

Museo del Liceo scientifico A. Avogadro **MINERALI**

a cura del Gruppo Mineralogico Basso Canavese

Scheda anagrafica n°: 116

Reperto: 160

Nome:



Rame

Etimologia: Dal latino eramen= oggetto di rame

Formula chimica: Cu

Numero atomico 29

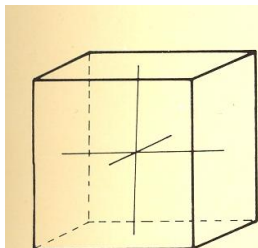
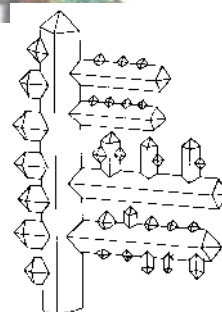
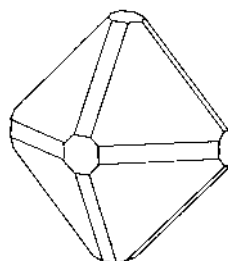
Durezza: Da 2,5 a 3

Striscia: Rosso rame

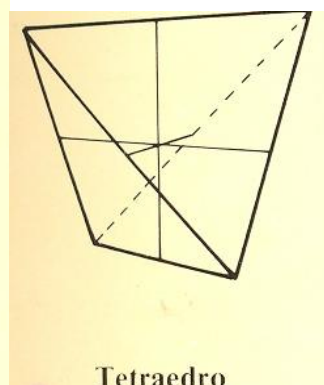
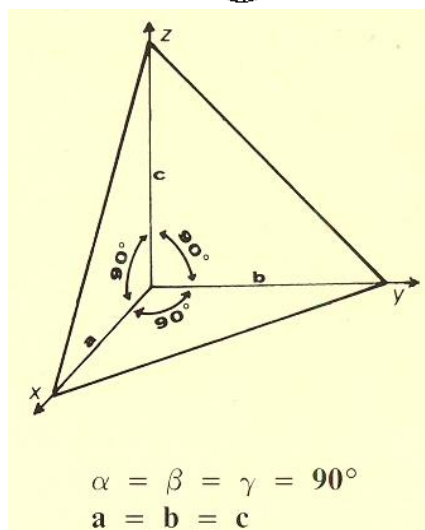
Sistema di cristallizzazione: I tre assi cristallografici sono di eguale lunghezza e formano tra loro angoli retti.

È il sistema a più elevato grado di simmetria. Si passa da un minimo di due assi di simmetria ternaria ad un massimo di tre assi quaternari, quattro assi ternari, sei assi binari, nove piani ed un centro di simmetria

Cubico



Cubo



Tetraedro

Struttura reticolare

Fcc

Temperatura di fusione
(°C)

1083

Peso atomico

63,546

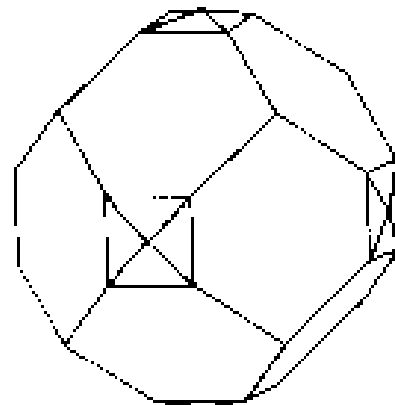
Resistività a 20°C

1,694

Conducibilità termica

3,97

Coefficiente di espansione 17
20-100°C (10⁻⁶/K)



Modulo elastico (GPa) 117

Carico di rottura (MPa) 216

Carico di snervamento (MPa) 48

Allungamento a rottura (%) 48

Forma dei cristalli: Cubi, tetraedri, dodecaedri, rarissimi ottaedri, cristalli sovente sviluppati in una direzione, geminati; generalmente si presenta in masse compatte anche di notevole entità, oppure in associazioni dendritiche e filamentose.

Talora si presenta come pseudomorfo su calcite, aragonite o cuprite.

Classe: Minerali formati tutti da atomi della medesima specie e perciò corrispondenti agli elementi della chimica moderna.

Nativo Sono per lo più metalli poco ossidabili, come oro, argento ecc. anche corpi non metallici, come lo zolfo

Gli elementi chimici formano un gruppo relativamente poco numeroso di minerali e non si trovano che di rado in natura.

Su 103 elementi chimici attualmente conosciuti, solo 22 costituiscono dei minerali.

Il numero dei minerali del gruppo degli elementi nativi è però superiore a 22, perchè certi formano due minerali, come per esempio il carbonio che si presenta come diamante e grafite. Fino ad oggi non si sono mai trovati dei giacimenti di metalli leggeri puri, perchè essi si ossidano facilmente; non si hanno pertanto in natura le condizioni necessarie per mantenerli allo stato puro.

Secondo un principio generalmente valido, più sono grandi le capacità di un elemento di combinarsi con gli altri, meno si ha l'occasione di trovarlo allo stato di metallo puro.

È così che si trova molto più raramente in natura del ferro puro che dell'oro puro, sebbene il ferro rappresenti più del 4% della crosta terrestre e l'oro solamente qualche parte per milione.

Nel sistema mineralogico, noi comprendiamo tra gli elementi anche le leghe naturali come gli amalgami.

Conducibilità: Ottimo conduttore di corrente elettrica

Trasparenza: Opaca; le laminette molto sottili risultano traslucide, lasciando passare una debole luminosità sul verde

Lucentezza: Metallica

Sfaldatura: Non si sfalda

Frattura: Dentellata, concoide

Caratteri di coesione: Malleabile, settile

Morfologia: Raramente in cristalli, trucioli, fili, dendriti, talvolta pseudomorfo, masse.

Peso specifico: 8,93

Colore: Rosso chiaro, vira rapidamente al rosso rame o al rosso bruno.

Colore rosso rame caratteristico sulle superfici fresche, più frequenti.

Patine verdastre di malachite, nerastre o iridescenti.

Col tempo perde la lucentezza metallica ricoprendosi di patine di solfuri e di ossidi.

