

POLITECNICO
MILANO 1863

Siderurgia

Sfida della Decarbonizzazione

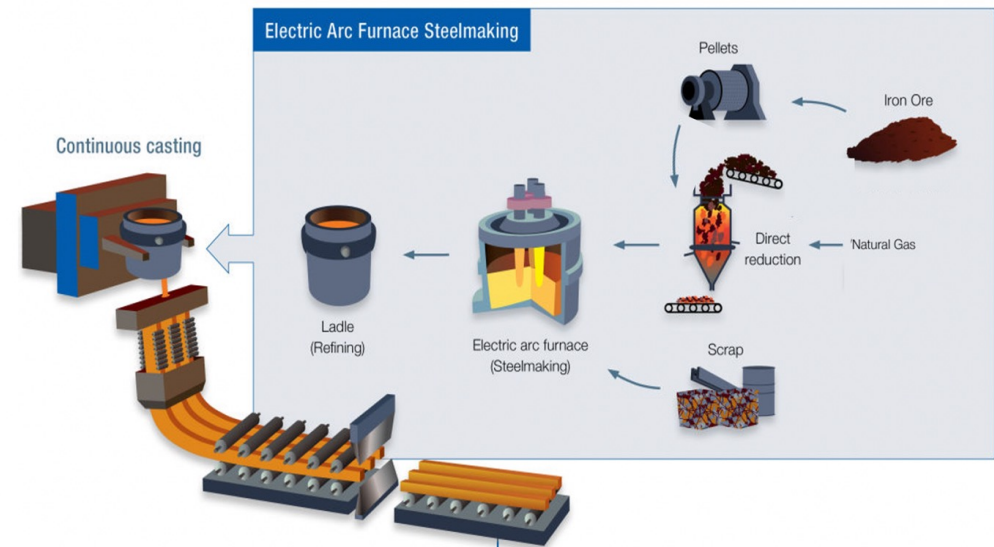
Prof. Ing. Carlo Mapelli

Milano, 13 novembre 2023

I principali cicli siderurgici



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



Da rottame
 $150\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{t}_{\text{steel}}$
 Spugna di ferro da minerale e CH_4 $850\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{t}_{\text{steel}}$

Minerali Ferrosi



Magnetite (Ferro magnetico)	Fe_3O_4
Maghemite	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Hematite (Ematite rossa o ferro oligisto)	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
Limonite (Ematite bruna)	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Siderite (Ferro spatico)	FeCO_3
Pyrite	FeS_2

