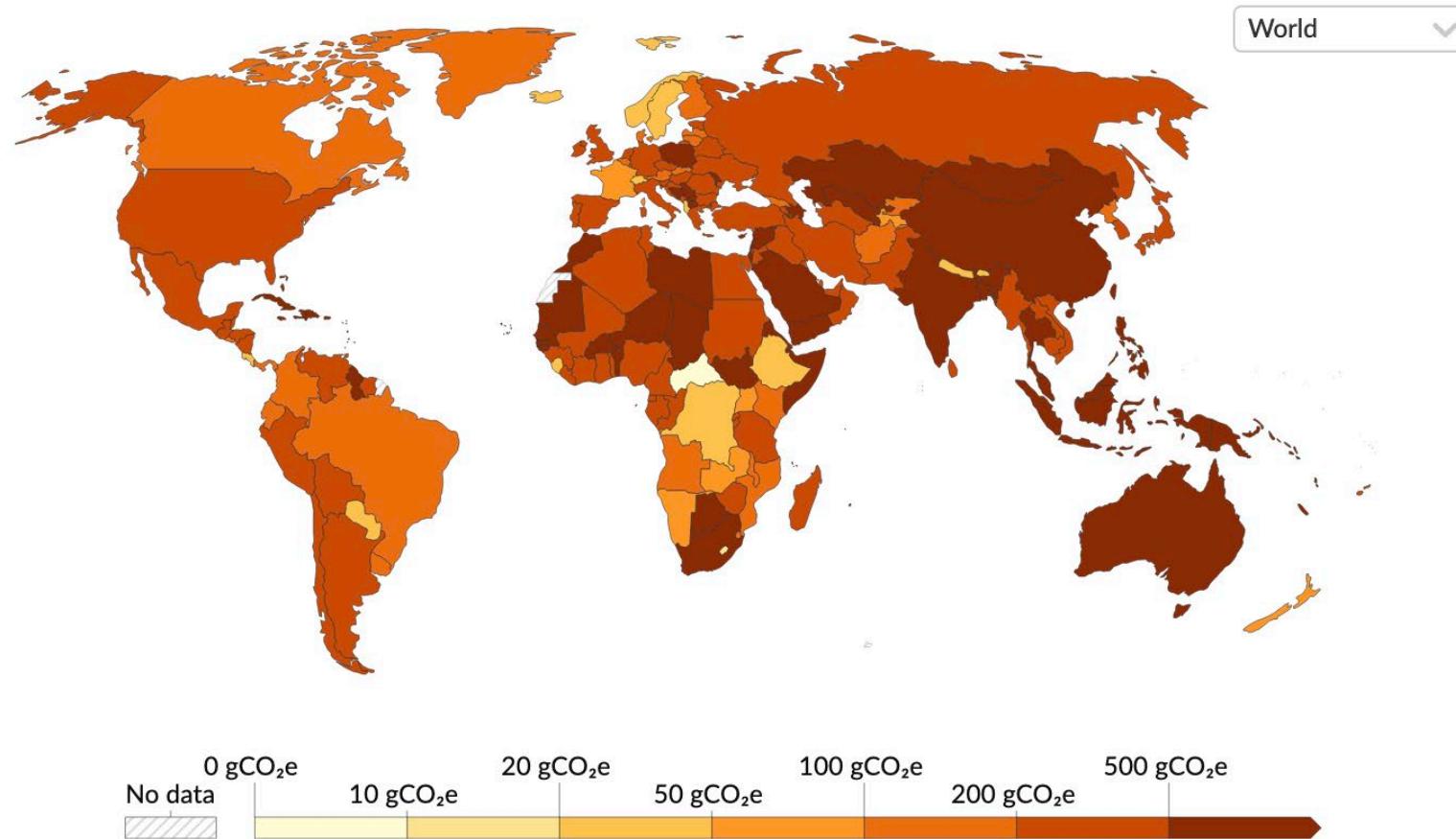
## Smelting elettrico Boston Metals



Reducing Agent	Electrons
Feedstock	Concentrates or pure oxides
Electrolyte	Molten oxides (CaO, MgO, etc.)
Containment	Refractory or frozen ledge
Temperature	Up to 2,000°C
Product	Pure metals or alloys

