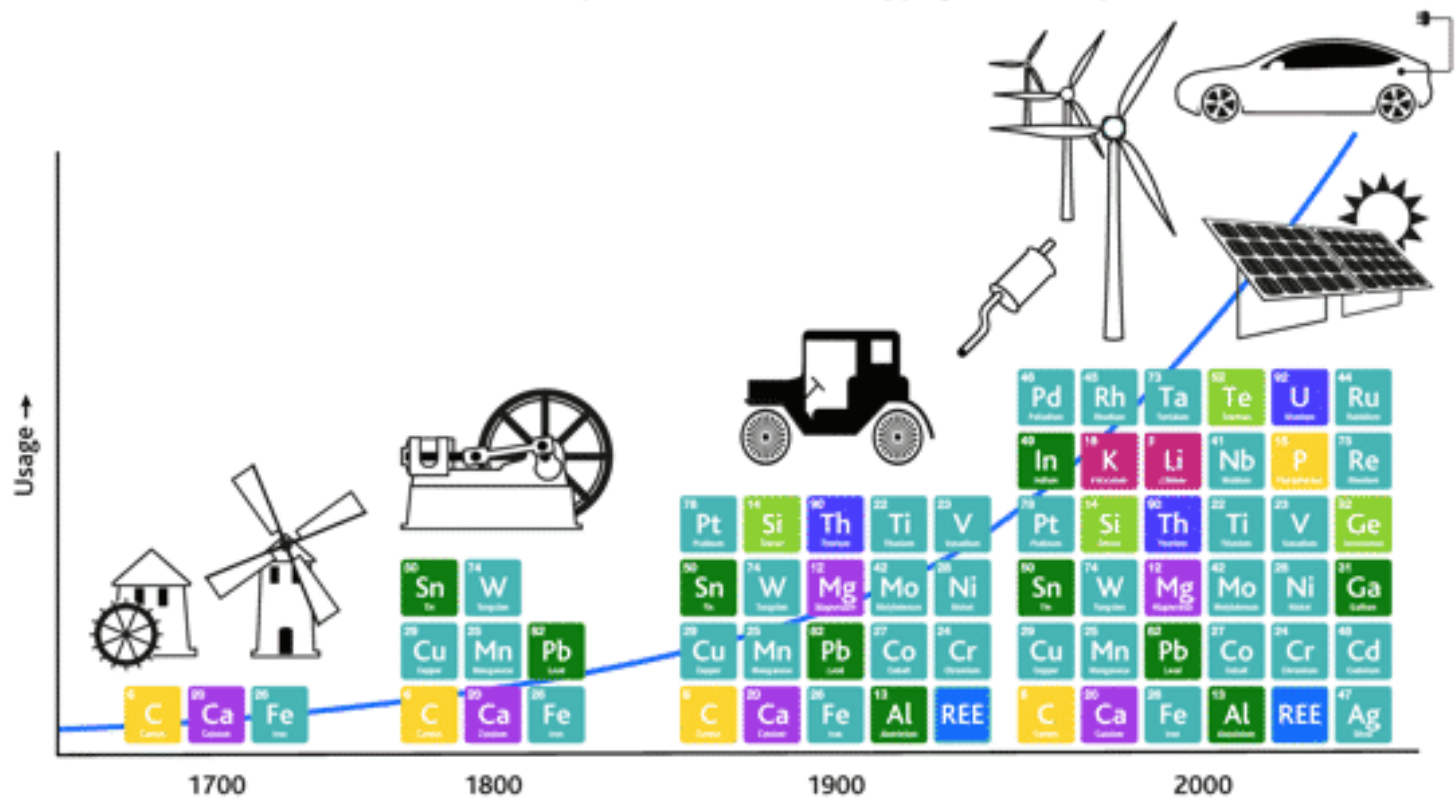


Elements widely used in energy pathways



6 C Carbon	20 Ca Calcium	26 Fe Iron
------------------	---------------------	------------------

50 Sn Tin	74 W Tungsten	
29 Cu Copper	25 Mn Manganese	82 Pb Lead

78 Pt Platinum	14 Si Silicon	90 Th Thorium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium
50 Sn Tin	74 W Tungsten	12 Mg Magnesium	42 Mo Molybdenum	28 Ni Nickel
29 Cu Copper	25 Mn Manganese	82 Pb Lead	27 Co Cobalt	24 Cr Chromium
6 C Carbon	20 Ca Calcium	26 Fe Iron	13 Al Aluminum	REE

46 Pd Palladium	45 Rh Rhodium	73 Ta Tantalum	52 Te Tellurium	92 U Uranium	44 Ru Ruthenium
49 In Indium	19 K Potassium	3 Li Lithium	41 Nb Niobium	15 P Phosphorus	75 Re Rhenium
78 Pt Platinum	14 Si Silicon	90 Th Thorium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	32 Ge Germanium
50 Sn Tin	74 W Tungsten	12 Mg Magnesium	42 Mo Molybdenum	28 Ni Nickel	31 Ga Gallium
29 Cu Copper	25 Mn Manganese	82 Pb Lead	27 Co Cobalt	24 Cr Chromium	48 Cd Cadmium
6 C Carbon	20 Ca Calcium	26 Fe Iron	13 Al Aluminum	REE	47 Ag Silver

Adamantio



Vibranio

La disponibilità di un metallo dipende da:

- Abbondanza naturale (e dispersione)
- Facilità di estrazione e di ottenimento (temperatura)
- Fattori geo-politici

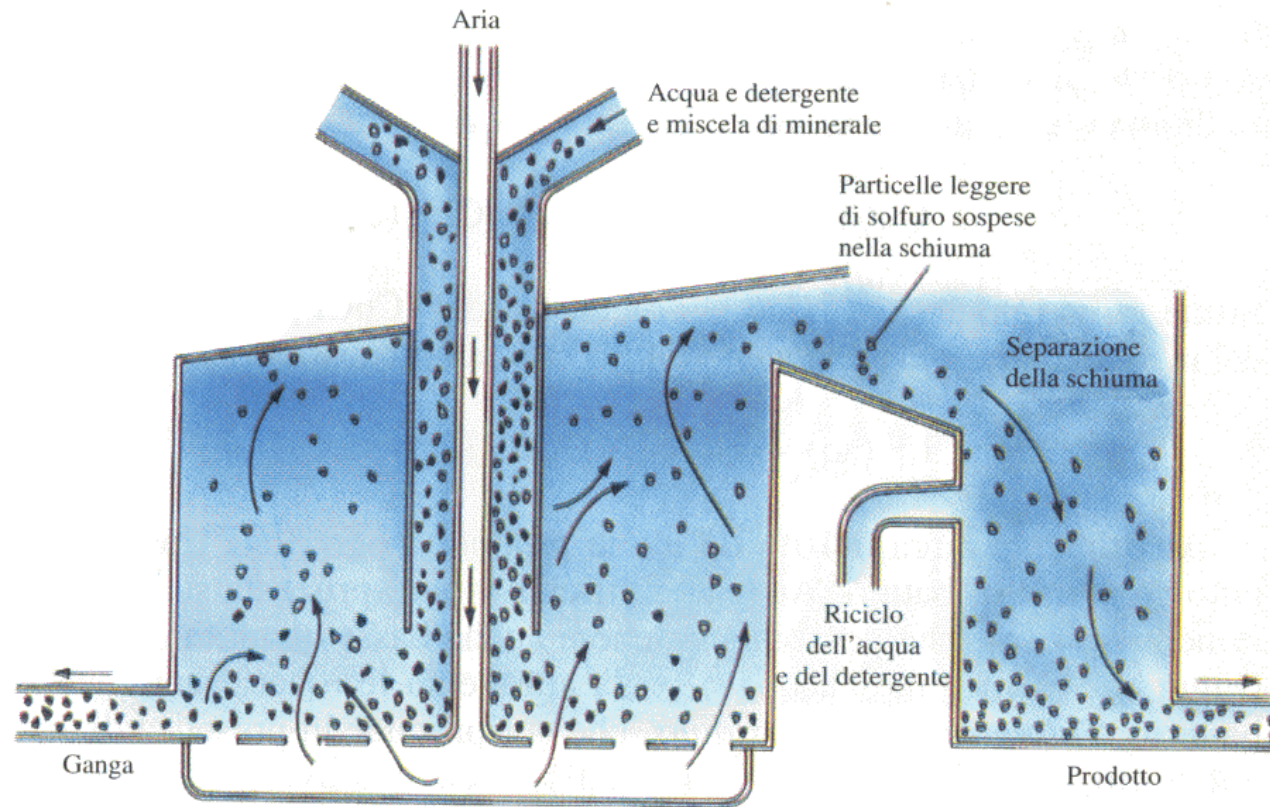
Tranne che per i metalli nativi, la produzione di un metallo prevede di solito un processo di riduzione, chimico o elettrochimico.