Composizione chimica teorica: Cu 100%, presenza di Ag, Fe, As, Bi

Proprietà chimiche e fisiche : Trattamenti:	Ottimo conduttore del calore e dell'elettricità; facilmente solubile in acido nitrico, colora la soluzione d'azzurro quando venga aggiunta ammoniacca in eccesso: fonde a 1082°C. Attaccato prontamente dagli acidi (specialmente da quello nitrico) e dall'acqua regia. Gli acidi diluiti possono pulirlo ma attaccano i cristalli e ne distruggono la levigatezza. Molti collezionisti usano per pulirlo soltanto dell'acqua normale e proclamano che qualsiasi altro metodo ne distrugge la -naturalità-. Generalizzando si consiglia di pulire solo quei campioni composti unicamente da rame perchè i frammenti di roccia, le argille, ecc. tendono a saturarsi di sali di rame che salgono in superficie e ne danneggiano l'aspetto. Il British Museum consiglia questa formula: - 1 parte in peso di idrossido di sodio; - 3 parti di sale di Rochelle (tartrato di sodio e potassio); - 20 parti di acqua distillata. Questa soluzione scioglie gli ossidi di rame di colore nero, ma non attacca ne' il rame ne' la cuprite, che si trova di solito associata al rame. L'immersione dei campioni in questo bagno può durare da alcuni minuti ad 1 ora, secondo le necessità. Per eliminare la calcite si deve preparare una soluzione composta da 1 volume di ac. solforico in 4 volumi di acqua; la calcite viene tolta senza che vengano arrecati seri danni al rame. Dopo qualsiasi trattamento chimico si deve lavare il campione più e più volte in acqua tiepida, cambiando sempre l'acqua ed infine asciugarlo con un asciugacapelli poichè asciutto nel più breve tempo possibile, per verniciare con tinta trasparente
Schweitzer	L'ammoniaca attacca il rame in presenza di aria formando l'ossiammonio di rame, liquido blu noto sotto il nome di liquido di Schweitzer, capace di disciogliere la cellulosa. Per questa sua proprietà il liquido di Schweitzer è usato per produrre un tipo di rayon (al cuprammonio). L'acqua di calce non attacca il rame, mentre gli idrati alcalini accelerano molto la sua ossidazione. Il rame, data la sua posizione nelle serie dei potenziali elettrochimici, non può, di massima, spostare l'idrogeno dagli acidi e pertanto, in assenza di aria, non è attaccato dagli acidi cloridrico, solforico e acetico a freddo. Reagisce invece lentamente con l'acido nitrico diluito, svolgendo ossido d'azoto e formando nitrato di rame; con l'acido solforico, a caldo, il rame reagisce secondo le reazioni principali: $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuO} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O},$ $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O},$ quindi svolgendo anidride solforosa ma non idrogeno. I cloruri attaccano il rame più rapidamente degli altri sali quali i solfati, i nitrati. I bronzi e gli ottoni resistono all'attacco salino meglio del rame se il loro contenuto di rame è superiore al 70%, mentre per contenuti inferiori sono attaccati più velocemente del rame stesso. Il rame viene disciolto anche dalle soluzioni concentrate di cianuri alcalini, con formazione di un complesso. Il rame è molto tossico per gli organismi inferiori e per i microrganismi. Per gli animali superiori e per l'uomo dosi fino a un decimo di grammo non sono dannose, mentre lo sono quantità di 2-3 grammi, che possono anche riuscire letali.
Genesi:	Secondaria, in ambiente riduttore al contatto tra zone di ossidazione e di cementazione, un tipico minerale formatosi per processi chimici in condizioni riducenti nella zona di ossidazione dei giacimenti a solfuri legati a rocce ultrabasiche. Si trova anche in cavità di basalti e di conglomerati, talora in masse cospicue. Non infrequente nelle vecchie miniere periodicamente allagate da acque contenenti solfati di rame, come incrostazioni su oggetti di ferro e come sostituzione parziale delle fibre del legno delle armature. (questo è il caso del campione nel museo del Liceo Scientifico A Avogadro)

n°160 scheda n°116 Miniera di Herin vallone di Champdepraz (Ao))	
Paragenesi:	I giacimenti più abbondanti sono quelli in cui il rame è presente in combinazione con altri elementi dai quali attualmente si estrae il metallo; sono principalmente solfuri, esistono tuttavia anche composti che possiamo genericamente definire ossigenati : Calcocite : Cu 79,8% Bornite : Cu 63,3% Calcopirite Cu 34,6 % Tetraedrite-Tennantite Cu 45,8-51,6 % Enargite Cu 48,3 % Bournonite Cu 13,0 % Cuprite Cu 88,8 % Malachite Cu 57,4 % Azzurrite Cu 55,3 % Antlerite Cu 67,3 % Brochantite Cu 56,2 % Calcanthite Cu 40,6 % Il primo gruppo comprende la calcosina (Cu_2S), la calcopirite (CuFeS_2), che è il minerale più importante, la covellite (CuS), la bornite (Cu_5FeS_4), l'enargite (Cu_3AsS_4), la tetraedrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), la tennantite ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$). Al 2° gruppo appartengono l'azzurrite ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), e la malachite, che sono considerate come pietre ornamentali di pregio, la cuprite (Cu_2O), la antlerite ($\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$), la crisocola, altri minerali hanno interesse soltanto scientifico, esistono inoltre minerali che contengono rame, ma non sono utilizzati per l'estrazione del metallo, ma trovano un impiego come pietre ornamentali come la malachite e la turchese. Tracce di rame si trovano nel terreno, nelle piante e negli animali, specialmente nel tessuto osseo. La colorazione rosso violetta che le ceneri di ossa assumono dopo calcinazione a elevata temperatura è infatti da attribuire alla formazione di Cu_2O colloidale, che si origina per decomposizione termica dell'ossido rameico.
Il rame nativo:	E' più comune dell'argento, anche se non è comunissimo, trovandosi generalmente in quantità nettamente subordinata agli altri minerali di rame (in genere solfuri). Rari sono i cristalli distinti, per lo più di abito cubico, ma di solito alquanto distorti; molto più frequenti sono gli aggregati arborescenti. Come l'argento, sebbene in minore misura, anche il rame è col tempo soggetto all'annerimento, per cui va protetto. Magnifici e sempre freschissimi sono gli esemplari filiformi inclusi nella calcite. Associata al rame si trova spesso la cuprite, in suggestivi cristallini rossi. Il rame naturale è una miscela dei due isotopi stabili ^{63}Cu e ^{65}Cu e si trova in natura allo stato nativo in quantità relativamente abbondanti, in cristalli ad abito cubico o cubottaedrico, di solito molto deformati, associati a costituire aggregati dendritici, oppure in granelli e in masse compatte o cavernose.
L'età del rame:	Il rame è stato il primo metallo a essere apprezzato dall'uomo come bene di un certo valore da utilizzare per costruire utensili, armi e ornamenti. E il suo nome caratterizza un'era preistorica, l'età del rame appunto, in cui accanto a oggetti di pietra fecero la loro comparsa e si affermarono oggetti di oro rosso, allora relativamente abbondante allo stato puro e facilmente lavorabile per la sua malleabilità e il suo basso punto di fusione (1083°C).

	Ora solo raramente il rame nativo è reperibile in quantità tale da essere sfruttato industrialmente (elettrotecnica e leghe).
Metallurgia del rame:	Raramente il rame nativo. viene sottoposto a procedimenti metallurgici, che interessano soprattutto i solfuri, ossia i minerali cupriferi più comuni. Di solito questi vengono inizialmente sottoposti a un processo di flottazione; i minerali, ridotti in polvere, vengono separati dalla matrice rocciosa (gangha) mediante getti di aria compressa e agenti schiumogeni (olio di pino, ecc.). La schiuma trascina fuori dall'acqua il materiale utile e spesso, usando appositi agenti chimici, si possono operare flottazioni selettive per i vari minerali metalliferi. Il minerale di rame in tal modo arricchito viene trattato in forno e il rame impuro ottenuto è poi raffinato elettroliticamente. Le impurità maggiormente ossidabili restano in soluzione e sul fondo delle vasche si raccolgono i cosiddetti "fanghi anodici", che risultano ricchi di argento e metalli rari.
Località:	I più bei cristalli di rame nativo (fino a 3 cm) provengono dalla penisola di Keweenaw (Lago Superiore, USA), dove però sono state trovate anche masse fino a 420 t di peso e leghe naturali di rame e argento chiamate "half breeds"; altri giacimenti con bei cristalli di rame nativo si trovano in Germania, Arizona (Bisbee, USA) e negli <i>skam</i> a manganese di Långban (Svezia) e Franklin (New Jersey, USA); sue dendriti o masserelle sono tuttavia comuni in molti giacimenti (URSS, Zambia,). Si trova rame nativo anche in RDT (scisti di Mansfeld, Zwickau), RFT (miniere Wolf presso Herdorf, Reichenbach), URSS (Urali - Krasnoturjinsk), Messico (Cananea), Australia (Burra Burra), Namibia (Tsumeb). In Bolivia, presso Corocoro, e forse anche nel Cile, si hanno interessanti pseudomorfosi su aragonite, sotto forma di "cristalli" esagonali. Nella regione alpina il rame nativo è raro; i campioni migliori provengono dalla località francese ali Saint Veran presso Puget-Théniers (miniera del Cérissier), sotto forma di lamine abbastanza estese.
Località Italiane:	Miniera di Herin vallone di Champdepraz (Ao) forme dendritiche simili a felci campione n° 160 nel museo del Liceo Scientifico A. Avogadro È stato trovato in laminette nelle fessure del <i>Quarzo</i> nella cava sopra Oltre Fiume a Baveno (Novara). Noduletti si trovano nell'Amianto o nella <i>Clorite</i> entro le serpentine del Monte Motta a - Lanzada (Sondrio). Pagliuzze di <i>Rame</i> si trovano assieme a <i>Prehnite</i> a Ciaplaia (Campitello, Val di Fassa, Trento). Masserelle di <i>Rame</i> si rinvenivano nei <i>Diaspri</i> nelle miniere Gambatesa e Molinello in Val Graveglia (Ne, Genova). Forme dendritiche simili a felci si trovano nelle miniere di Libiola (Sestri Levante) e di Monte Nero (Rocchetta di Vara). Masse cospicue compatte di <i>Rame</i> sono state trovate in Toscana all'Impruneta (Firenze) ed a Montecatini Val di Cecina (Pisa). Cristalli in aggregati dendritici (che possono raggiungere i 5 centimetri) si trovano nella Miniera Calamita all'Isola d'Elba. Masserelle compatte di <i>Rame</i> al Conventino presso Anghiari in provincia di Arezzo. Incluse in una roccia eruttiva masserelle compatte di <i>Rame</i> si trovano a Pari (Grosseto). In Sardegna segnalato nella miniera di Rosas presso Narcao, miniera di Funtana Raminosa (Gadoni), vulcaniti di Ittireddu e di Morres Alla miniera Calabona ad Alghero (Sassari) è possibile rinvenire <i>Rame</i> in piccoli cristalli, associato a cuprite, malachite, azzurrite. Nella Miniera Montevecchio i campioni possono avere varie morfologie, con classici aggregati arborescenti oppure con cristalli cubici, ottaedrici o combinazioni di queste forme con altre più rare. Alcuni cristalli particolarmente eleganti sono parzialmente o totalmente trasformati in cuprite.