Il consumo di energia elettrico accertato non è sostenibile 4MWh/t<sub>acciaio</sub>

# Intensità nell'emissione di CO<sub>2</sub> per produrre 1kWh<sub>e</sub>

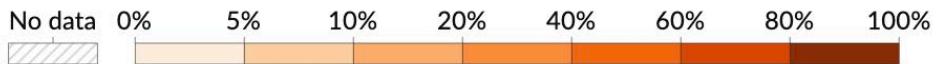
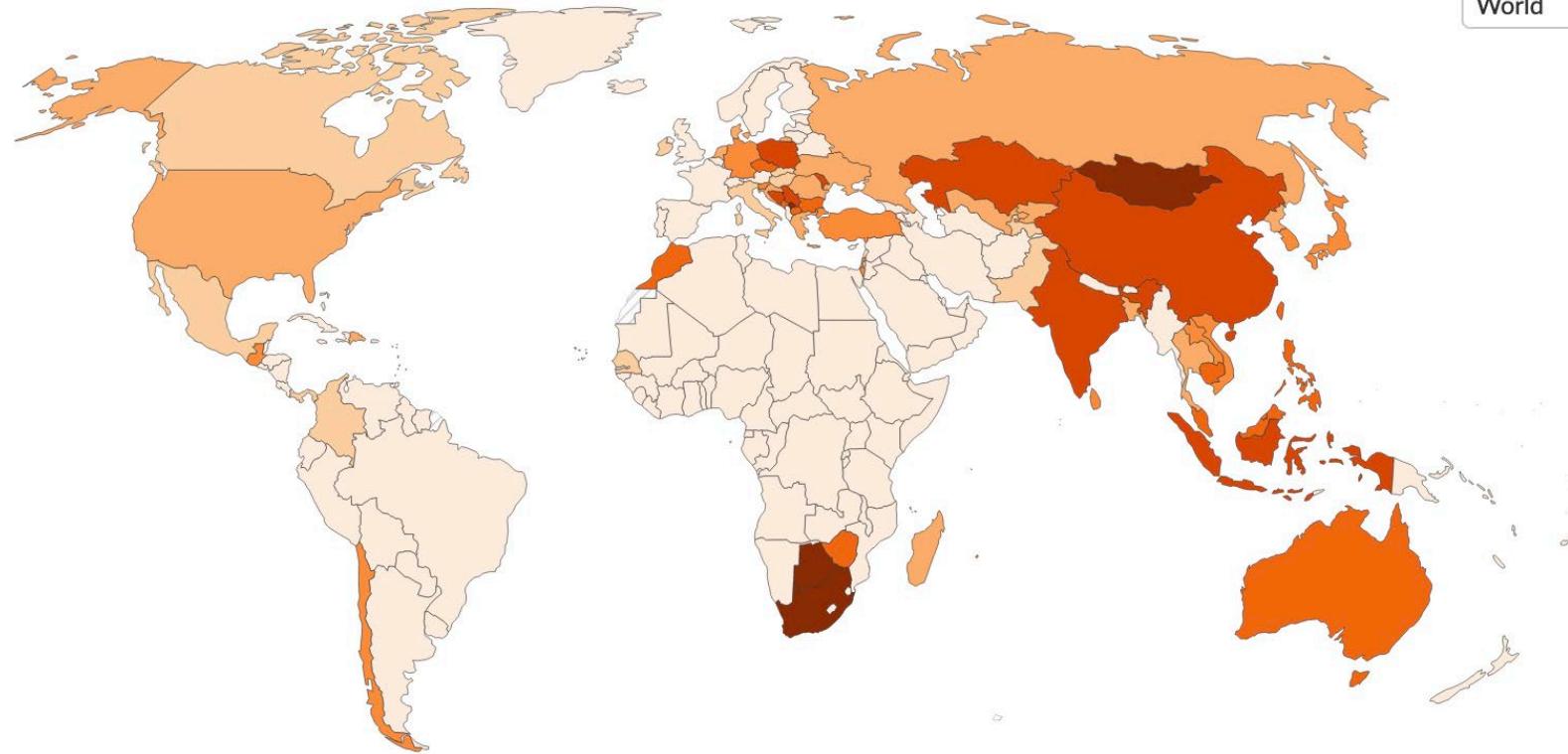


Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/energy • CC BY

## Share of electricity production from coal, 2022

Our World  
in Data

World

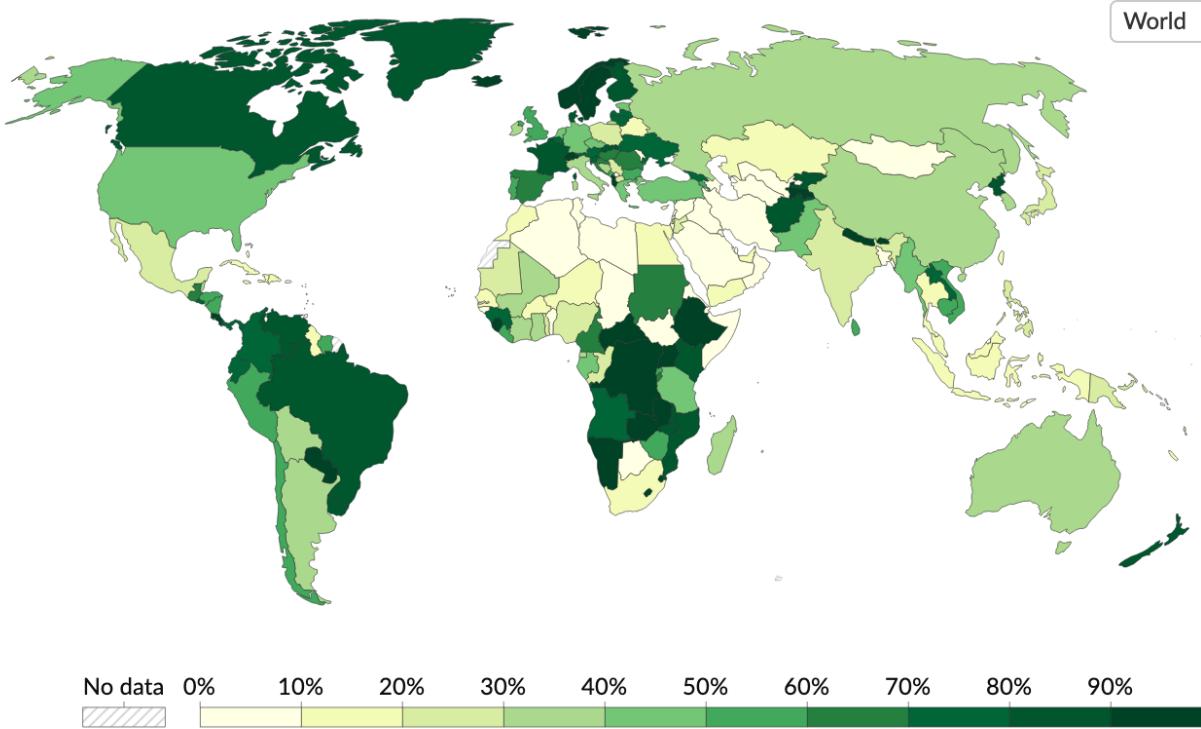


Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/energy • CC BY

acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

Share of electricity from low-carbon sources, 2022

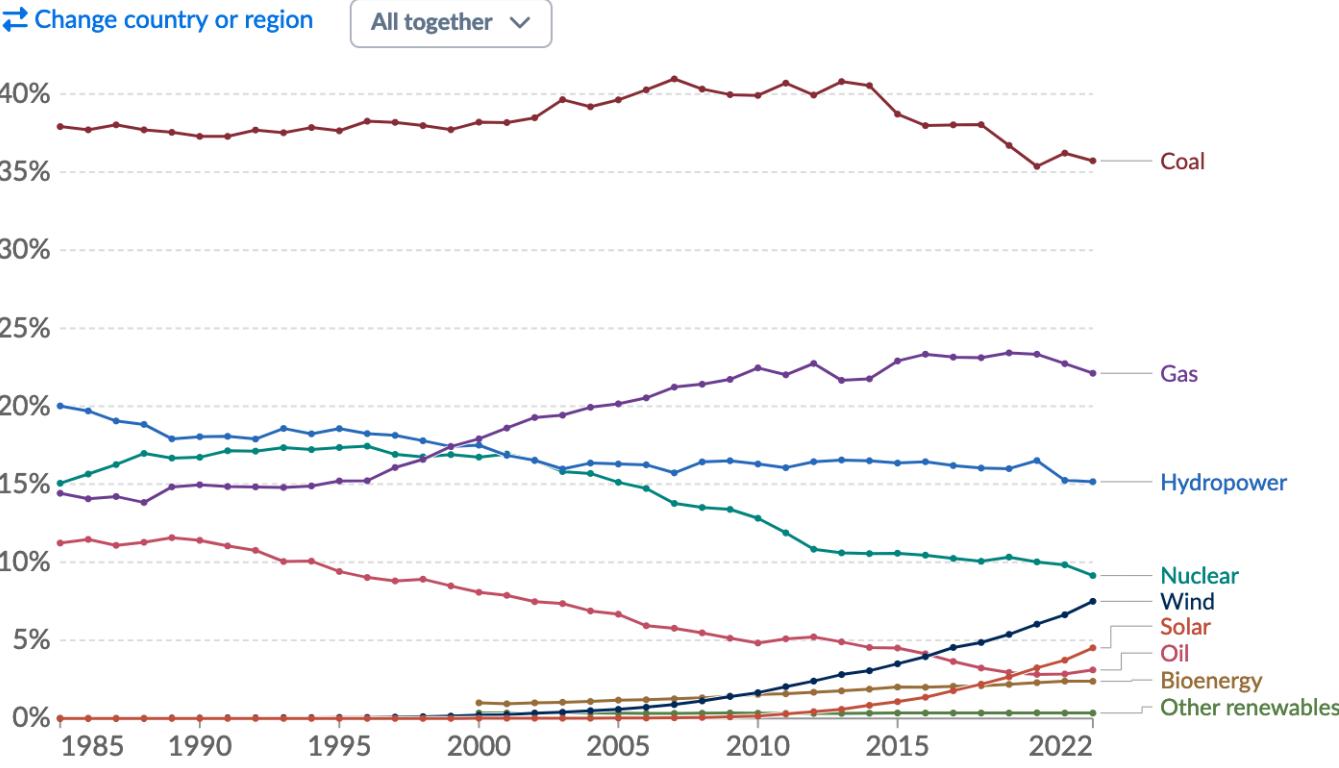
Low-carbon electricity is the sum of electricity from nuclear and renewable sources (including solar, wind, hydropower, biomass and waste, geothermal and wave and tidal).



Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/low-carbon-electricity-by-country • CC BY

Share of electricity production by source, World

Our World in Data



Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy  
OurWorldInData.org/energy • CC BY

