

La disponibilità di un metallo dipende da:

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

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

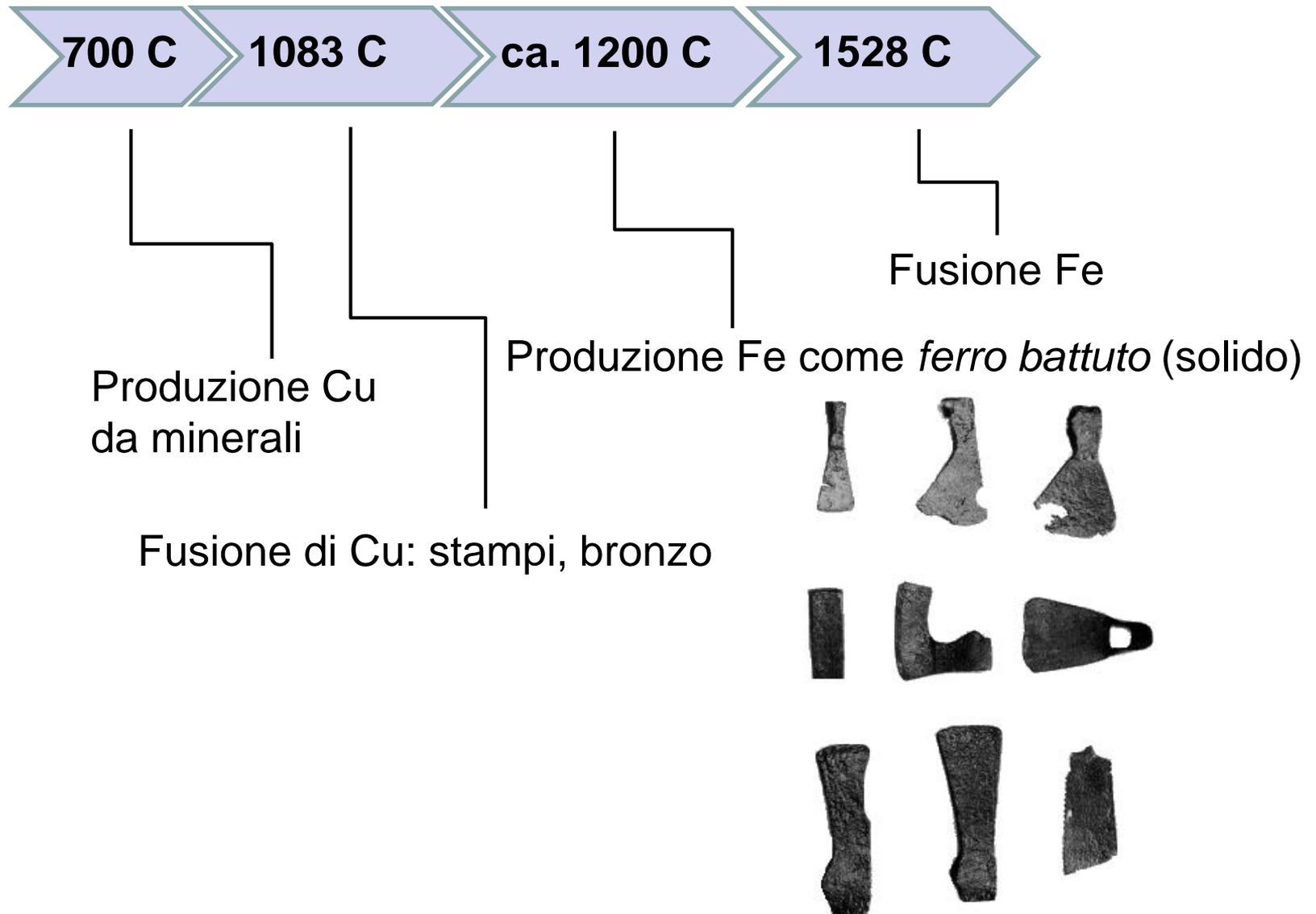
Zn (India)



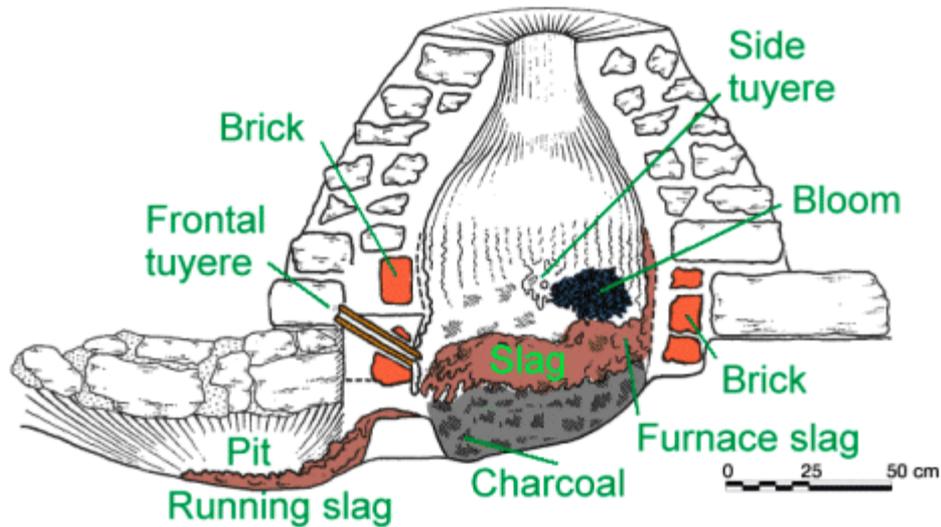
Prima produzione chimica di un metallo (Cu)