I processi estrattivi prevedono spesso dei processi di arricchimento del minerale, per ridurre la percentuale di ganga.

Miniera a cielo aperto di calcopirite, CuFeS_2 di El Chino nel Nuovo Messico

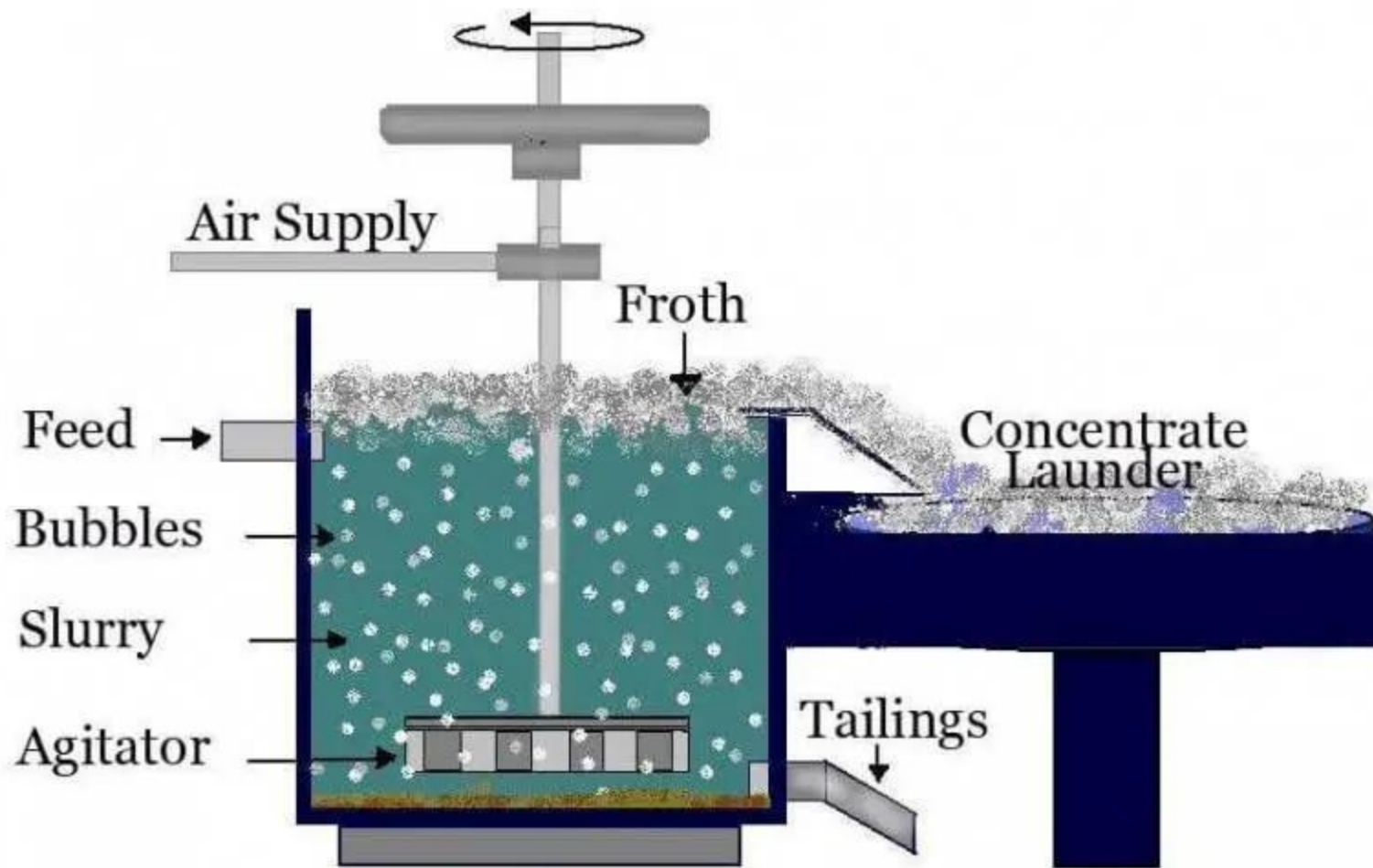


Flottazione



Cu%: da 0.8–1% → 15–30%

FLOTATION PROCESS



Metallurgia estrattiva

```
graph TD; A([Metallurgia estrattiva]) --> B([Processi idrometallurgici]); A --> C([Processi pirometallurgici]);
```

Processi idrometallurgici

Processi pirometallurgici

Processi pirometallurgici

Minerale grezzo

Arrostimento

Ossido

Il riducente chimico più comune ed economico è il carbone.

Riduzione chimica (*smelting*) o elettrolitica (*electrowinning*)

Metallo

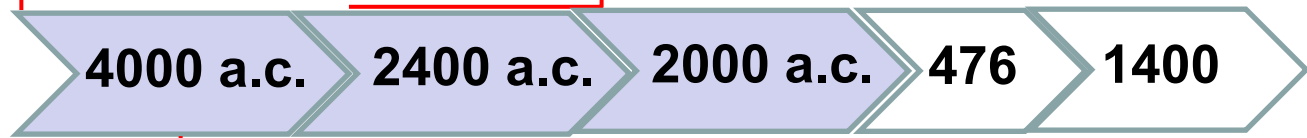
Scala temporale della scoperta dei metalli

Inizia l'Età del Rame (come rame nativo)