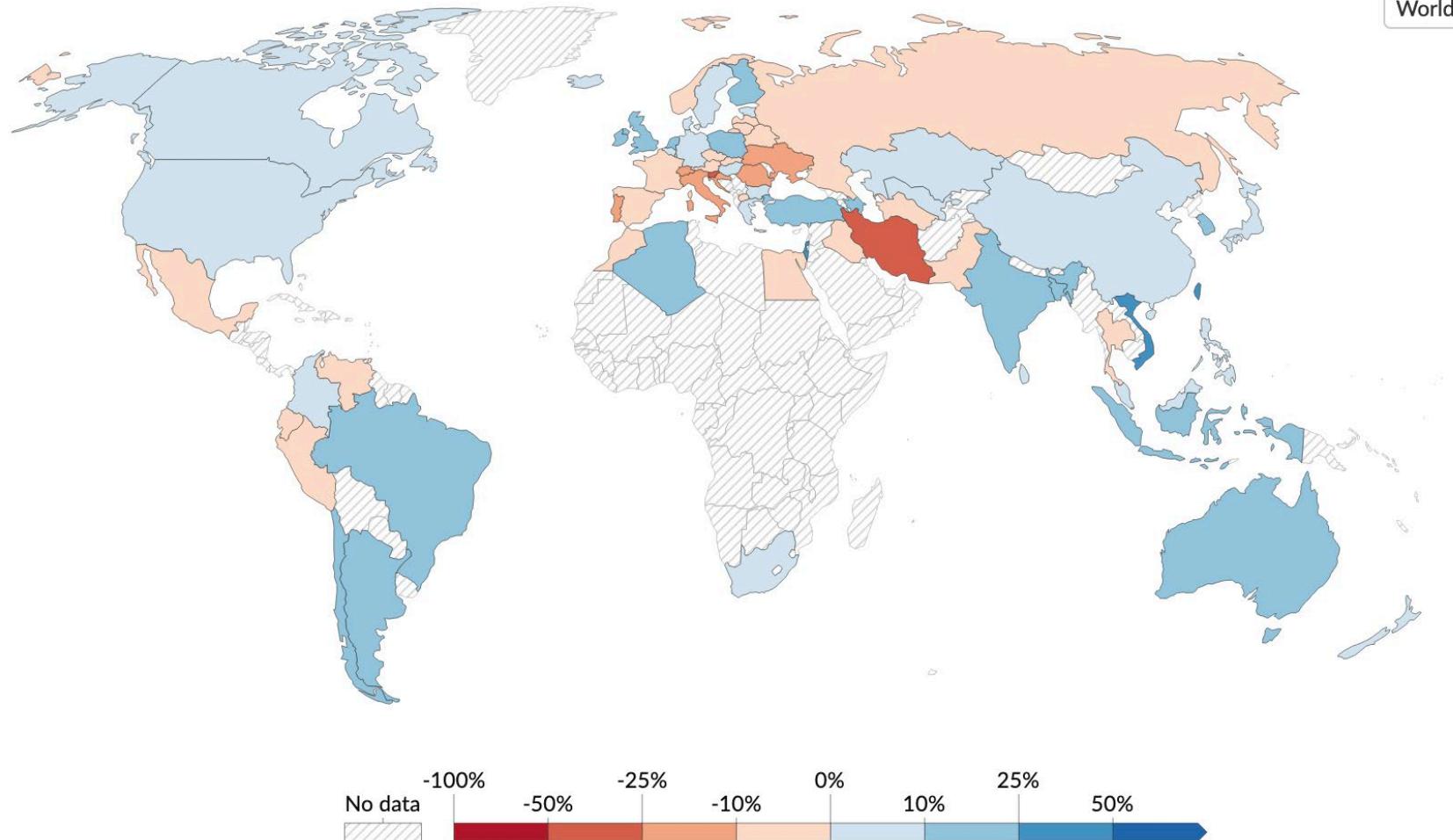
# acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

## Annual percentage change in renewable energy generation, 2022

Shown is the percentage change in renewable energy generation relative to the previous year. This is the sum of energy from hydropower, solar, wind, geothermal, wave and tidal, and bioenergy.