Inizia l'Età del Ferro (Ittiti)

Scala di temperature-soglia in metallurgia



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



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

Processi idrometallurgici

Minerale grezzo

Lisciviazione

Ione o complesso del metallo

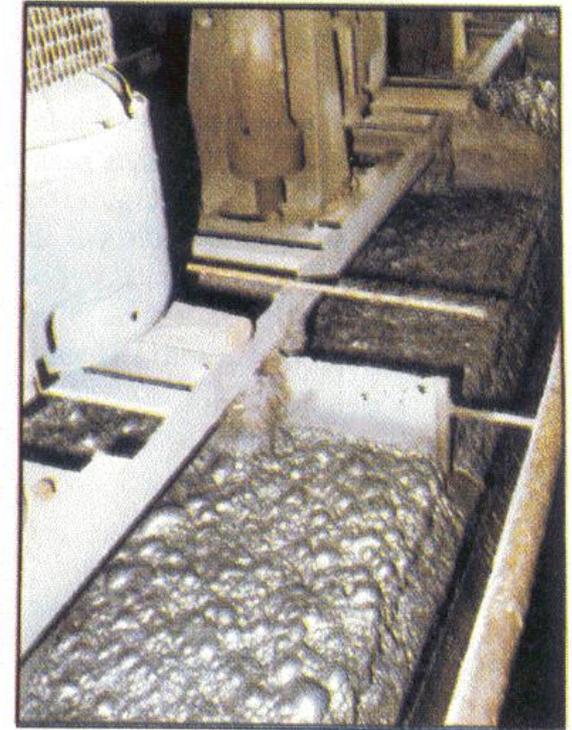
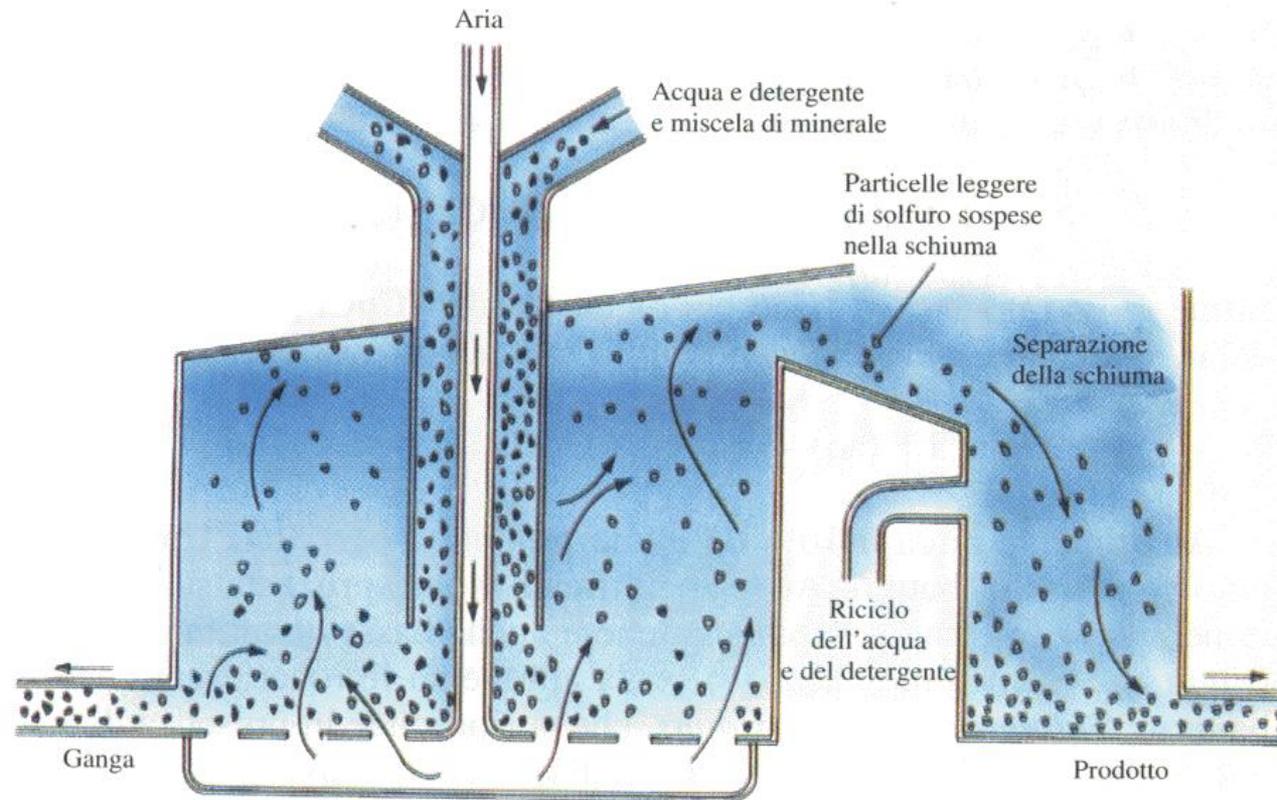
Riduzione