	Il colore è il caratteristico rosso-rame con lucentezza metallica e si presenta in associazione con cuprite, malachite, connellite, cerussite, linarite, brochantite, calcocite e calcopirite.
Formazione ofiolitica:	In Italia <u>piccole quantità di rame nativo sono state trovate</u> nella cosiddetta "formazione ofiolitica" (serpentine, gabbri, e diabasi) in Liguria, nell' Appennino modenese ed aretino e nelle colline livornesi. Alcuni blocchi, anche di notevoli dimensioni furono rinvenuti all'Impruneta (Firenze). Il rame, pur non essendo particolarmente abbondante (~20 ppm nelle ofioliti), forma minerali propri, mentre il Nichel, che in esse è molto più abbondante (da ~ 2500 a 4000 ppm), è sempre disperso nei silicati in sostituzione di Mg e Fe²⁺. La ragione di questo fenomeno è facilmente spiegabile con la teoria del campo cristallino. A causa della stabilizzazione in campo ottaedrico, il Ni viene facilmente ospitato nei siti ottaedrici dei minerali femici, a differenza del Cu, che a causa dell'effetto Jahn-Teller, riesce ad entrarvi in minor quantità e finisce per arricchirsi e formare minerali propri, quali appunto il rame nativo (da : Carobbi II, con piccole modifiche).
Usi:	Solo raramente il rame nativo è in quantità tale da essere sfruttato industrialmente. Il metallo è sempre stato importantissimo per le civiltà umane, secondo solo al ferro. Il suo maggiore impiego attuale è nel campo elettrotecnico (cavi e fili elettrici) e in quello delle leghe (ottone, bronzo e una nuova lega con 3% di berillio, che risulta particolarmente resistente alle vibrazioni). . Oltre ai mille usi che tutti conosciamo e all'impiego che del <i>Rame</i> si fa in campo artistico (incisioni) da questo metallo si ottiene un importantissimo sale, il <i>Solfato di Rame</i> più noto col nome di <i>Verderame o Poltiglia Bordelese</i>, usatissimo in agricoltura. .
	<pre> graph LR A[RAME PROVENIENTE DA MINIERA] --> C[RAFFINAZIONE DEL RAME] B[RAME PROVENIENTE DA ROTTAMI] --> C C --> D[RAME CONSUMATO] D --> E[METALLO CONSUMATO] F[ELEMENTI ALLIGANTI] --> E G[LEGHE CONTENUTE NEI ROTTAMI] --> E E --> H[FILII TONDI LAMINATI 46%] E --> I[OTTONI LAMINATI 42%] E --> J[FONDERIE 8%] E --> K[IMPIANTI MET. A POLVERI 1%] E --> L[ALTRE INDUSTRIE 3%] H --> M[COSTRUZIONI 35%] H --> N[PRODOTTI PER IND. ELETTRICA 28%] I --> M I --> N I --> O[PRODOTTI PER IND. MECCANICA 17%] J --> P[TRASPORTI 10%] J --> Q[USI GENERALI 10%] K --> Q L --> Q R[IMPORTAZIONE DI LAMINATI] --> M R --> N </pre>
Possibili confusioni:	Con la Niccolite, arseniuro di nichel, che però è più leggera, più dura, con toni rosati e fonde facilmente con emissione di vapori dal forte odore di aglio
Provenienza:	Gruppo Mineralogico Basso Canavese
Data:	14/02/04--26/01/2007-05/01/2008

Rame:	Tra i metalli il rame è quello noto dai tempi più remoti. La scoperta dei vari processi necessari per estrarlo dai minerali e per legarlo allo stagno in una lega dura, detta bronzo, ha segnato l'uscita dell'umanità dall'età della pietra per entrare in quella dei metalli. Con il bronzo si costruirono utensili dotati di caratteristiche non ottenibili con la pietra: tenacità, durata, una certa malleabilità, possibilità di costruire aghi sottili e altri manufatti di forma complessa.
--------------	--

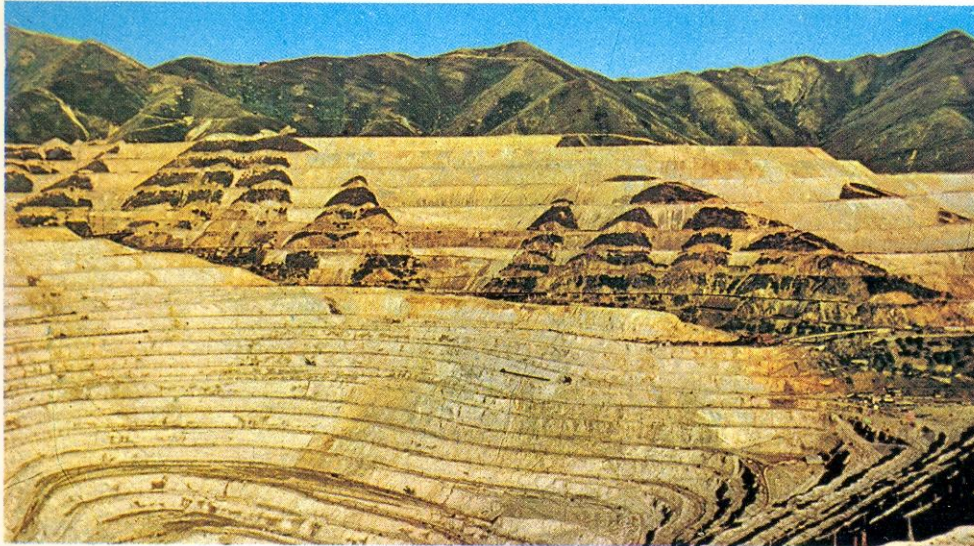
Il bronzo divenne il materiale principale della civiltà successiva a quella della pietra, proprio per la relativa semplicità della metallurgia estrattiva dei suoi componenti. Ancora oggi il bronzo possiede una notevole quantità di applicazioni che lo rendono molto utile nell'industria meccanica.