Inizia l'Età del Bronzo (lega Cu/Sn o Cu/As):
Ottenimento rame fuso

Caduta dell'Impero Romano

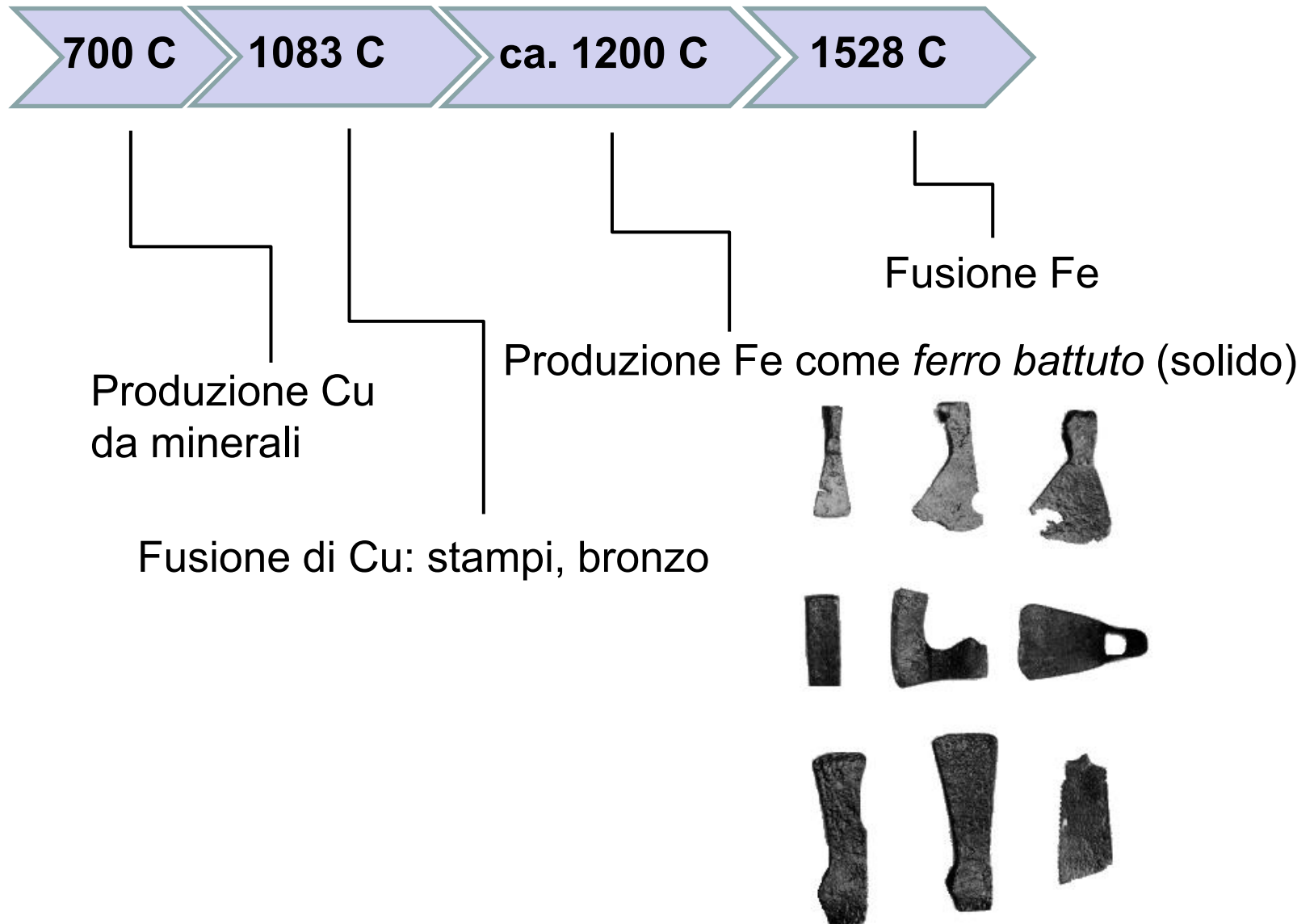
Zn (India)



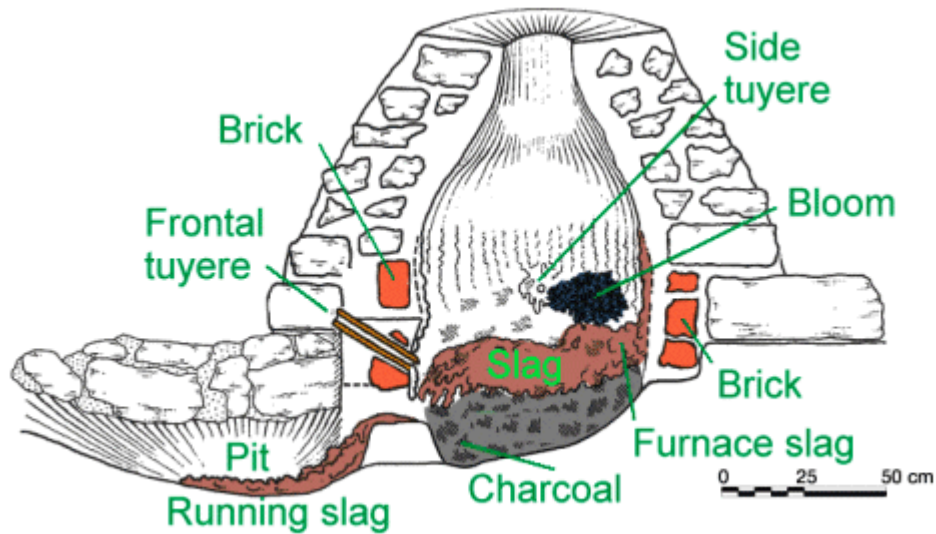
Prima produzione chimica di un metallo (Cu)

Inizia l'Età del Ferro (Ittiti)

Scala di temperature-soglia in metallurgia



Fornace primitiva (*bloomery*) per ottenere ferro battuto (*wrought iron*)



Metalli noti nel XVIII e XIX secolo

Li	Be																		
Na	Mg	Al										B							
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te				
Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po				
Fr	Ra	**Ac																	

*	Cr	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

Ancient metals
Medieval metals
Eighteenth century metals
Nineteenth century metals

Scala temporale della scoperta dei metalli

1869 Tavola Periodica di Mendeleev,
previsione di elementi mancanti

Scoperta dell'elettricità e suo uso
per ottenere metalli: Na, K, Mg...

4000

476

1400

1500

1600

1700

1800

1900

1607: carbon coke
Aumenta la produzione di Fe
→ **Rivoluzione Industriale**

1850 processo Bessemer
per la decarburazione della
ghisa.
Inizia l'**Età dell'Acciaio**

1870: invenzione della
dinamo
Raffinazione Cu,
produzione Al

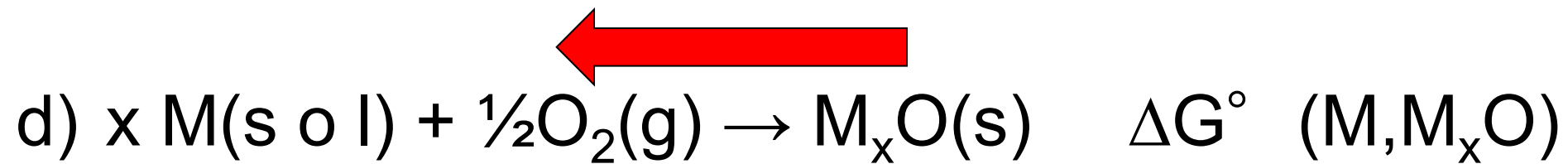
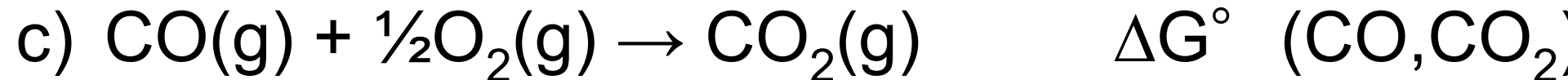
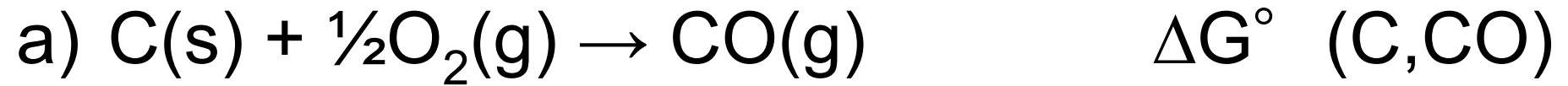
Fornace ad arco elettrico
→ W, Cr, Mn
→ acciai speciali

Il **renio** fu l'ultimo elemento non radioattivo della tavola periodica ad essere scoperto, nel 1925, da Walter Noddack e **Ida Tacke**, che lavoravano a Berlino.