Metallo

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

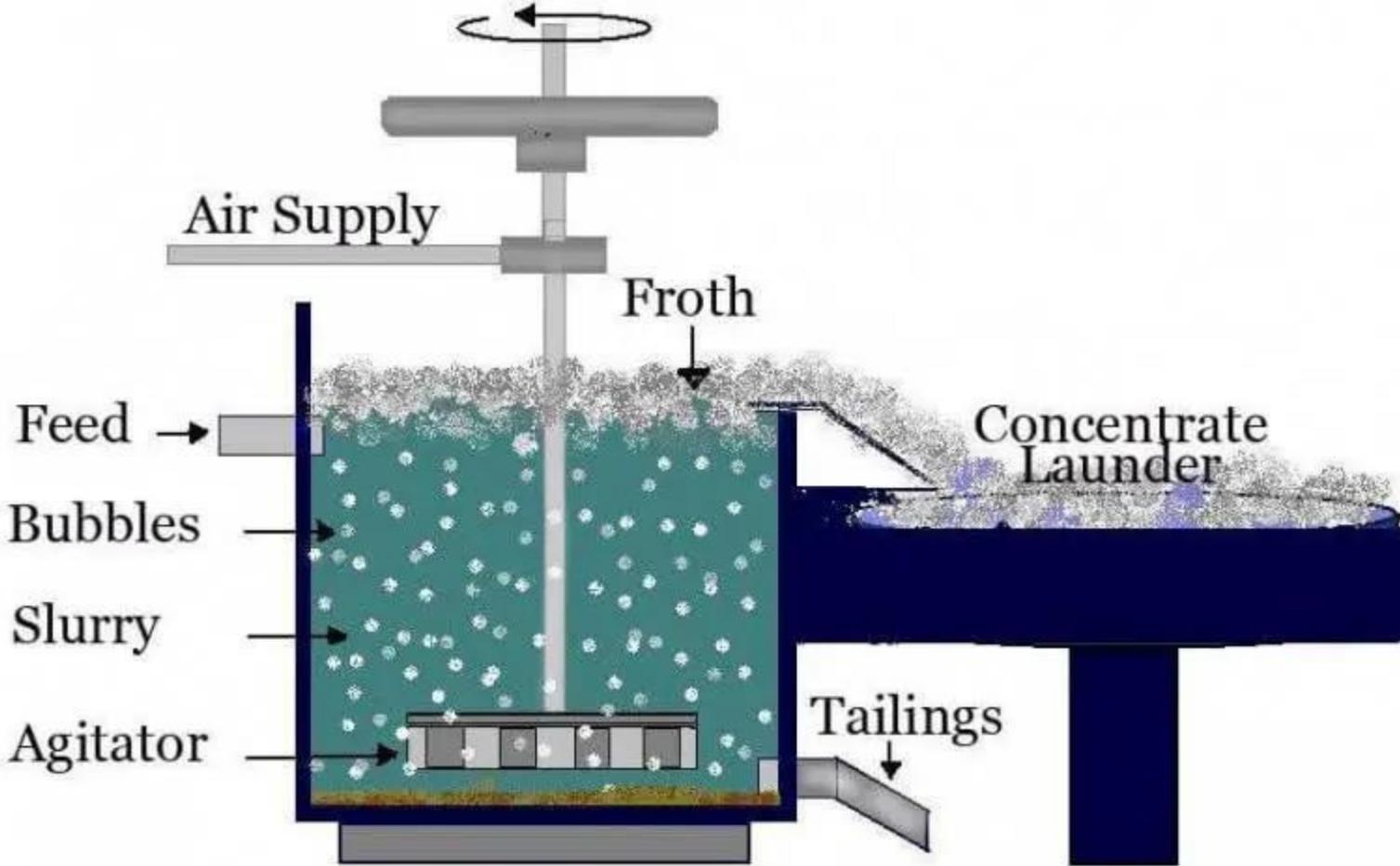


Flottazione

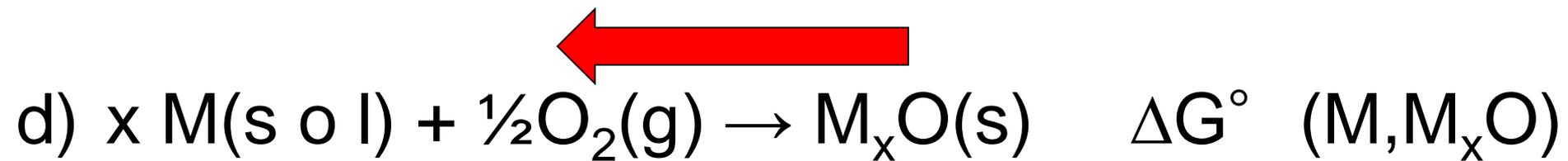


Cu%: da 0.8–1% → 15–30%

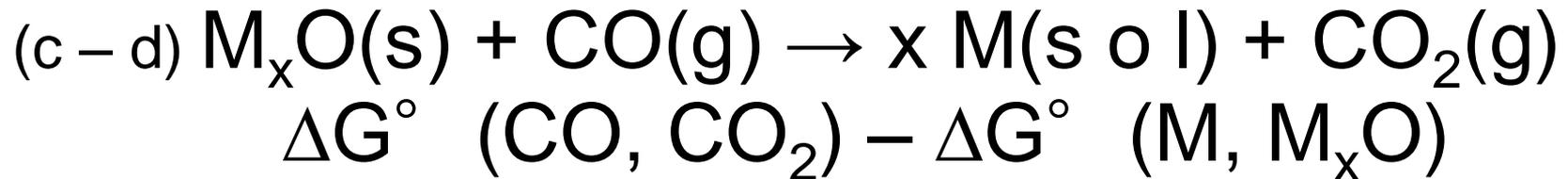
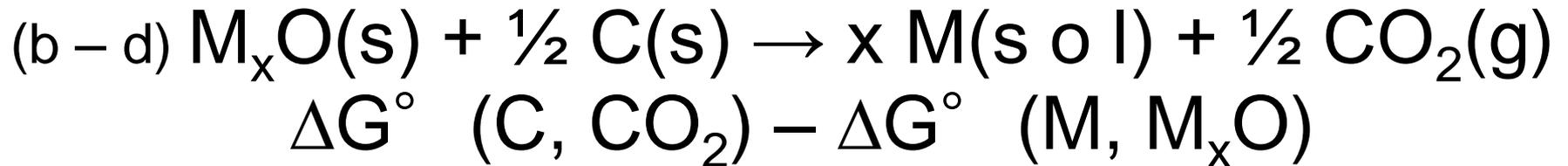
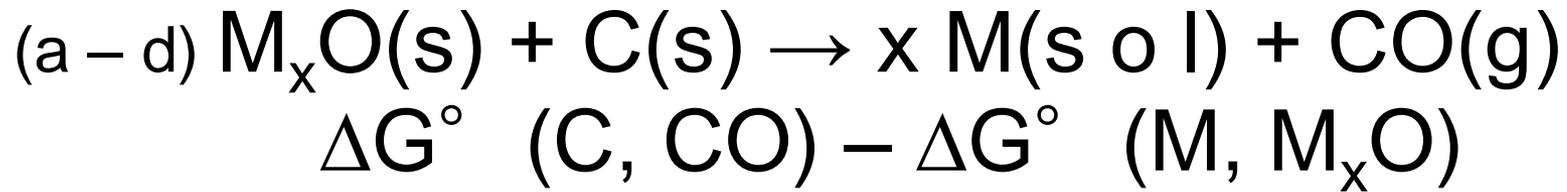
FLOTATION PROCESS



