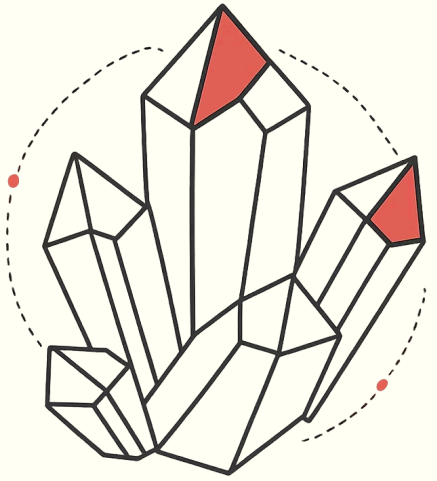
Dalla Malachite al Metallo

Un percorso fenomenologico, storico e didattico attraverso la metallurgia. Manuale per i Docenti di Chimica della Scuola Secondaria di Secondo Grado, sviluppato nell'ambito della Scuola Nazionale di Didattica della Chimica **"Giuseppe Del Re"**.

Marco Caruso · Federico Massabò

Docenti, Scuola Secondaria di Secondo Grado



MALACHITE

Introduzione: Il Rame come Filo Conduttore

Il Primo Metallo "Addomesticato"

Il rame è il primo metallo domato dall'umanità e protagonista di una **triplice transizione** che rispecchia le fasi dello sviluppo cognitivo dello studente.

Tre Livelli di Comprensione

01

Fenomenologico

Osservazione macroscopica del fenomeno

02

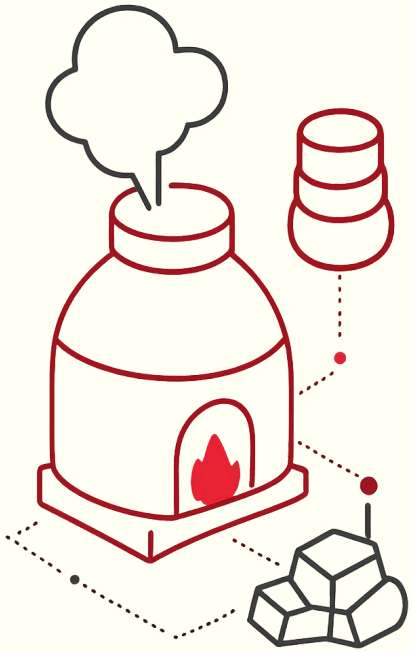
Storico-Epistemologico

Contesto di scoperta e rivoluzioni scientifiche

03

Sub-microscopico e Simbolico

Modellizzazione atomica ed equazioni chimiche



Digressione Storica: La Pietra Verde che Divenne Metallo

Durante il **Calcolitico (V–III millennio a.C.)**, l'uomo smise di scolpire la materia e iniziò a trasformarla chimicamente. La **malachite** [$Cu_2CO_3(OH)_2$] — opaca, verde, fragile — veniva usata come gemma, cosmetico e pigmento. Niente faceva presagire la presenza di un metallo.

La Scoperta Accidentale

Frammenti di malachite in forni da ceramica alimentati a carbone produssero gocce lucenti, rosate e pesanti: il rame metallico.

Fusione e Colata

Il rame fuso (T = 1085 °C) poteva essere colato in stampi. Se un utensile si rompeva, poteva essere rifuso all'infinito.

Malleabilità

Il rame poteva essere deformato a freddo tramite martellatura per affilare bordi o dar forma a lame.

Il Triangolo di Johnstone: Architettura del Percorso

Il percorso si fonda sul modello di **Johnstone (1991)**: la chimica risulta complessa perché richiede la comprensione simultanea di tre livelli di rappresentazione della materia. Il docente guida gli studenti a fare la "navetta" tra i tre vertici, senza mai fermarsi a uno solo.

Non accettiamo mai che lo studente descriva solo l'aspetto simbolico senza collegarlo a ciò che osserva sul bancone o a ciò che immagina nel reticolo cristallino.