Il rame è un elemento prezioso per tre tipi di applicazioni: come conduttore elettrico, come costituente principale di molte leghe metalliche, come costituente di molte sostanze utili in processi industriali o nell'analisi di laboratorio.

Le proprietà chimiche del rame sono simili a quelle dell'argento e dell'oro.

Questi due metalli possiedono un peso atomico superiore a quello del rame e le loro proprietà sia fisiche sia chimiche variano progressivamente al variare di questa caratteristica.

la



MINIERA DI RAME - Il rame si trova nativo in ~
parecchi giacimenti sulle rive del lago Superiore (USA) e in Cile. In a vediamo una grande
miniera a cielo aperto di tale elemento, nell'Utah; in b l'aspetto caratteristico del rame nativo.



Il rame in natura

Grandi giacimenti di rame si trovano negli Stati Uniti, nell'Unione Sovietica, Cile, Rhodesia e Congo (Katanga). Il rame è contenuto nella litosfera nelle proporzioni di 70 g/ t: si tratta dunque di un elemento molto diffuso; inoltre presenta il vantaggio di trovarsi spesso concentrato in filoni che formano estesi giacimenti cosicché la sua estrazione è facile ed economica.

Il rame si trova allo stato nativo sotto forma di filamenti coperti in superficie da uno strato alterato chimicamente, tuttavia sotto questa forma è reperibile soltanto in piccole quantità; si trova più facilmente allo stato ossidato.

I minerali più importanti sono i solfuri:

la calcosina, solfuro rameoso, Cu_2S , e la calcopirite, CuFeS_2 (Cu 34,5%, Fe 30,5%, S 35%, presenza di Ag, Au, Tl, Se, Te) **campioni n° 209 e 210 scheda n° 144 al museo del Liceo Scientifico A. Avogadro.**

In molte pirite, dalle quali si estrae il ferro, è presente anche un forte contenuto di rame che viene vantaggiosamente recuperato.

Spesso ai minerali di rame sono associati anche minerali di altri metalli nobili, specialmente argento, oro e platino, che possono pure essere recuperati durante i processi estrattivi di questo elemento.

Minerali di rame dotati di rara bellezza sono la malachite e l'azzurrite, di cui si trovano bellissime concrezioni mammellari stratificate di origine idrotermale che, segate in

lastre, mostrano bellissimi disegni.

La malachite, come pietra ornamentale, è molto ricercata soprattutto perché sta diventando sempre più rara e quindi più preziosa.

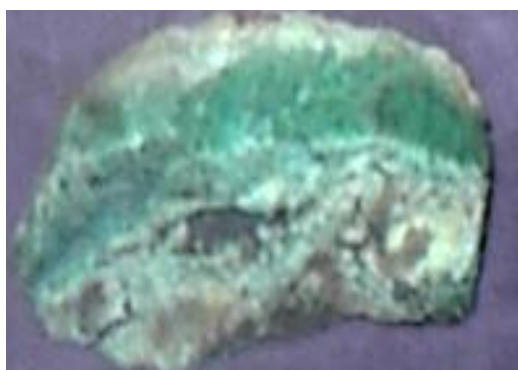
La malachite è un carbonato basico di rame, di formula $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, (CuO 71,95%, CO_2 19,90%, H_2O 8,15%) **campioni n° 27 e 39 scheda n° 21 al museo del Liceo Scientifico A. Avogadro.**

Mentre l'azzurrite, a sua volta carbonato basico, ha formula $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$

Il dioplasio, un silicato di rame, viene usato come pietra ornamentale per il suo bellissimo colore verde smeraldo



Calcopirite solfuro tetragonale **campioni n° 209 e 210 scheda n° 144 al museo del Liceo Scientifico A. Avogadro.**



La malachite carbonato basico **campioni n° 27 e 39 scheda n° 21 al museo del Liceo Scientifico A. Avogadro.**

L'estrazione del metallo

L'estrazione del rame avviene solitamente in tre operazioni successive: macinazione e arricchimento del minerale; arrostitimento, cioè riscaldamento in corrente d'aria e ossigeno per togliere lo zolfo legato al rame; e, alla fine, la raffinazione del metallo grezzo ottenuto per mezzo dell'elettrolisi.

La prima parte del processo di estrazione ha lo scopo di recuperare il metallo da minerali poveri; si sfruttano infatti minerali contenenti anche solo 11 % del metallo.

Questi minerali vengono finemente macinati in polvere sottilissima che viene fatta

passare attraverso liquidi contenenti piccole quantità di agenti schiumogeni (oli).

La macinazione molto fine separa infatti granuli di minerale di rame da quelli di altri minerali, anche se non completamente.

Questi, manifestando una maggiore o minore affinità per le bolle d'aria create alla superficie del liquido dagli agenti schiumogeni, vengono più o meno trascinati da queste, separandosi così nettamente dagli altri minerali.

Questo primo procedimento, chiamato flottazione, serve quindi per concentrare la quantità di rame presente nel minerale di partenza, eliminando molte scorie.

Si ottiene così un nuovo prodotto che viene inviato al processo di estrazione e che contiene in genere fino al 20 % di rame.

Il processo di estrazione avviene mediante riscaldamento del minerale in forni simili ai convertitori per la raffinazione dell'acciaio.

In questi recipienti l'aria viene però insufflata dall'alto, mentre la massa viene portata a una temperatura elevata, fino a 1200°, per averla ben fusa.

Il minerale trattato è un solfuro di rame e ferro; mediante questo riscaldamento, in aria la quantità di zolfo combinato diminuisce notevolmente perché in parte viene bruciato.

Il rame dapprima passa a ossido, successivamente con carbone e silice, mentre il ferro passa a ossido, il rame si riduce parzialmente a rame metallico.

Un riscaldamento ulteriore provoca infine la riduzione completa. Questo processo viene chiamato a secco; ne esiste anche uno, meno usato, detto a umido, con il quale il metallo viene ottenuto da una soluzione.

Il minerale di rame, in genere pirite cuprifera, finemente macinato, viene lasciato ossidare a lungo in presenza di agenti atmosferici.

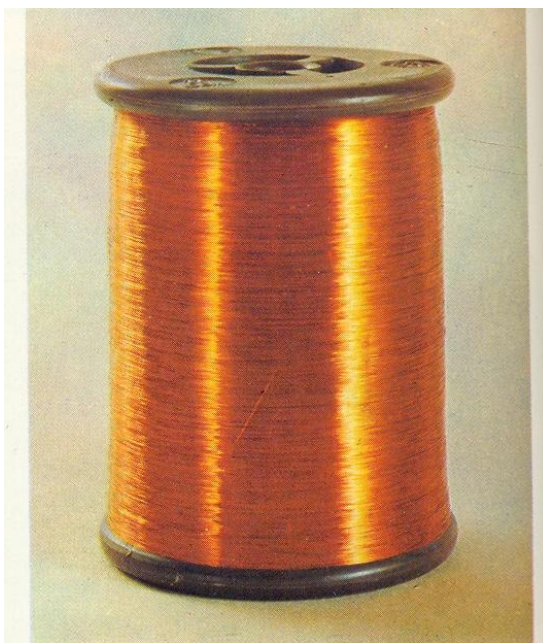
Questo, in pratica, è il processo di degradazione che avviene nei minerali esposti all'aria alla superficie delle rocce e di cui abbiamo parlato.