I più utilizzati sono Hematite e Maghemite

Rottami



Parametri fisico-chimici che governano la valorizzazione

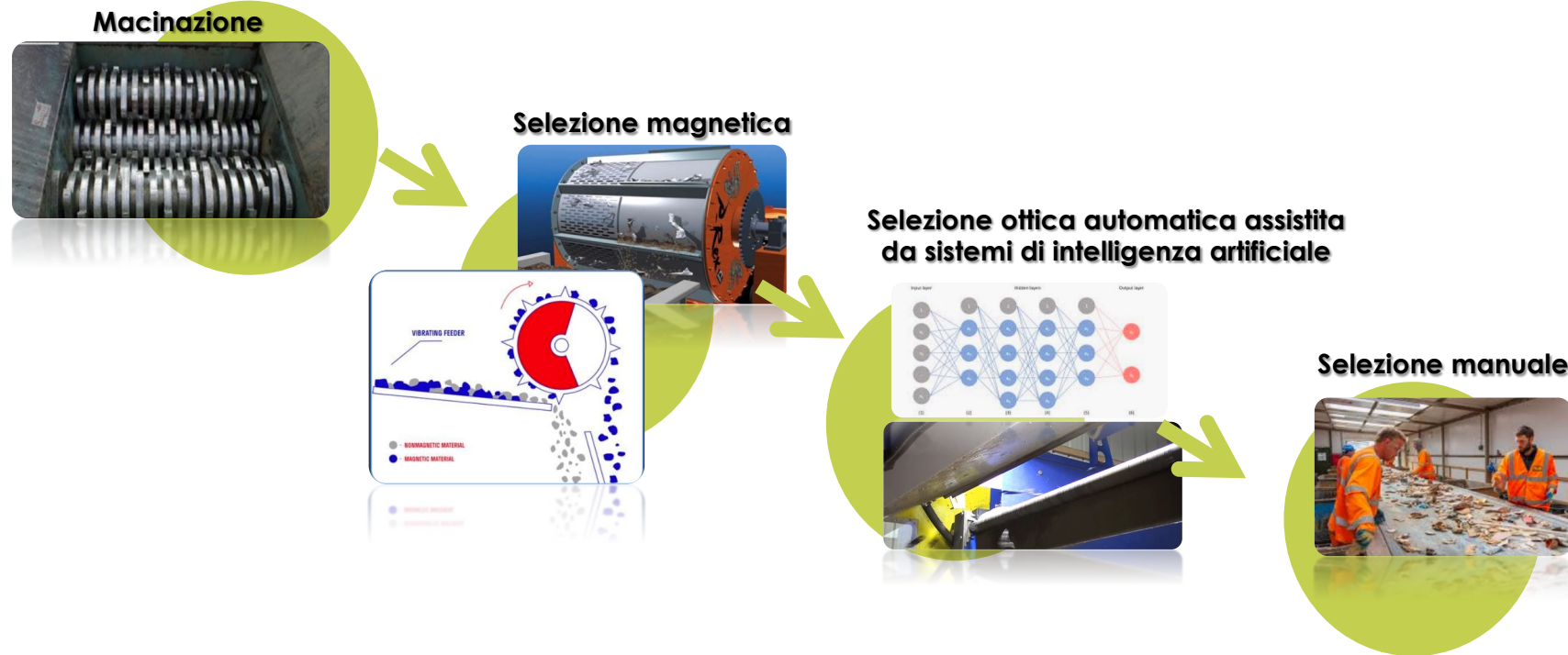
Pezatura

Composizione chimica (in particolare concentrazione di Cu e Sn)

Trascinamento di materiali inerti o di altri metalli

Densità apparente

Selezione e preparazione dei rottami & sviluppo di servizi dedicati al miglioramento della qualità



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

I carboni



Antracite

Composizione dei carboni fossili

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.



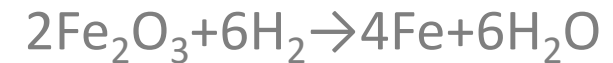
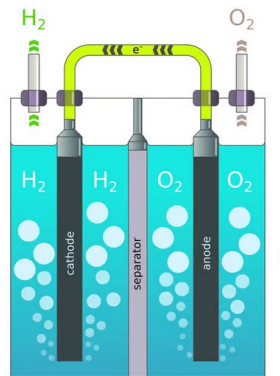


La via dell'idrogeno?

H₂

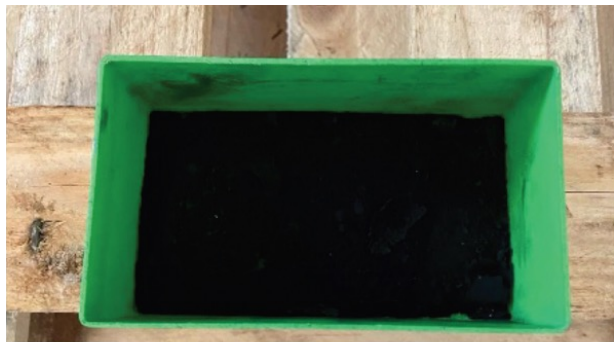
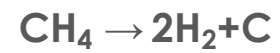
La produzione del cosiddetto idrogeno verde è interessante dal punto di vista dell'eliminazione della CO₂ ma vi è una serie di ostacoli applicativi:

- sicurezza del trasporto (es. valvole e flange) e dello stoccaggio di grandi quantità;
- Il consumo di risorse locali di acqua dolce;
- consumi elettrici (5kWh/m³_{H₂});
- elevati costi degli elettrolizzatori basati sulle leghe di Ni.