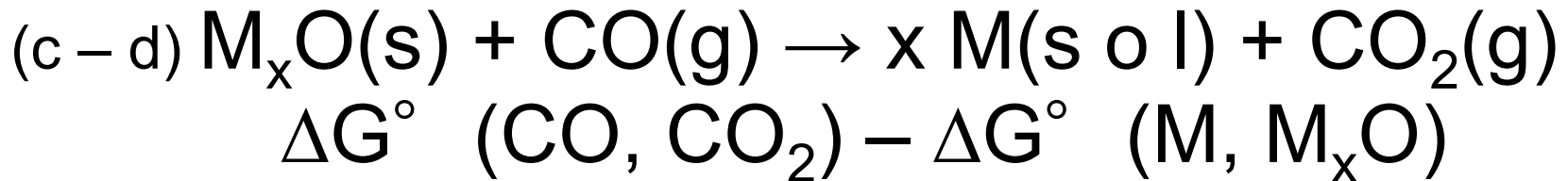
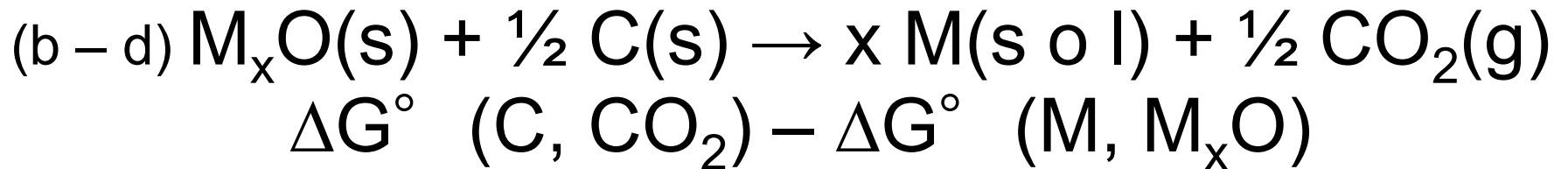
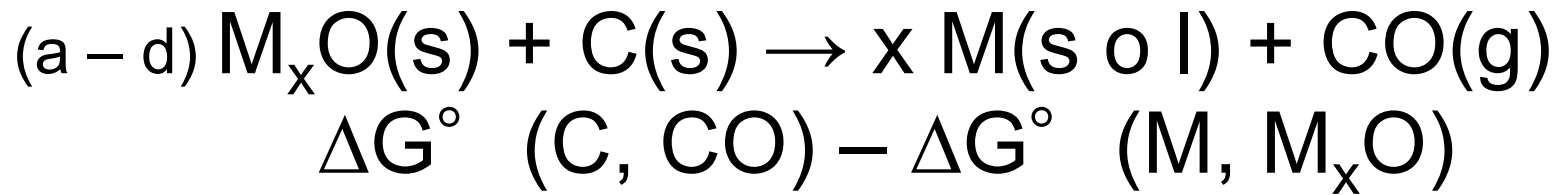
Nel 1934 Enrico Fermi pubblicò un articolo nel quale sosteneva che, in seguito a bombardamento di Uranio e Torio con neutroni lenti aveva generato dei nuovi elementi, transuranici. L'interpretazione di questo risultato, che gli valse il Premio Nobel per la fisica nel 1938, si rivelò in seguito **errata**. In realtà, i nuclei si erano frammentati.

Nello stesso 1934 **Ida Tacke** pubblicò un articolo nel quale criticava l'interpretazione data da Fermi. L'articolo è oggi considerato storicamente significativo non solo perché l'autrice ha correttamente evidenziato la falla nella prova chimica di Fermi, ma perché ha suggerito la possibilità che “è concepibile che il nucleo si rompa in diversi frammenti di grandi dimensioni, che naturalmente sarebbero isotopi di elementi noti, ma non sarebbero vicini dell'elemento irradiato”. In altre parole, Ida Tacke fu la prima a ipotizzare la **fissione nucleare**!

Aspetti termodinamici dei processi di riduzione



Per ottenere un valore negativo di ΔG nella riduzione di un ossido metallico con carbone o monossido di carbonio, una delle reazioni a – c deve avere un ΔG più negativo della reazione d (in senso inverso)



una di queste reazioni complessive deve avere ΔG° negativo e quindi $K > 1$.