Il minerale macinato e ossidato viene poi sciolto in una soluzione di acido solforico dalla quale il rame viene fatto precipitare, dopo avere opportunamente trattenuto il ferro in soluzione.

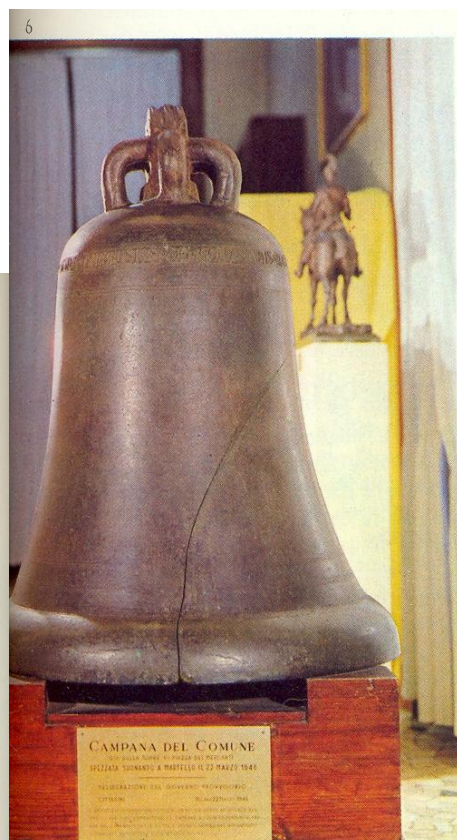
La raffinazione elettrolitica si ottiene per mezzo di celle nelle quali il rame viene introdotto sotto forma di solfato CuSO_4 nella proporzione del 15 % e acido solforico nella proporzione del 5-10 %.

Il passaggio di corrente a bassa tensione produce la deposizione al catodo del rame dotato di una purezza del 98-99 %; una seconda raffinazione del metallo ottenuto dalla prima porta a un prodotto al 99,995 %.

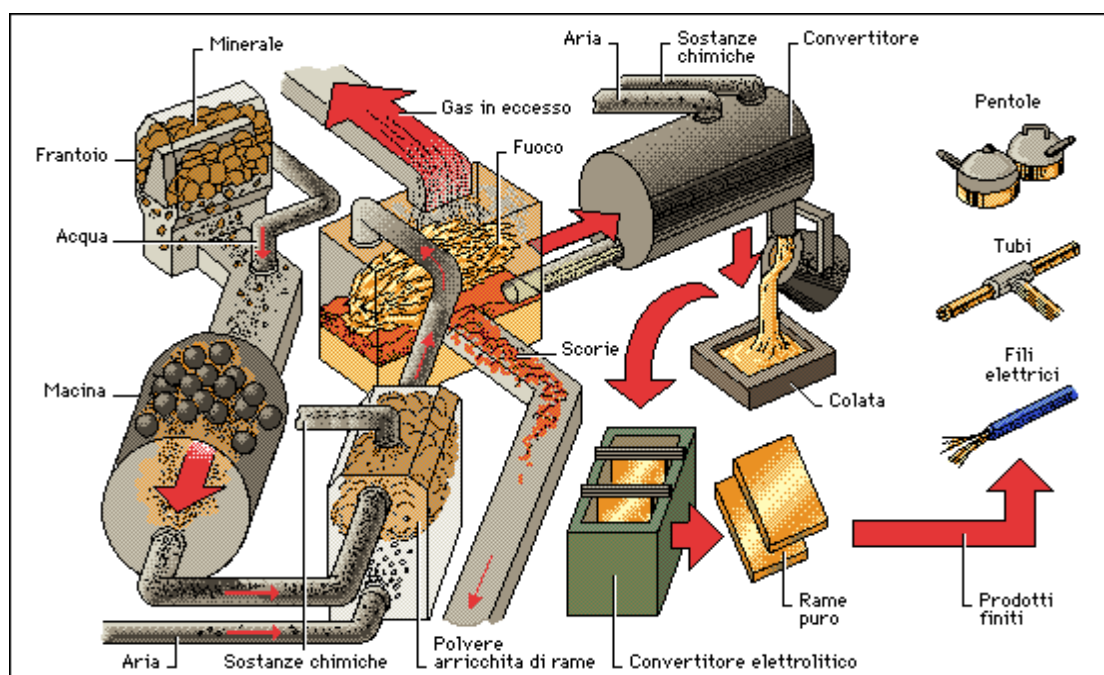
Durante la prima raffinazione, le impurezze che si trovano nel rame si raccolgono sul fondo dei bagni dove costituiscono i cosiddetti fanghi contenenti spesso metalli come argento oro platino recuperabili.



▲ **USI** - Il rame è molto usato nell'industria come conduttore, come questo rocchetto di filo.



▲ **LEGHE DI RAME** - Il rame viene usato, insieme con altri elementi, per la formazione di alcune leghe. Le più importanti fra queste sono ottone e bronzi. Il costo di questi ultimi è molto elevato poiché dipende dalla quantità di stagno presente; sono usati per fare campane, monete e statue.



Ciclo produttivo del rame.

Le sue proprietà e le sue leghe

Il rame è un metallo duttile, malleabile, tenero, dotato di peso specifico più elevato di quello del ferro e quindi assai pesante.
Fonde a quasi 1100° in un liquido viscoso.

	Per questo motivo non si usa per fuioni in quanto non si adatterebbe bene alle forme. ~ dotato di una fortissima conducibilità elettrica e termica. Queste proprietà dipendono entrambe dalla mobilità degli elettroni nel reticolo cristallino del metallo. Esso; inoltre, può essere evaporato facilmente sotto vuoto e come tale serve per preparare specchi usati nella riflessione delle radiazioni infrarosse. Il suo colore rossiccio è dovuto alla capacità di riflettere soprattutto radiazioni di forte lunghezza d'onda e meno quelle di piccola lunghezza d'onda; nell'infrarosso il suo potere riflettente è così elevato che un raggio di questa radiazione si può far riflettere su specchi ramati decine di volte senza che si attenui troppo. Con l'oro forma soluzioni solide in tutte le proporzioni e per tale proprietà viene usato come legante di questo metallo cui conferisce maggiore durezza. Con piccole percentuali di rame l'oro assume una tipica colorazione rosata. Il rame trova moltissime applicazioni in due importantissime famiglie di leghe: i bronzi, nei quali il secondo componente è lo stagno, e gli ottoni dove si lega con lo zinco. I bronzi sono caratterizzati, nelle loro proprietà, dal tenore di stagno; sono duri, fragili e facilmente fusibili. Hanno un vasto impiego in meccanica per la loro proprietà di scorrere sull'acciaio con basso coefficiente di attrito, anche senza lubrificazione. Vengono perciò usati per costruire le bronzine, cuscinetti entro cui vengono fatti scorrere alberi in acciaio. Spesso altri elementi in piccola percentuale aumentano la scorrevolezza di questa coppia di metalli. . Elementi come il fosforo e il silicio, in minime percentuali, conferiscono alla lega il primo una maggiore durezza e una maggiore resistenza alla corrosione, il secondo una maggiore resistenza alla trazione pur conservando inalterata la conducibilità elettrica. Questa lega viene usata per conduttori sottili, per esempio per i fili telefonici, quando occorre che il filo conduttore impartisca al cavo anche una buona resistenza meccanica. Gli ottoni contengono zinco, come legante, in proporzione variabile dal 20 al 50 %. Un alto tenore di zinco conferisce all' ottone colore chiaro e una notevole fragilità. L'aggiunta di determinati elementi conferisce agli ottoni una particolare resistenza alla corrosione.
I composti del rame	Il rame possiede valenza 1 e 2 e forma perciò due serie di composti, i rameosi e i rameici. Esposto all' aria forma una patina sottile di carbonato basico verde. Questa patina lo protegge da un ulteriore attacco degli agenti atmosferici e perciò il rame viene usato come materiale da rivestimento per tetti di edifici, come cupole di chiese ecc.: si adotta in spessori di circa 1 mm. Viene attaccato dall' acido nitrico a caldo e a freddo, concentrato e diluito; il cloridrico non lo attacca, il solforico solo a caldo. Tracce di rame sono indispensabili negli esseri viventi e specialmente nei vegetali; i suoi composti solubili sono velenosi. Della serie dei composti rameici il più comune e diffuso è il solfato rameico CuSO_4; possiede un bel colore blu (viene anche chiamato vetriolo azzurro) e cristallizza con 5