1

Attività 1

Riduzione della Malachite in Fornace

2

Attività 2

Calcinazione e Prove di Massa

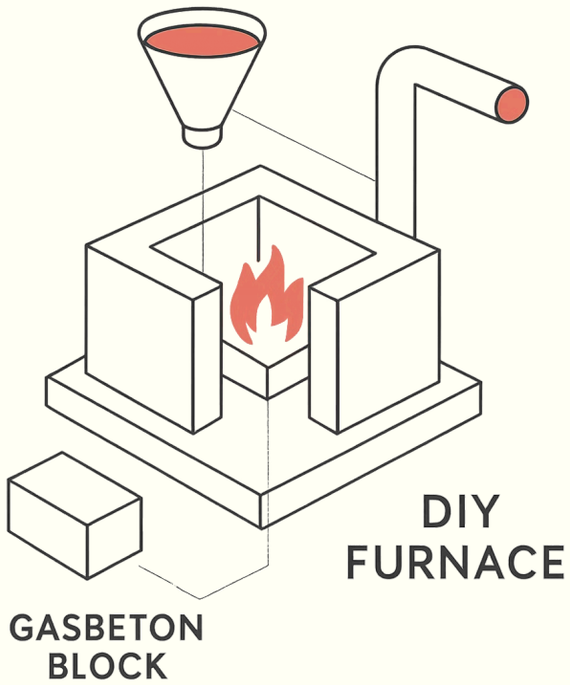
3

Attività 3

Incrudimento e Ricottura

Esperienza 1 — Riduzione della Malachite in Fornace

La riduzione di $Cu_2CO_3(OH)_2$ a rame metallico richiede di superare i **1085 °C**. La soluzione didattica è una **fornace autocostruita in Gasbeton (REI 180)**: materiale poroso con milioni di micro-bolle d'aria che garantisce isolamento termico eccezionale e resistenza al fuoco per 180 minuti.



1

Blocco Gasbeton

~25×25×20 cm, con camera di fusione ricavata tramite tazza da trapanatura.

2

Foro di Insufflaggio

Diametro 26 mm, tangenziale alla base. Collegato a soffiatore, pompa o asciugacapelli.

3

Crogiolo in SiC

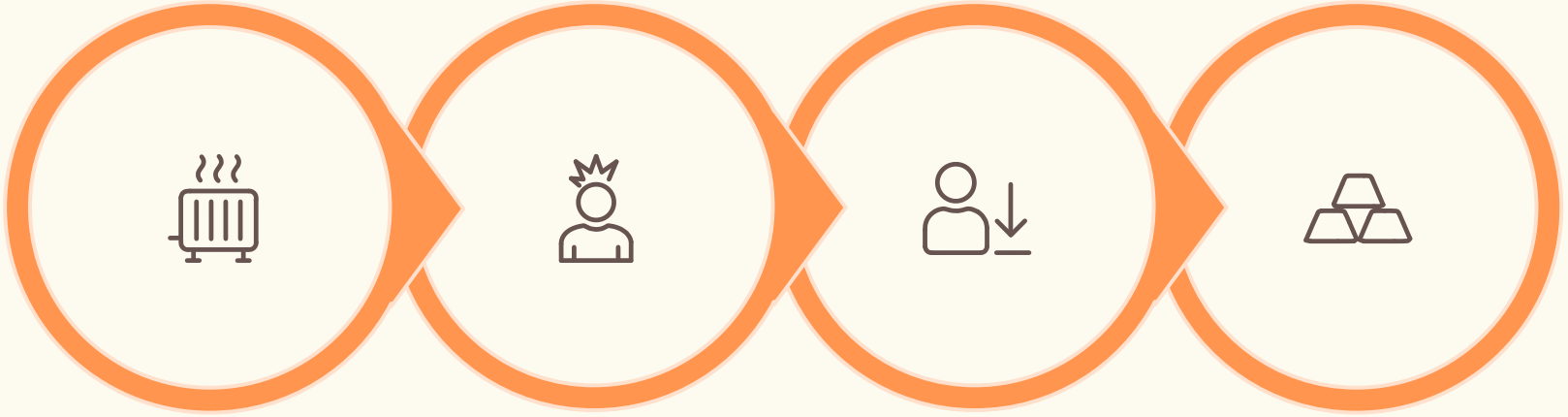
Carburo di silicio: ottima inerzia chimica verso ossidi metallici. Scelta ottimale e riutilizzabile.