Aspetti termodinamici dei processi di riduzione

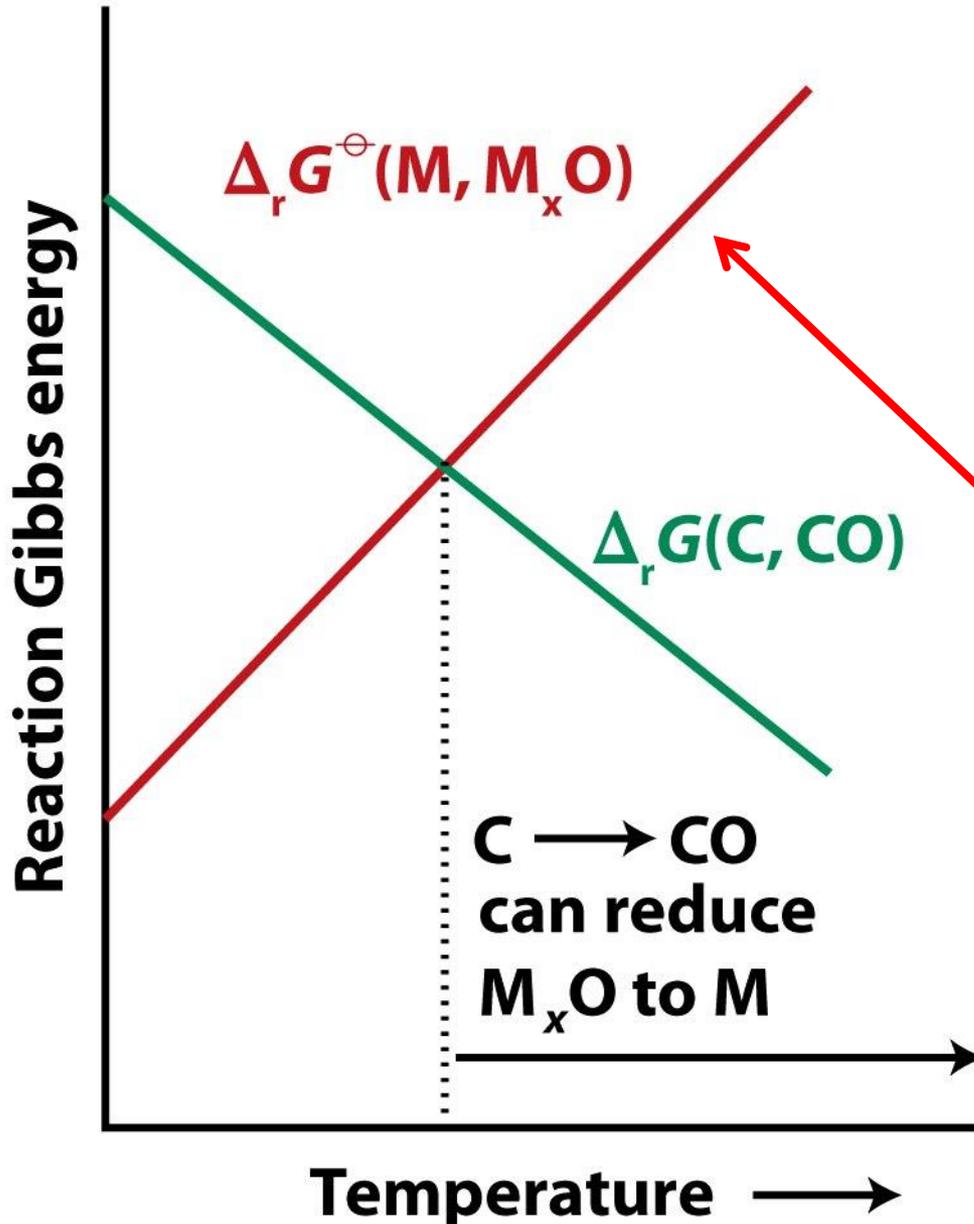


Per ottenere un valore negativo di ΔG nella riduzione di un ossido metallico con carbone o monossido di carbonio, una delle reazioni a – c deve avere