	molecole di acqua. Viene adottato come anticrittogamico mescolato con latte di calce col quale forma una pasta azzurrognola che serve per irrorare le piante soggette a parassiti come la vite. La miscela prende il nome di poltiglia bordolese. Tra i vari composti rameici uno di notevole importanza è l'idrato cuprammonico $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$, che possiede la proprietà di sciogliere la cellulosa, sostanza altrimenti insolubile, senza alterarne troppo la complessa struttura molecolare; possiede perciò due importanti applicazioni, una di laboratorio e una industriale. In laboratorio serve per determinare il contenuto in cellulosa di alcune sostanze come il legno e la carta. Industrialmente serve per sciogliere la cellulosa che può successivamente venire estratta dai bagni della soluzione sotto forma di filo molto sottile che indurisce rapidamente all'aria dando così origine a una resistente fibra tessile: il raion.
Resistenza alla corrosione	Il rame è un metallo nobile, ma a differenza dell'oro e degli altri metalli preziosi, può essere attaccato da reagenti comuni e dall'ambiente. Il rame puro resiste agli attacchi sotto molte condizioni di corrosione, mentre alcune sue leghe hanno un utilizzo limitato in certe condizioni ambientali, a causa dell'infragilimento da idrogeno o da stress-corrosion cracking. L'infragilimento da idrogeno si osserva quando leghe di rame contenenti ossidi di rame sono esposte ad atmosfera riducente. Molte leghe di rame sono disossidate e quindi non soggette ad infragilimento da idrogeno. Lo stress-corrosion cracking avviene molto frequentemente in ottoni esposti ad ammoniaca, ammine, composti di mercurio o cianuri. Invecchiamento e rilassamento delle tensioni residue, introdotte con il raffreddamento ed eventuali lavorazioni successive, alleviano lo stress-corrosion cracking: a patto che, in servizio, non subentrino sforzi che risensibilizzano il manufatto allo s.c.c. . Ottoni contenenti più del 15% di zinco sono molto suscettibili alla dezincificazione, dove lo zinco è selettivamente rimosso per corrosione dalla superficie del materiale, lasciando uno strato poroso di rame e prodotti di corrosione. Questo fenomeno si presenta particolarmente in acque che contengono molto ossigeno ed anidride carbonica, e se le acque sono calme o poco mosse. La dezincificazione si presenta generalmente uniforme in acque leggermente acide, a bassa conducibilità ed a temperatura ambiente; mentre l'attacco è spesso locale in acque neutre o debolmente alcaline, saline e calde. Meno suscettibili sono il rame puro e le sue leghe contenenti piccole percentuali di zinco; la presenza di stagno nella lega inibisce la dezincificazione negli ottoni in getti. Quando può avvenire la dezincificazione, possono essere usati ottoni a basso zinco od ottoni inibiti. Il costo è minore nel secondo caso, perché i raccordi si possono fare più semplicemente se l'ottone è ad alto zinco.
Saldabilità:	Il rame e le sue leghe possono essere facilmente assemblate attraverso uno dei vari processi meccanici (aggraffatura, rivettaggio, bullonatura), o di saldatura (saldatura a stagno, brasatura, saldatura ad arco), comunemente usati per unire componenti metallici. La saldabilità varia tra le varie leghe per molte ragioni, incluse la formazione di cricche a caldo nelle leghe al piombo e le saldature instabili nelle leghe contenenti ossido di rame.

	Stagno e zinco riducono la saldabilità delle leghe di rame; mentre la presenza di residui fosforosi aumenta la saldabilità, in quanto il fosforo si combina con l'ossigeno adsorbito, prevenendo la formazione di ossidi di rame nel cordone di saldatura. La scelta del miglior metodo di giunzione è fatta in base a: requisiti di impiego, configurazione della giunzione, spessore dei componenti e composizione delle leghe.
Riciclabilità:	Il rame è perfettamente riciclabile e riciclato pressoché al 100% in tutti i Paesi del mondo. Il 40% dei semilavorati di rame e leghe di rame prodotti in Italia è ottenuto riciclando rottami. Tale valore corrisponde al 100% dei semilavorati prodotti 30 anni fa (vita media utile dei prodotti di rame e leghe di rame); per questo è possibile affermare che il rame è la materia prima per la quale disponiamo di maggiori riserve, anche se non esistono in Italia miniere da cui estrarlo. A differenza di altri, il rame riciclato ha le stesse caratteristiche chimico-fisiche e tecnologiche del rame primario e quindi non subisce limitazioni di utilizzo o diminuzione di valore.
Lavorazione meccaniche:	Il rame ad elevata purezza è un metallo molto morbido: viene richiesto uno sforzo di taglio di soli 3,9 MPa lungo i piani di scorrimento $\square 111\square$. Il rame è facilmente deformabile a freddo. Una volta che il moto fluido è iniziato ci vuole una piccola energia per farlo continuare, cosicché grandi cambiamenti di forma o riduzioni di spessore sono possibili in un singolo passaggio, specialmente con flusso continuo. Il rame e molte delle sue leghe rispondono molto bene a deformazioni a freddo sequenziali. Alcune leghe di rame induriscono per lavorazione abbastanza velocemente: per questo c'è un limite nel numero di operazioni che si possono fare prima di dover effettuare un rinvenimento per ammorbidire il metallo. Il rame può subire riduzioni di dimensioni anche senza rinvenimento, ma alte deformazioni (più dell'80 $\square$ 90%) inducono orientazioni cristalline indesiderabili per applicazioni che necessitano di isotropia delle proprietà.
Trattamenti termici:	Metalli induriti per lavorazioni meccaniche (incrudimento) possono essere ammorbiditi attraverso riscaldamento, o ricottura. Durante la ricottura di una lega a fase singola, i cristalli deformati ed sotto sforzo sono trasformati in cristalli privi di tensioni attraverso riassetto, ricristallizzazione e crescita dei grani. Nei metalli più pesantemente deformati, la ricristallizzazione avviene a più basse temperature rispetto a quelli meno deformati. Per cui, i grani risultano più piccoli e più uniformi quando il metallo da ricristallizzare risulta molto deformato. La grandezza del grano, quindi, si controlla attraverso lavorazioni a freddo e ricottura. Una grana fine è favorita da grandi incrudimenti e ricotture veloci e brevi; mentre una grana grossa si ottiene normalmente con modesti incrudimenti e lunghi tempi di ricottura. Commercialmente, le dimensioni dei grani ricotti sono contenuti tra 0,01 e 0,10 mm. Variazioni nella grandezza dei grani producono variazioni di durezza e di altre proprietà meccaniche. Spesso sono richiesti grani fini per incrementare le proprietà meccaniche del prodotto finito, quali: capacità di carico, resistenza a fatica, resistenza a s.c.c., e qualità