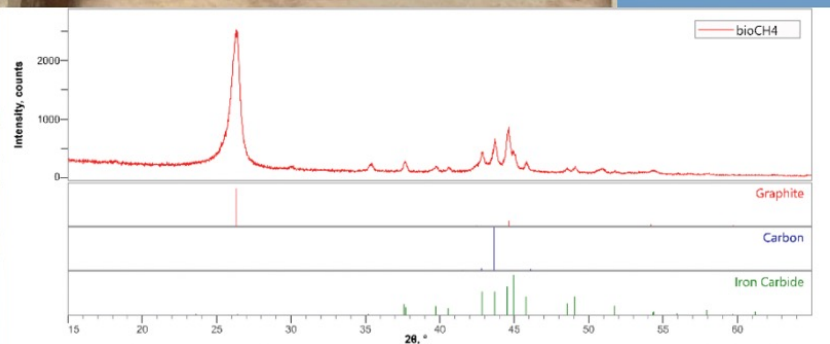
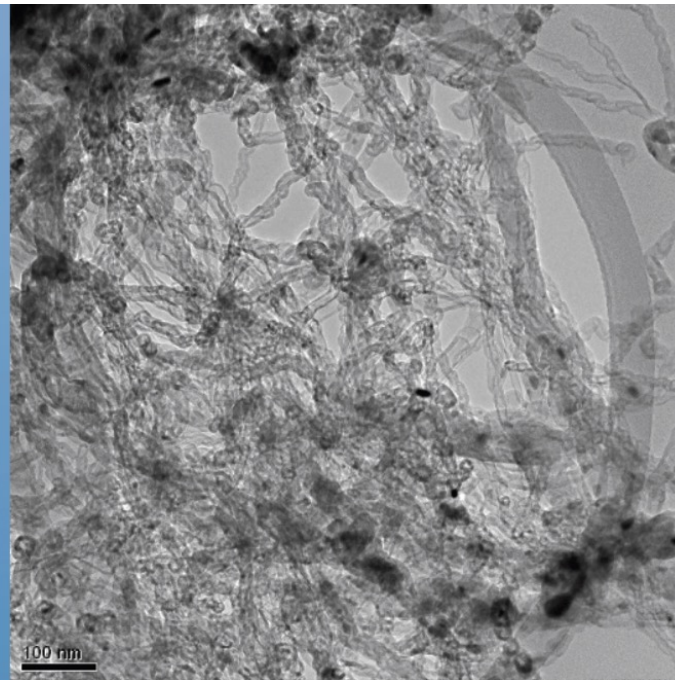


Pirolisi del gas naturale con ottenimento di due materie prime

H₂ e C solido



Graphite carbon
nanotubes microscope



Su permesso di
i-H₂

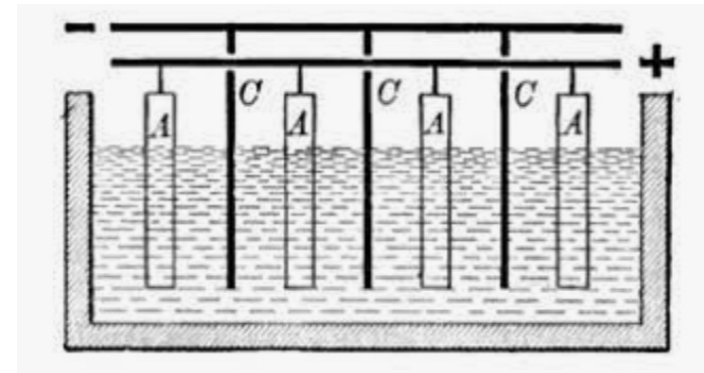
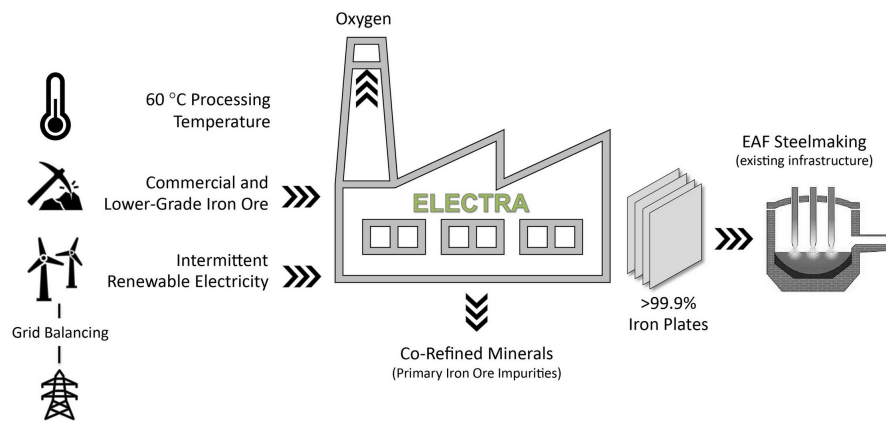


Cattura ed uso della CO₂ (CCUS)?



Completa elettrificazione del processo siderurgico?

Riduzione Elettrochimica electra.earth

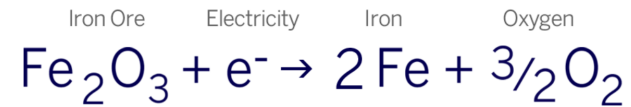
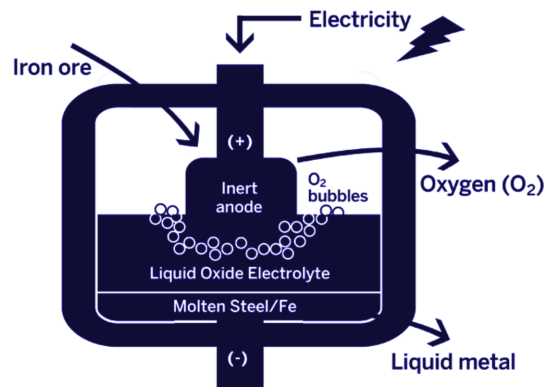