4

Stratificazione

Strato superiore: carbone in granuli (barriera antiossigeno). Strato inferiore: miscela malachite + polvere di carbone.

Le Reazioni Chimiche Stadiali della Riduzione



Decomposizione

Boudouard

Riduzione

Fusione

Analisi Sub-microscopica

Gli elettroni prima "sequestrati" negli anioni carbonato e idrossido diventano un **fluido delocalizzato** che avvolge gli atomi di rame: il legame ionico/covalente si trasforma in **legame metallico** ("mare di elettroni").

Perché il Rame Conduce?

La pietra fragile diventa un materiale che **conduce l'elettricità** e può essere modellato col martello: proprietà impossibili nella malachite di partenza, ora spiegate dalla nuova struttura elettronica.

Esperienza 2 — Calcinazione e Confutazione del Flogisto

Questa esperienza introduce la **quantificazione rigorosa** e il metodo ponderale. Fino al Settecento dominava la **Teoria del Flogisto** (Becher, Stahl): i materiali combustibili contenevano un principio invisibile e imponderabile che veniva rilasciato durante la combustione.

Il Cortocircuito della Bilancia

Quando un metallo veniva calcinato, la sua calce risultava **più pesante** del metallo di partenza. Come poteva un oggetto perdere il flogisto e diventare più pesante? Alcuni ipotizzarono persino una "massa negativa".

La Rivoluzione di Lavoisier

Con la bilancia di precisione e sistemi chiusi, Lavoisier dimostrò che la calcinazione non è una perdita, ma una **fissazione chimica dell'ossigeno**: $2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$. La massa aumenta perché l'ossigeno si incorpora nel reticolo.

Esperienza 3 — Incrudimento e Ricottura del Rame

Le proprietà meccaniche di un metallo **non sono fisse**: dipendono dalla storia termica e meccanica e dalla disposizione dei difetti nella struttura cristallina (CFC — Cubico a Facce Centrate).

Incrudimento (Work Hardening)

Martellatura per 2–3 min o 10–15 piegature nello stesso punto. Risultato: zona rigida, dura; se forzata ulteriormente, **frattura fragile**. Le dislocazioni si moltiplicano e si bloccano reciprocamente.

Ricottura (Annealing)

Riscaldamento a rosso-ciliegia (600–700 °C, ~60 s a fiamma o 10 min in muffola a 600°C) + tempra in acqua. Risultato: **duttilità completamente ripristinata**. Il calore innesca la ricristallizzazione: nuovi grani privi di dislocazioni.



Conclusioni: Tremila Anni di Scienza in Tre Esperienze



Dalla Preistoria al Calcolitico

Riducendo la malachite, gli studenti comprendono la genesi dei materiali che hanno plasmato le civiltà umane.



Dall'Alchimia alla Chimica Quantitativa

Ripercorrendo i passi di Lavoisier, gli studenti vivono in prima persona la nascita del metodo scientifico moderno.



Dalla Chimica alla Scienza dei Materiali

Manipolando la struttura cristallina, gli studenti aprono la mente alle tecnologie contemporanee della metallurgia.

> "Non accettiamo mai che lo studente descriva solo l'aspetto simbolico senza saperlo collegare rigorosamente a quello che osserva sul bancone o a ciò che immagina accadere all'interno del reticolo cristallino."

Il framework proposto guida docente e studente a muoversi con consapevolezza tra i tre vertici del Triangolo di Johnstone: **il fenomeno, l'atomo, il simbolo.**