	superficiali (pulitura). I processi di trattamento termico possono essere applicati al rame e alle sue leghe, per ottenere omogeneizzazioni, rilassamento di tensioni residue, solubilizzazioni, indurimenti per precipitazione e tempre.	
Nomenclatura:	Per la designazione del rame e delle sue leghe si fa' riferimento all'Unified Numbering System (UNS), mostrato nelle seguenti tabelle (Tab. 2.a e Tab. 2.b).	
	C10100-C15760	Rame (>99%)
	C16200-C19600	Leghe ad alto contenuto di rame (>96%)
	C21000-C28000	Ottoni (Cu-Zn)
	C31200-C38500	Ottoni di piombo (Cu-Zn-Pb)
	C40400-C48600	Ottoni di stagno (Cu-Zn-Sn-Pb)
	C50100-C52400	Bronzi al fosforo (Cu-Sn-P)
	C53400-C54400	Bronzi al fosforo e piombo (Cu-Sn-Pb-P)
	C55180-C55284	Rame al fosforo e leghe rame-argento al fosforo (Cu-P-Ag)
	C60800-C64210	Bronzi di alluminio e bronzi alluminio-silicei (Cu-Al-Ni-Fe-Si-
	C64700-C66100	Bronzi di silicio (Cu-Si-Sn)
	C66400-C69900	Altre leghe di rame e zinco
	C70100-C72950	Cupro-nickel (Cu-Ni-Fe)
	C73500-C79800	Alpacche (Cu-Ni-Zn)
	Tab. 2.a. Designazione UNS per leghe di rame forgiate.	
	C80100-C81200	Rame (>99%)
	C81400-C82800	Leghe ad alto contenuto di rame (>94%)
	C83300-C84800	Ottoni rossi e rossi al piombo (Cu-Zn-Sn-Pb, 75-89% Cu)
	C85200-C85800	Ottoni gialli e gialli al piombo (Cu-Zn-Sn-Pb, 57-74% Cu)
	C86100-C86800	Bronzi al manganese e bronzi al manganese al piombo (Cu-Zn-
	C87300-C87800	Bronzi ed ottoni al silicio (Cu-Zn-Si)
	C90200-C94500	Bronzi allo stagno semplici e con piombo (Cu-Sn-Zn-Pb)
	C94700-C94900	Bronzi al nickel-stagno (Cu-Ni-Sn-Zn-Pb)
	C95200-C95900	Bronzi di alluminio (Cu-Ni-Fe)

	C96200-C96800	Cupro-nickel (Cu-Ni-Fe)
	C97300-C97800	Alpacche (Cu-Ni-Zn-Pb-Sn)
	C98200-C98800	Rame al piombo (Cu-Pb)
	C99300-C99750	Miscele di leghe
	Tab. 2.b. Designazione UNS per leghe di rame da colata. Il sistema tradizionale di designazione dei trattamenti termici (Tab. 3) assegna un codice alfanumerico ad ogni designazione di tempra: le due cifre xx si riferiscono all'ammontare della deformazione a freddo, o si riferiscono ad un prodotto specifico.	
	Hxx	deformati a freddo
	HRxx	deformati a freddo con riduzione stress interni
	Mxx	grezzi
	Oxx OSxx	ricotti
	TBxx	solubilizzati
	TDxx	solubilizzati e deformati a freddo
	TFxx	solubilizzati e induriti per precipitazione
	TMxx	induriti per laminazione
	TQxx	induriti per tempra
	WHxx	saldabili
	Tab. 3. Designazione per leghe di rame secondo il trattamento termico subito.	
Rame elettrolitico:	Commercialmente il rame puro è rappresentato dai numeri UNS che vanno da C10100 a C15760: tra questi due estremi ci sono differenti gradi di purezza e quindi differenti caratteristiche. Il rame raffinato elettrolitico C12500, o rame ad alta conducibilità, disossidato con fosforo senza residui e ricotto, ha una resistenza elettrica di $16 \frac{\mu\Omega}{\text{cm}}$ a 20°C, la quale viene considerata come la conducibilità al 100% IACS. Questo tipo di rame presenta lo svantaggio di diventare fragile quando viene riscaldato e di non consentire buona finitura. Molta parte del metallo venduto per usi commerciali, come rame, contiene piccole percentuali di Si o altro indurente, ma basta la presenza anche dello 0,40% di arsenico o di altre impurità a ridurre drasticamente la conducibilità elettrica. Il rame esente da ossigeno (C10100 e C10200) è puro al 99%: ha una conducibilità elevata, non è soggetto ad infragilimento e resiste alla deformazione a freddo. Il rame disossidato con fosforo	

	contiene fosforo residuo; ha una resistenza elevata, una durezza e una resistenza alla corrosione superiori a quelle del rame, ma ha una conducibilità inferiore. La lega di rame al fosforo è usata in sostituzione del fosforo puro per disossidare le leghe di ottone e bronzo e per aggiungere il fosforo nella produzione del bronzo fosforoso. Viene prodotta in tipi contenenti il 5, 10 e 15% di fosforo aggiunto direttamente al metallo fuso. E' un potente disossidante e il fosforo, inoltre, indurisce il bronzo. Anche leggere aggiunte di fosforo al rame o al bronzo, ne aumentano la resistenza a fatica. Il rame al fosforo viene prodotto introducendo formelle di fosforo nel rame fuso all'8,27%, formando Cu_3P con un punto di fusione di 707°C. Un rame al fosforo al 10% fonde a 850°C ed uno al 15% fonde a 1022°C. Le leghe che contengono più del 15% di fosforo non sono stabili. Il rame al fosforo è disponibile in commercio in formelle intagliate o sotto forma di pallini o granaglie.

Il modo più comune di catalogare il rame e le sue leghe è quello di individuare sei famiglie: rami, leghe di rame diluite, ottoni, bronzi, leghe cupro-nickel ed alpacche. La prima famiglia, i rami, sono commercialmente puri, contengono meno dello 0,7% di impurezze totali e sono morbidi e duttili. Le leghe di rame diluite contengono piccole percentuali di vari elementi leganti che modificano una, o più, proprietà base del rame. Ciascuna delle famiglie rimanenti contengono uno dei cinque maggiori elementi leganti come ingrediente principale di lega (vedi Tab. 4).			
FAMIGLIA	LEGANTE 1°	Solubilità (at%)	NUMERI UNS
Rami	vari	<8	C10000
Ottoni	Zn	37	C20000,C30000,C40000,C66400 □ C69800
Bronzi fosforosi	Sn	9	C50000
Bronzi alluminici	Al	19	C60600 □ C64200
Bronzi siliconici	Si	8	C64700 □ C66100
Cu-Ni, Ni-Ag	Ni	100	C70000
Tab. 4. Classificazione del rame e delle sue leghe in base agli elementi leganti. Solubilità a 20°C. Un modo semplice per suddividere le leghe di rame è quello di dividerle in gruppi			

caratterizzati dal o dai componenti con i quali il rame è legato. Si individuano allora:

OTTONI BINARI: leghe Cu-Zn, di corrente uso industriale. A seconda del contenuto in Zn gli ottoni si dividono strutturalmente in:

Ottoni monofasici $\square$, che contengono dal 4 al 33% Zn; essi hanno struttura f.c.c., sono facilmente deformabili a freddo e meno facilmente deformabili a caldo, specialmente se contengono impurezze.

Ottoni bifasici $\square + \square$ o **ottoni misti** che contengono dal 34 al 46% Zn; la struttura è di tipo b.c.c., sono facilmente deformabili a caldo e meno facilmente a freddo. E' da tenere presente che gli ottoni misti, quando contengono un massimo di 37% Zn, con adatto trattamento termico (lento raffreddamento da temperature di 800°C) possono essere trasformati totalmente nella struttura $\square$.

Gli ottoni misti per la presenza di due fasi, sono più soggetti a fenomeni di corrosione elettrochimica rispetto agli ottoni monofasici $\square$.