Diagramma di Ellingham: ΔG vs T

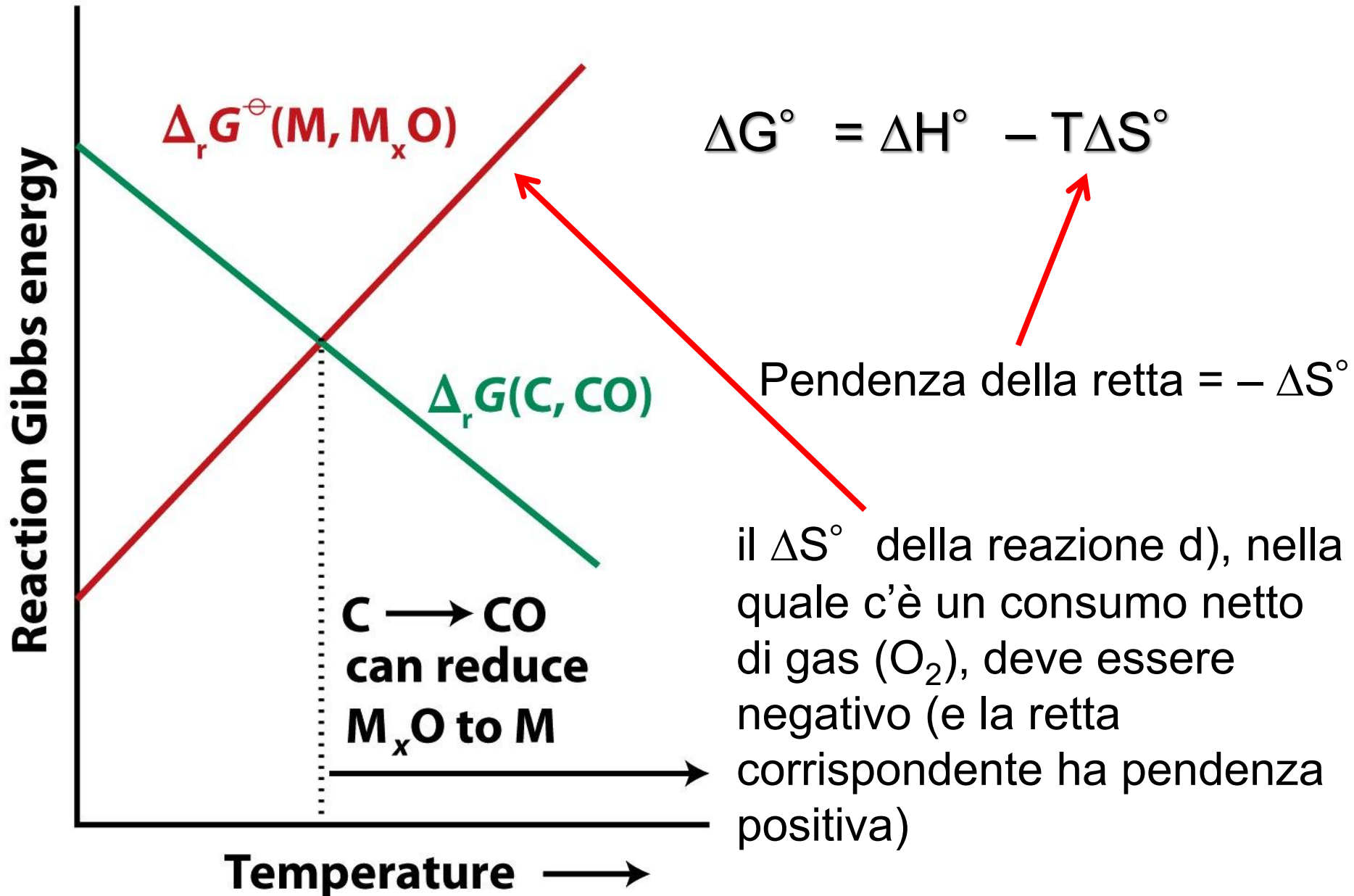
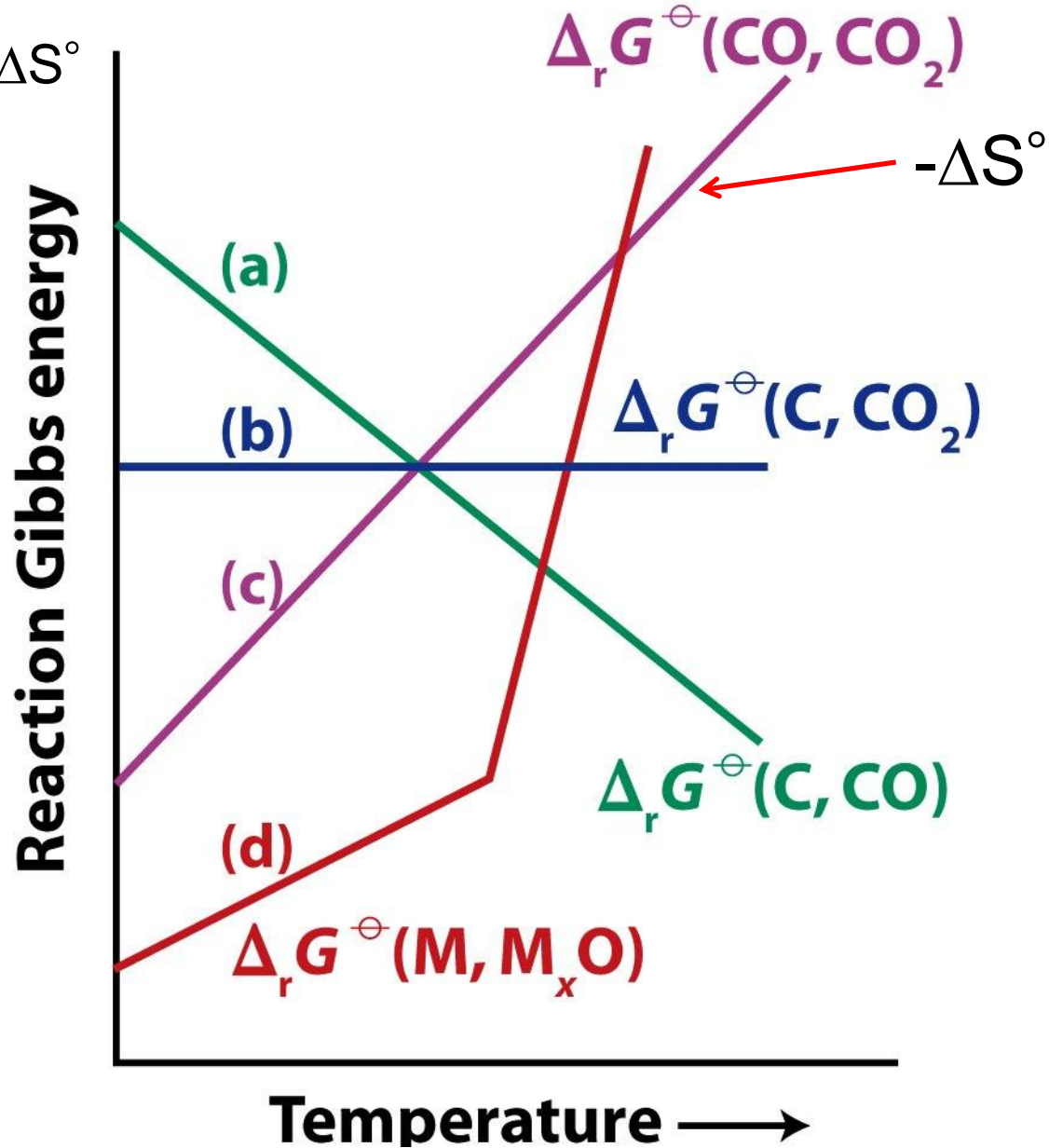
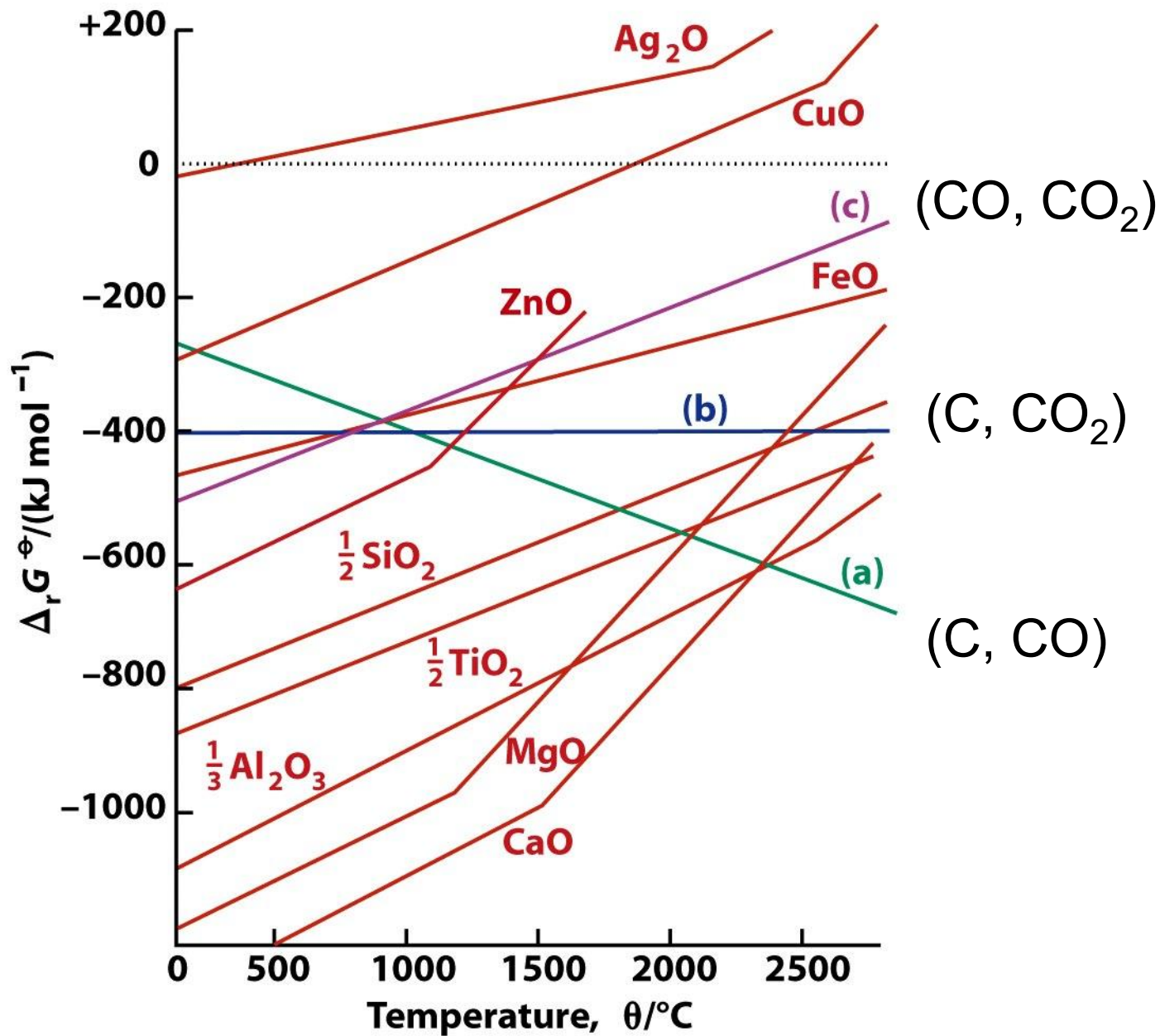