Our World  
in Data

World



Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)

OurWorldInData.org/energy • CC BY



acciaio: transizione ecologica tra materie prime, mercato e CBAM

## Sfruttamento della biomassa (carbone da fonte biogenica)

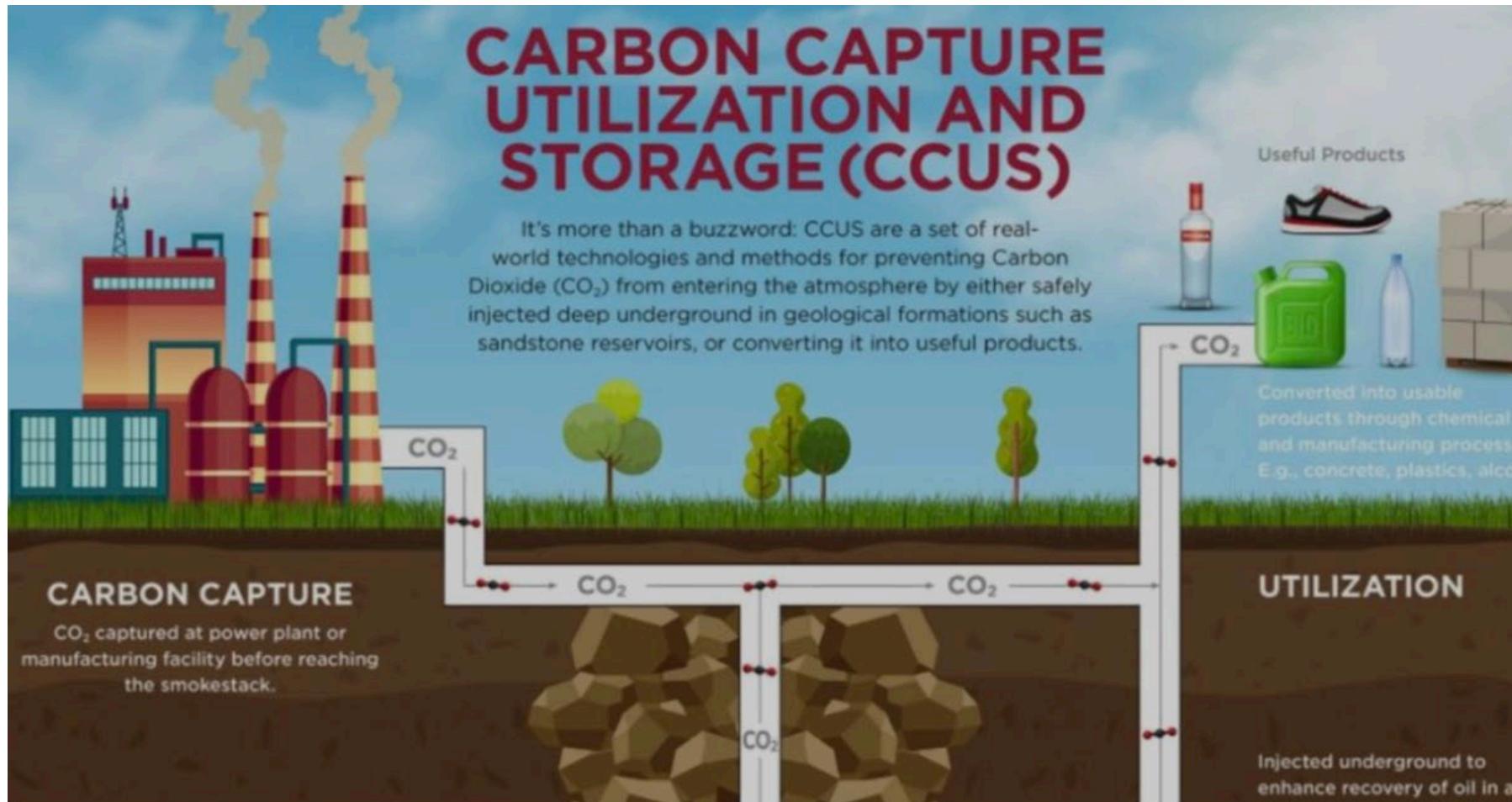
# Lo smelting mediante biocarbone



$0.32t_{\text{biochar}} - 550\text{kWh}/t_{\text{Fe}}$



## Cattura ed uso della CO<sub>2</sub> (CCUS)



## Iniziative autorizzate per la CCUS



Ravenna