un ΔG più negativo della reazione d (in senso inverso)



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

Diagramma di Ellingham



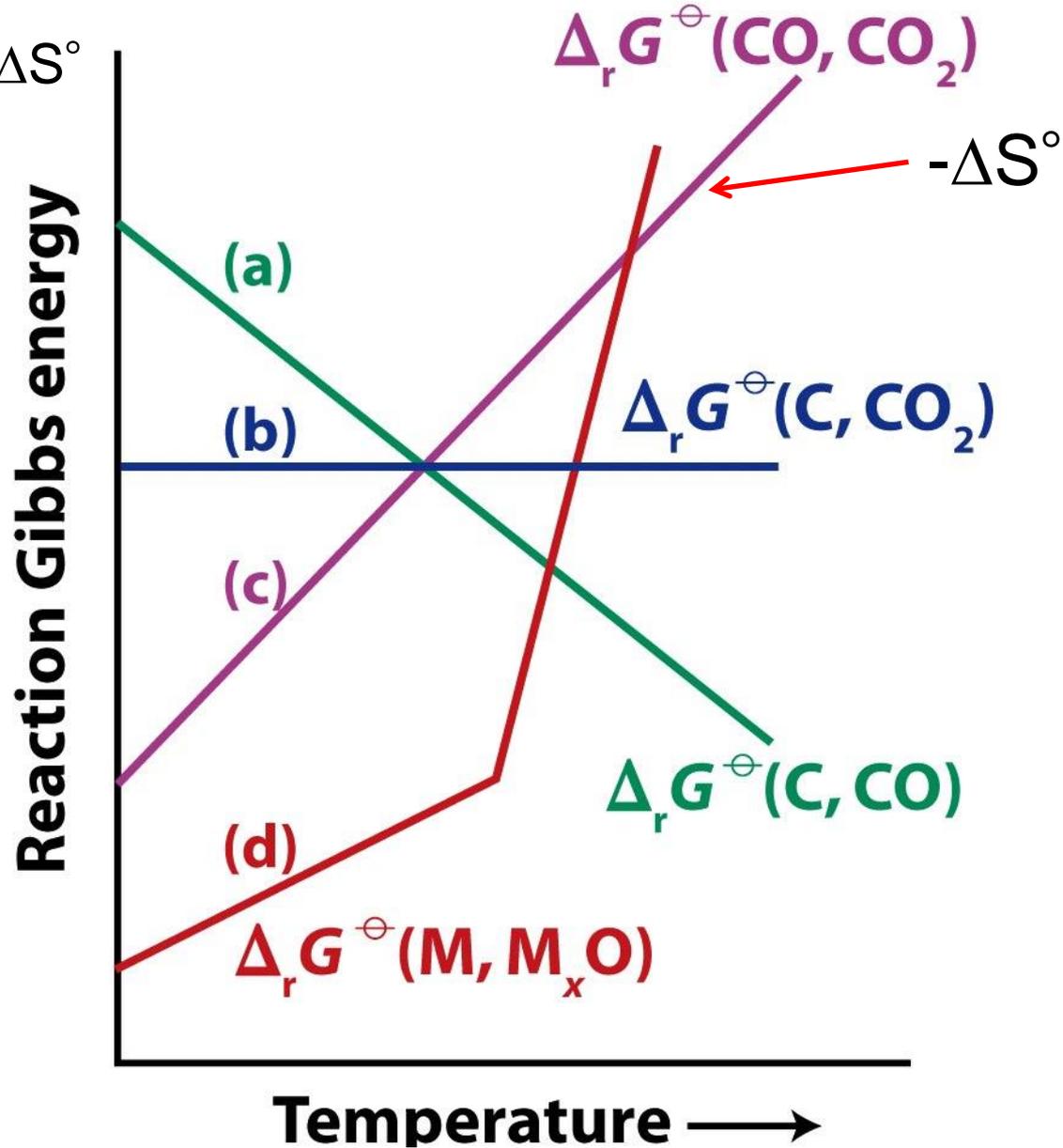
$$\Delta G^\ominus = \Delta H^\ominus - T\Delta S^\ominus$$