Diagramma di Ellingham

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$



- per temperature alle quali la linea C/CO giace sotto quella dell'ossido del metallo, il carbone può essere usato per ridurre l'ossido metallico ed esso stesso è ossidato a CO;
- per temperature alle quali la linea C/CO₂ giace sotto quella dell'ossido del metallo, il carbone può essere usato per la riduzione ed esso stesso è ossidato a CO₂;
- per temperature alle quali la linea CO/CO₂ giace sotto quella dell'ossido del metallo, il CO può essere usato per la riduzione ed esso stesso è ossidato a CO₂.

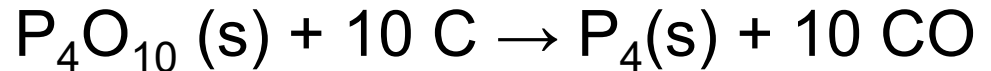
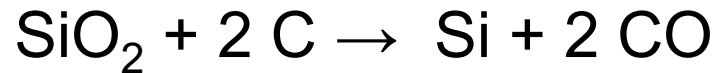
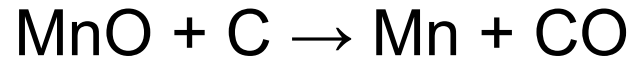
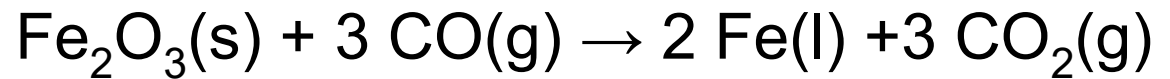
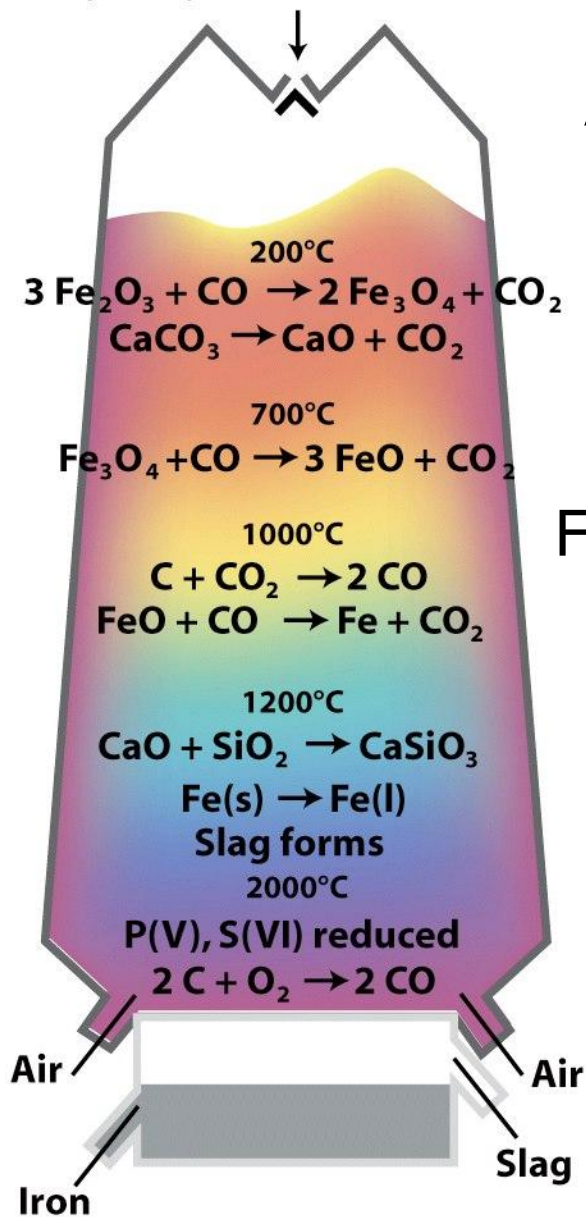


- al crescere della temperatura ogni ossido metallico diventa termodinamicamente meno stabile rispetto al metallo (ΔG° meno negativo).
- al crescere della temperatura CO diventa termodinamicamente più stabile rispetto a C (ΔG° più negativo); quindi le combustioni ad elevata temperatura generano CO e non CO₂.
- un metallo M' può venire usato per ridurre l'ossido di un altro metallo M se, a una temperatura di interesse, la linea M'/ M'O sta sotto quella di M/MO. Ad esempio il magnesio può essere usato per ridurre SiO₂ al di sotto di 2200 K; similmente, nel "processo alla termite" l'alluminio viene usato per ridurre ossidi di ferro.

<https://www.youtube.com/watch?v=4gCqn4mJ8cY>

Ore, coke, limestone

Altoforno



Ghisa grezza: 4.5% C; 1.7% Mn; 0.3% P; 0.04% S; 1% Si

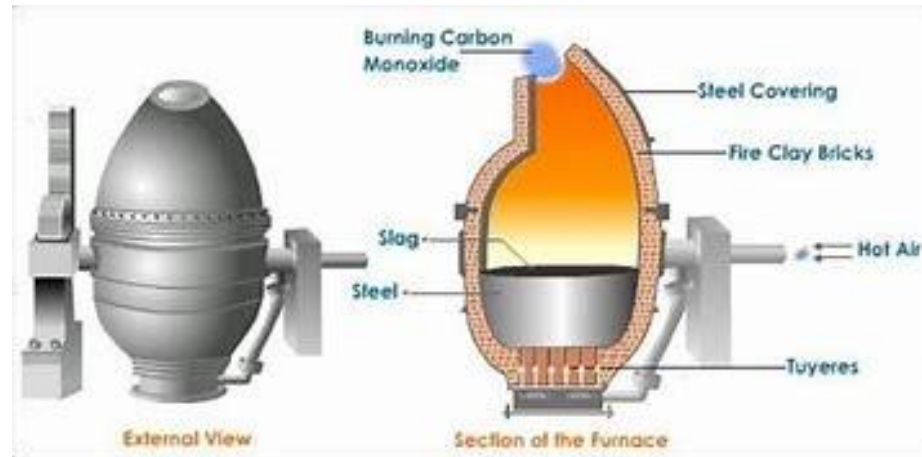
Ferro e Acciaio

Ferro battuto (*wrought iron*, solido): Fe puro

Acciaio: lega Fe + C (0.2-1.5%) + altri metalli

Ghisa (*pig iron*, fuso): lega Fe + C ($\geq 4\%$)