Low-Grade Iron Ore Opportunity

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

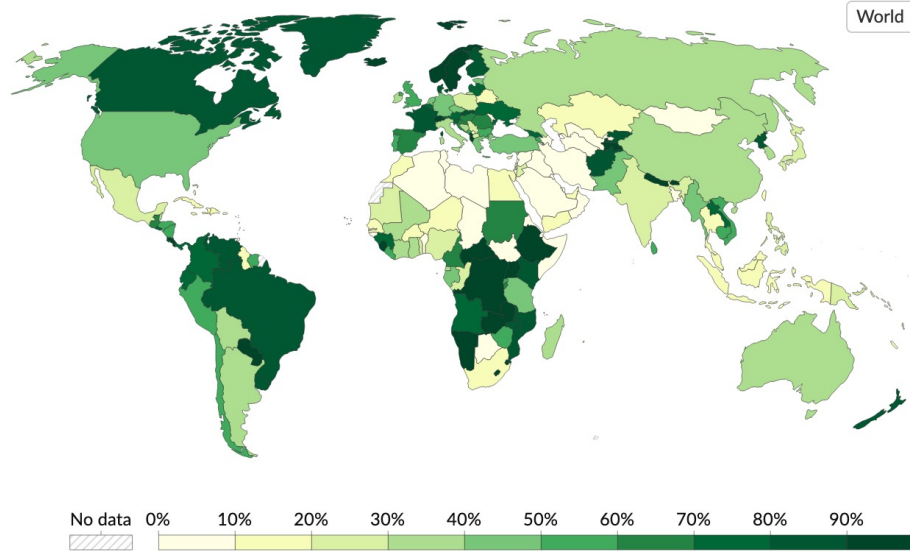


Reducing Agent	Electrons
Feedstock	Concentrates or pure oxides
Electrolyte	Molten oxides (CaO, MgO, etc.)
Containment	Refractory or frozen ledge
Temperature	Up to 2,000°C
Product	Pure metals or alloys

Il consumo di energia elettrico accertato non è sostenibile 4MWh/t_{acciaio}

Share of electricity from low-carbon sources, 2022

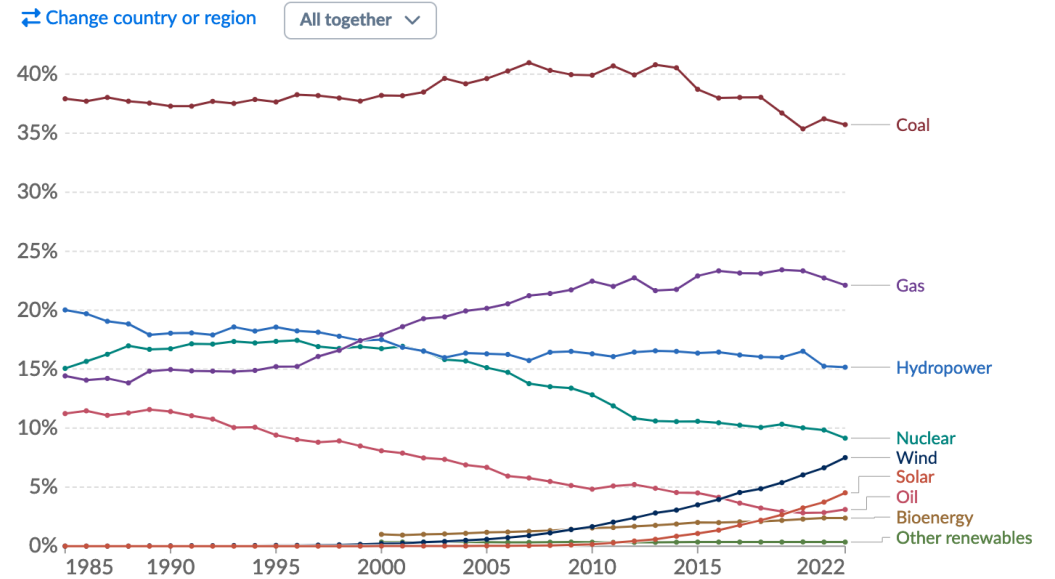
Low-carbon electricity is the sum of electricity from nuclear and renewable sources (including solar, wind, hydropower, biomass and waste, geothermal and wave and tidal).



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



Sfruttamento della biomassa (carbone da fonte biogenica)

Lo smelting mediante biocarbone



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



Biocarbone