Pendenza della retta = $-\Delta S^\ominus$

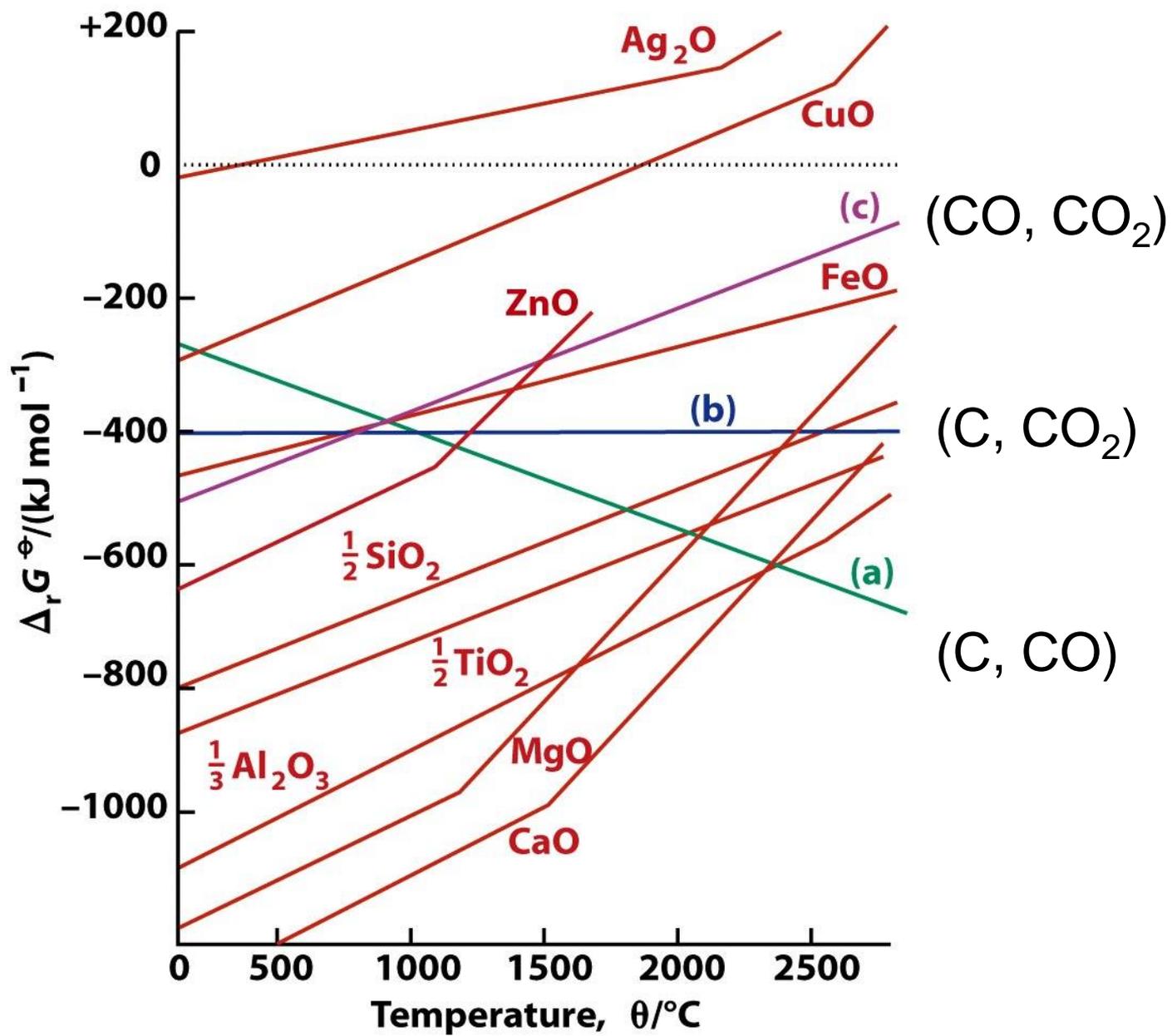
il ΔS^\ominus della reazione d), nella quale c'è un consumo netto di gas (O_2), deve essere negativo (e la retta corrispondente ha pendenza positiva)

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.