Convertitore Bessemer per produrre acciaio



BESSEMER'S TILTING CONVERTER

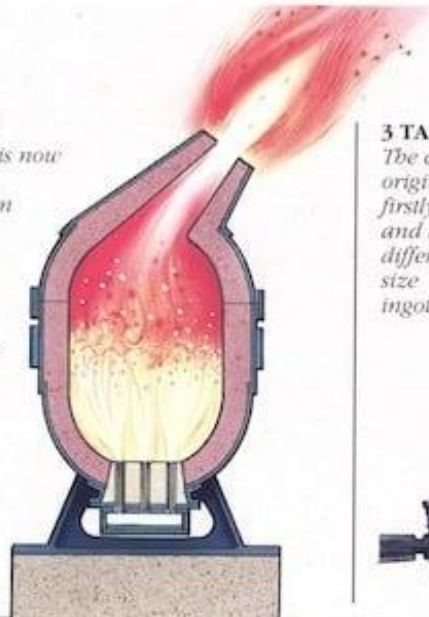
1 CHARGING

The converter is now charged with molten pig iron from another furnace.



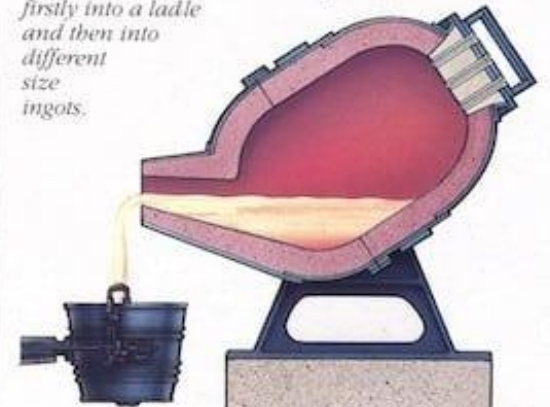
2 THE BLOW

The converter is now turned to the upright position and air is forced up through the molten iron causing all the unwanted materials to be burned off creating pure steel.



3 TAPPING

The converter is now tipped back to its original position and the steel poured firstly into a ladle and then into different size ingots.



THE OXYGEN BLAST CONVERTER

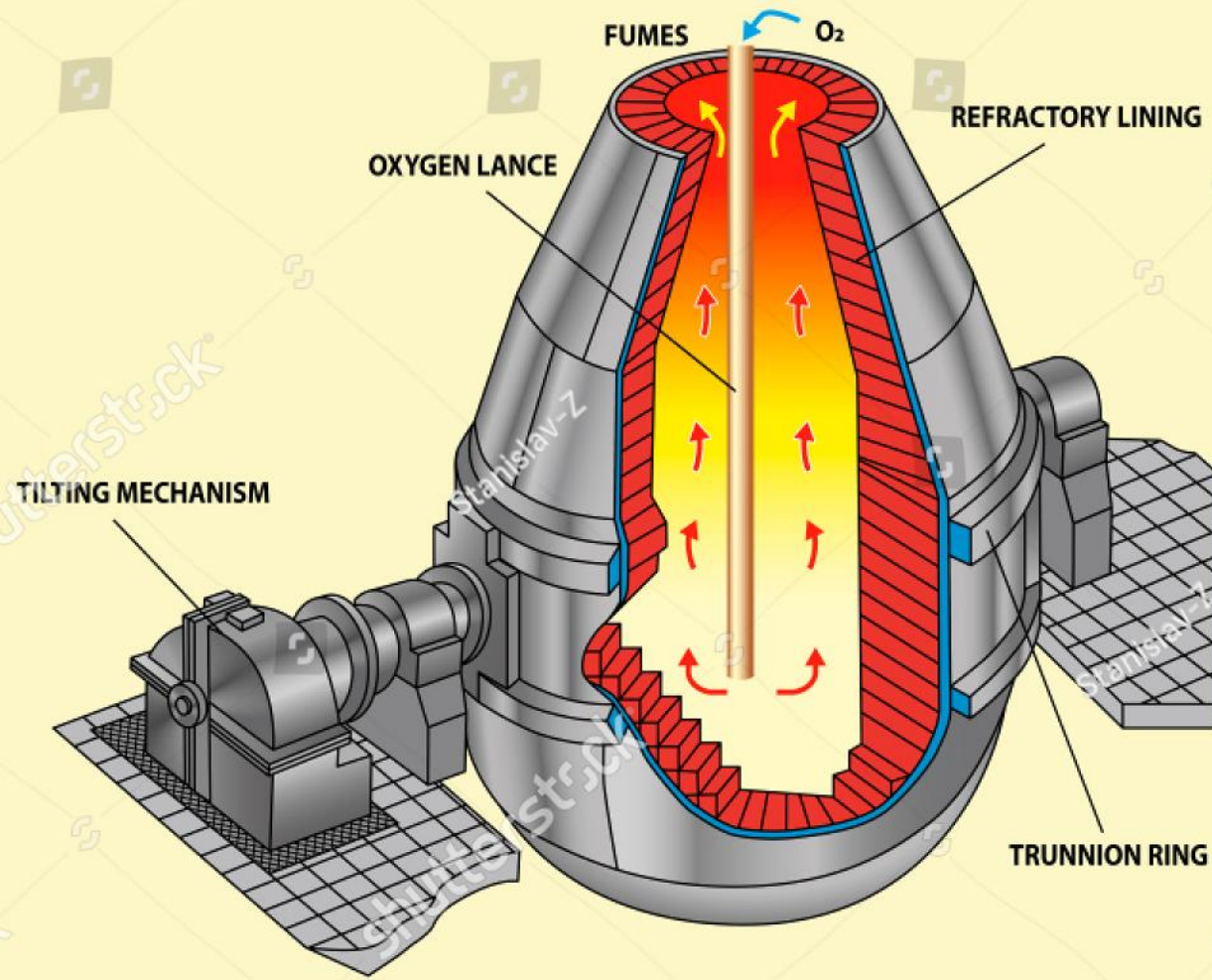
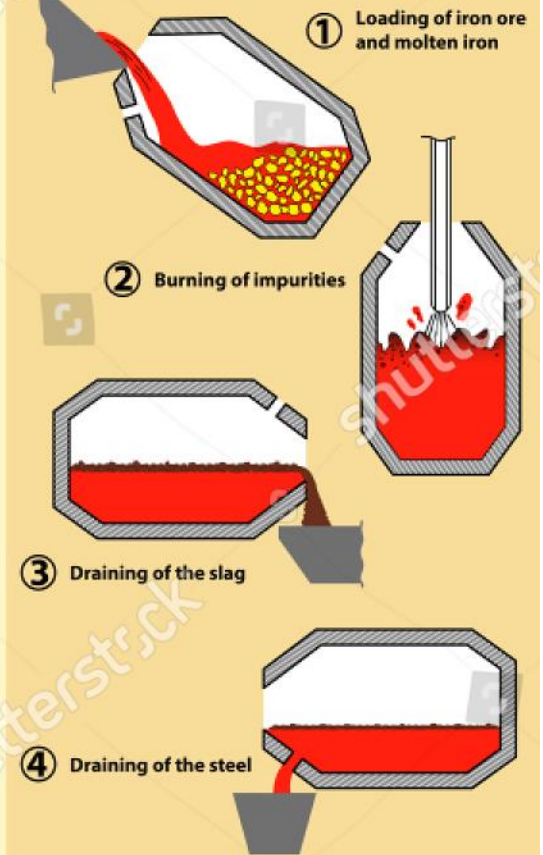
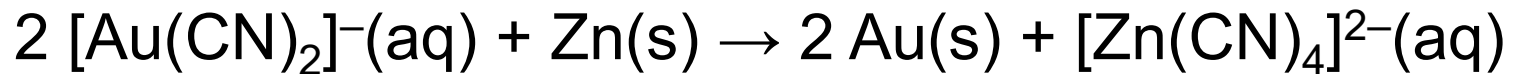