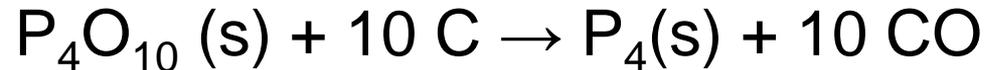
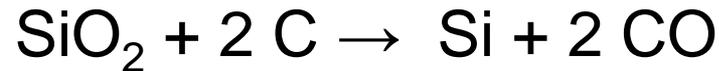
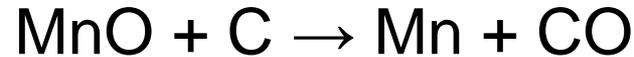
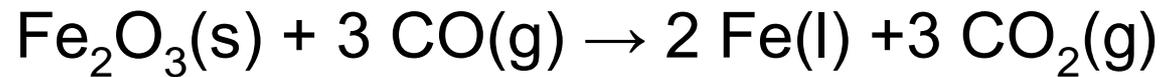
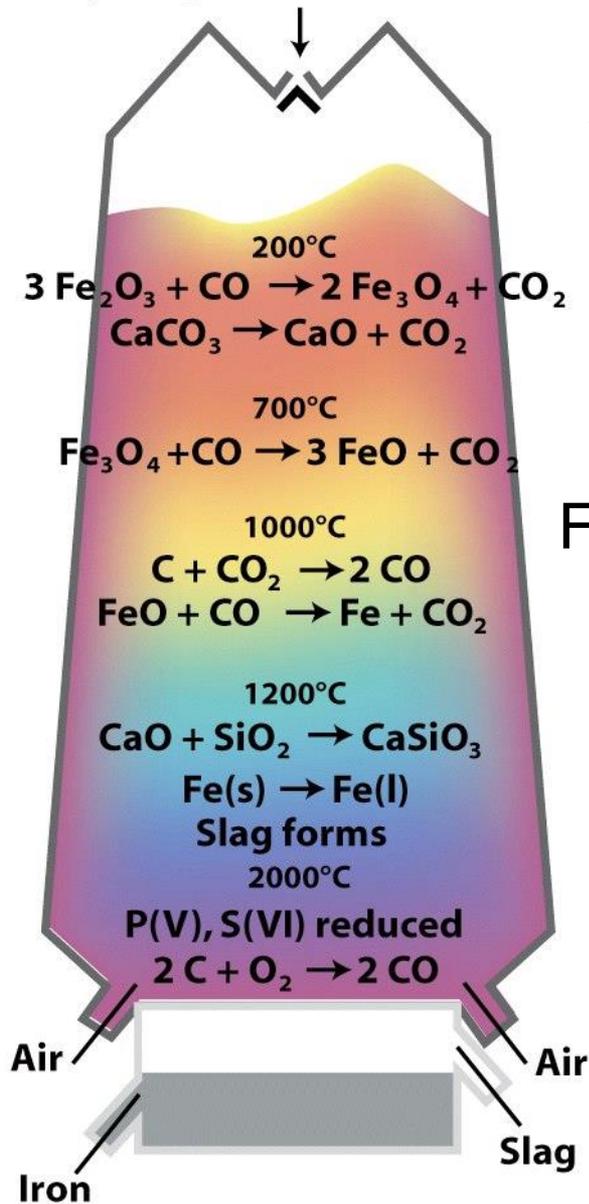


- al crescere della temperatura ogni ossido metallico diventa termodinamicamente meno stabile rispetto al metallo (ΔG° meno negativo).
- al crescere della temperatura CO diventa termodinamicamente più stabile rispetto a C (ΔG° più negativo); quindi le combustioni ad elevata temperatura generano CO e 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>

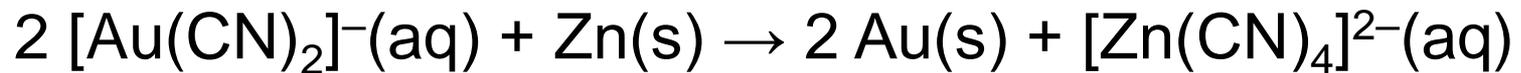
Ore, coke, limestone

Altoforno

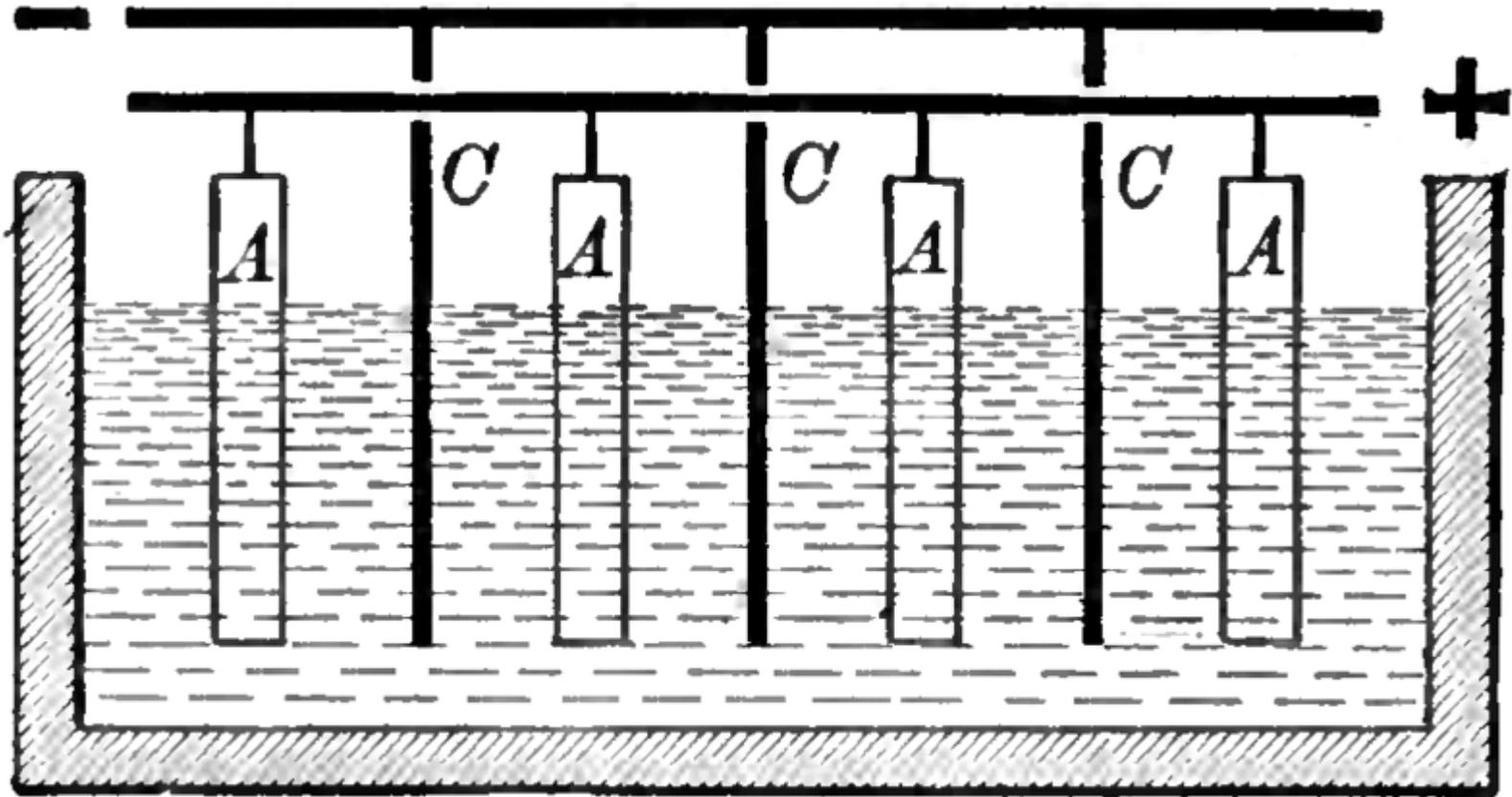


Ghisa grezza: 4.5% C; 1.7% Mn; 0.3% P; 0.04% S; 1% Si

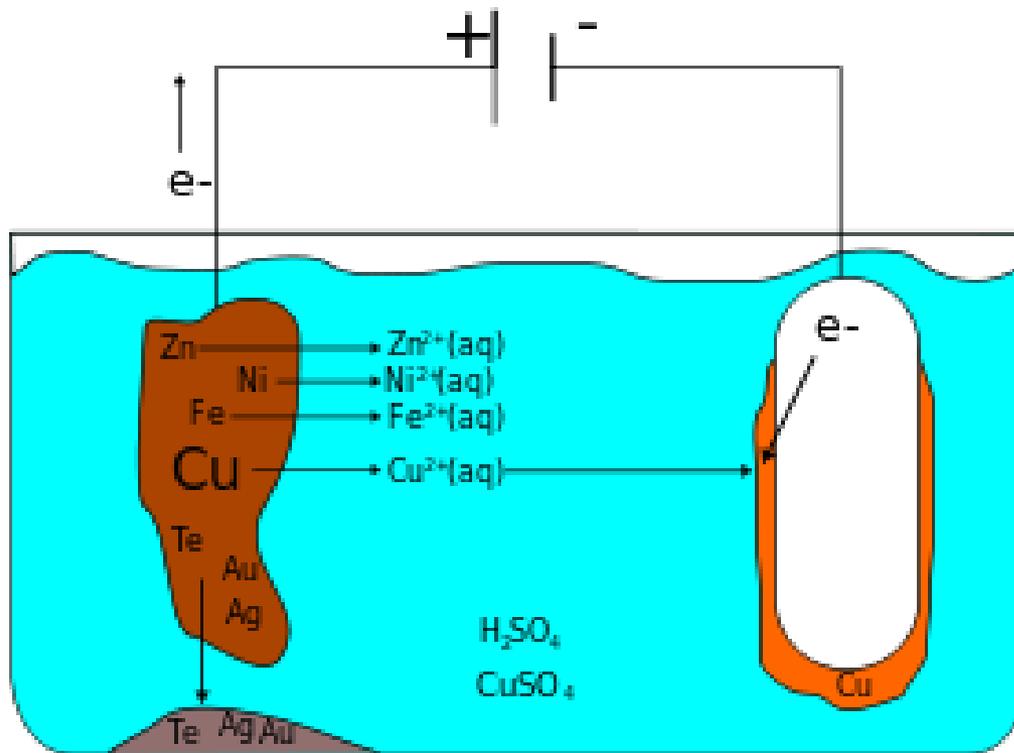
Processo idrometallurgico per l'estrazione dell'oro



Raffinazione elettrolitica del rame



0.2–0.3 V, 10.000 – 20.000 A



Fanghi anodici