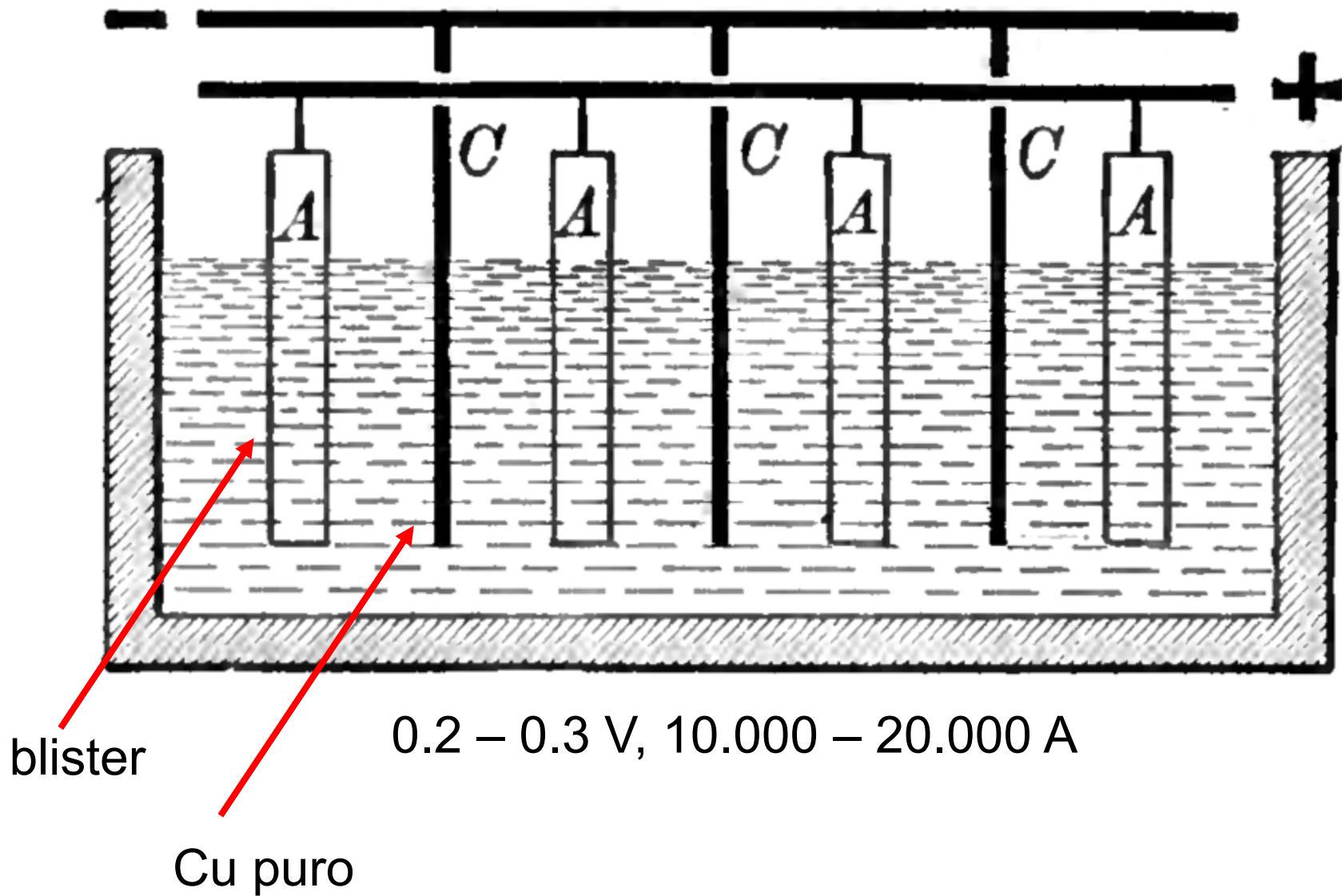
DIAGRAM OF THE STEEL MAKING STEPS

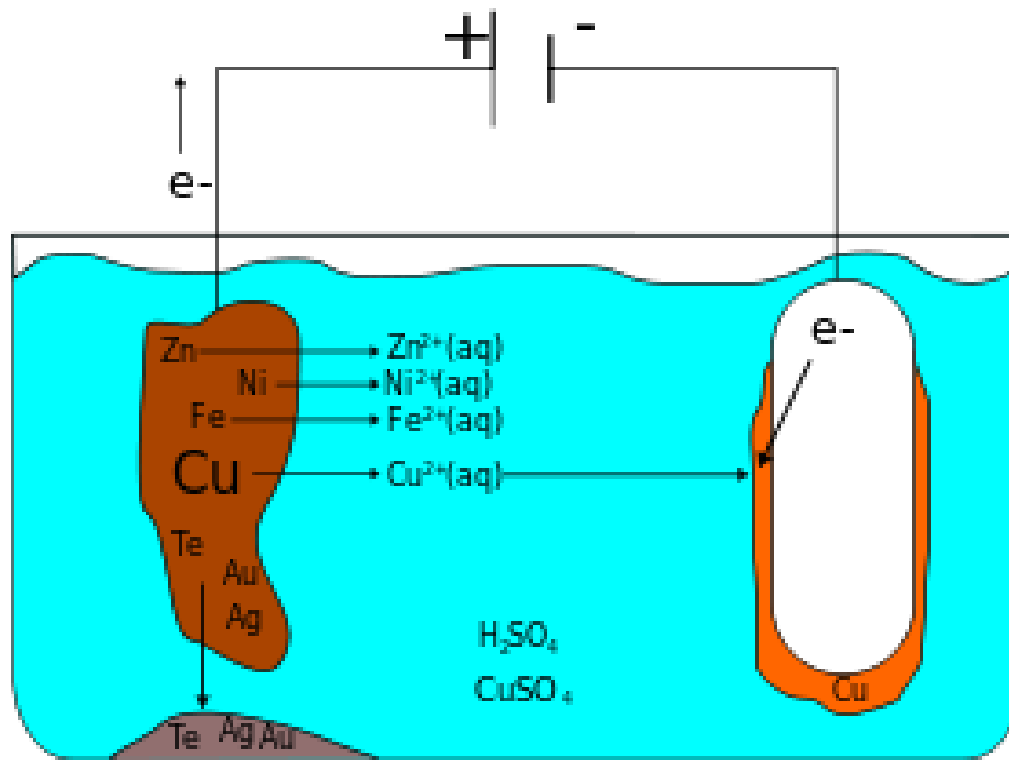


Processo idrometallurgico per l'estrazione dell'oro



Raffinazione elettrolitica del rame





Fanghi anodici