Ottoni binari per torneria, sono leghe Cu-Zn aggiunte di Pb, che rende la lega capace di essere lavorata alle macchine utensili, a causa della formazione di un truciolo molto corto. Le composizioni di tali ottoni sono entro i seguenti limiti: Cu 63 $\square$ 56%, Pb 1,5 $\square$ 4%, Zn il resto. Essi sono generalmente utilizzati per torneria e per stampaggio (la presenza della fase beta permette una favorevole lavorazione a caldo).

Ottoni speciali, sono ottoni contenenti altri elementi aggiunti alla lega binaria Cu-Zn, i quali elevano notevolmente alcune caratteristiche degli ottoni binari. Hanno assunto così notevole importanza ad esempio gli ottoni allo Sn, gli ottoni al Al e gli ottoni al Si per applicazioni speciali.

BRONZI: leghe Cu-Sn, si hanno **bronzi da lavorazione plastica**, che contengono dal 2 al 9% Sn, offrono elevate caratteristiche meccaniche, in particolare elevato limite elastico, trovando importanti applicazioni in componenti a molle. Mentre i **bronzi da getti** contengono fino al 25% Sn e offrono elevate caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione ed all'usura.

CUPRALLUMINI: bronzi al Al, contengono dal 6 al 12% di Al. Essi offrono favorevoli caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione o all'erosione.

CUPRONICKEL: leghe Cu-Ni ad elevata resistenza alla corrosione ed all'erosione anche in acque marine. Trovano applicazione soprattutto sotto forma di tubi scambiatori di calore di turbine, centrali elettriche, ecc. Contengono dal 10 al 30% Ni. L'aggiunta di 1 $\square$ 2% di ferro e manganese eleva maggiormente la loro resistenza all'erosione. La lega al 25% Ni è utilizzata in diversi paesi per monetazione.

BRONZI AL BERILLIO: leghe Cu-Be, sono leghe pregiate, contenenti 23% Be. Sottoposte a trattamento termico di disossidazione ad alta temperatura, quindi a tempra ed invecchiamento, offrono caratteristiche meccaniche molto elevate, superiori ad ogni altra lega di rame e tali da competere con molti acciai legati, ai quali si possono sostituire in particolari applicazioni.

ALPACCHE O LEGHE BIANCHE: leghe terziarie Cu-Ni-Zn, con i seguenti limiti di composizione: Cu 70 $\square$ 50%, Ni 10 $\square$ 18%, Zn il resto. Le alpacche ricche in rame e nickel, per le loro caratteristiche di plasticità e resistenza alla corrosione, per il loro colore argenteo, sono utilizzate per posateria e vasellame. Le alpacche povere in rame, per le

	loro elevate caratteristiche elastiche, sono utilizzate per industrie elettromeccaniche, telefonia e simili. Un altro modo per suddividere le leghe di rame è quello di dividerle in gruppi caratterizzati dal metodo di indurimento della lega.
Leghe da soluzione solida:	I più comuni elementi leganti del rame sono quelli che formano con esso campi di soluzioni solide. Questi includono gli elementi della Tab. 4 più il manganese. L'indurimento in questi sistemi è grande abbastanza per produrre oggetti utili, senza incontrare infragilimenti associati a seconde fasi o componenti. Il rafforzamento di un metallo per la presenza di un alligante sostituzionale è una conseguenza, in primo luogo, degli effetti di distorsione introdotti dagli atomi di soluto. L'interazione di questi campi di sforzi e quelli associati alle dislocazioni fa sì che lo scorrimento delle stesse richieda l'applicazione di uno sforzo più elevato nella lega che nel metallo. L'indurimento dipende dall'entità della distorsione prodotta dagli atomi in soluzione, in quanto conseguenza delle differenze tra atomi di solvente ed atomi di soluto, soprattutto come dimensioni e valenza. Il grado di solubilità allo stato solido è correlato agli stessi fattori, per cui atomi dissimili hanno solubilità limitata a formare la loro lega. Gli effetti prodotti da soluti con maggiore efficacia di indurimento sono quindi limitati dalla loro ridotta solubilità: i soluti più simili al rame come dimensioni hanno solubilità più elevata ma presentano minore capacità di indurimento. Nel caso di presenza contemporanea di più soluti, gli effetti possono essere considerati additivi, in prima approssimazione e per basse concentrazioni, con eccezioni quando i soluti interagiscono tra loro in modo significativo. L'ottone da cartucce, tipico di questo gruppo, è costituito dal 30% di zinco in rame e non presenta fase beta eccetto una piccola percentuale dovuta a segregazione, che normalmente scompare dopo la prima ricottura. Lo zinco, pur aumentando le proprietà meccaniche di resistenza negli ottoni, ha anche l'importante vantaggio di mantenere la facilità di deformazione, tipica del rame. In particolare, la duttilità, misurata come allungamento percentuale a rottura in una prova di trazione, risulta essere maggiore per gli ottoni che per il rame e crescente con il tenore di zinco.
Leghe da soluzione solida modificate :	Modificazioni di alcune leghe da soluzione solida sono sviluppate, aggiungendo elementi che reagiscono formando dispersioni di particelle di intermetallico. Queste dispersioni hanno effetto di affinazione dei grani e di rinforzo. Il motivo di questo rinforzo è da ricercarsi nei processi di scorrimento delle dislocazioni: una dislocazione che si sposta sul proprio piano di scorrimento, incontrando un bordo grano, viene ostacolata a causa del cambiamento di orientazione. Altre dislocazioni che si addensano a bordo grano formano un impilamento, che produce un intensificazione degli sforzi nelle regioni prossime dei grani adiacenti. In questi, ad una determinata distanza dal bordo grano, lo sforzo agente risulta tanto più elevato quanto più grande è l'estensione dell'impilamento, ovvero quanto maggiore è la dimensione del grano (cresce con $d^{1/2}$). Le leghe di rame da soluzione solida rinforzate sono conosciute per la loro resistenza e formabilità. Poiché esse sono una singola fase e non subiscono trasformazioni per riscaldamento o raffreddamento, la loro massima resistenza è ottenibile attraverso deformazione a freddo, come laminazione a freddo o trafilatura a freddo. La formabilità è ridotta in proporzione all'ammontare della deformazione a freddo applicata. Allora minor deformazione a freddo produce rinforzi maggiori e di conseguenza miglior

	formabilità. Poiché queste modificazioni non richiedono una gran quantità di elementi costosi, il guadagno è ragionevolmente economico. Le leghe C63800 (Cu 95; Al 2,8; Si 1,8; Co 0,4) sono leghe altamente rinforzate, con sforzo a rottura nominale di 570 MPa per il ricotto e di 600 □ 900 MPa per il temprato laminato. Il cobalto permette la dispersione delle particelle di intermetallico di rinforzo. Le leghe C68800 (Cu 73,5; Zn 22,7; Al 3,4; Co 0,4) sono ottoni di Al, modificati e altamente rinforzati. Anche per queste la presenza del cobalto pilota la dispersione delle particelle di intermetallico di rinforzo e quindi la resistenza della lega, con medesimo range delle leghe C63800. Le leghe C65400 (Cu 95,44; Si 3; Sn 1,5; Cr 0,06) sono maggiormente rinforzate delle precedenti ed hanno un'eccellente resistenza al rilassamento degli sforzi sopra i 105°C. Hanno sforzo a rottura nominale di 570 □ 945 MPa per il temprato laminato. Contatti elettrici e connettori sono trattati a caldo a 200° □ 250°C per un'ora per stabilizzare gli sforzi interni e massimizzare la resistenza al rilassamento degli sforzi. Le leghe C66400 (Cu 86,5; Zn 11,5; Fe 1,5; Co 0,5) sono ottoni con basse percentuali di Zn, modificati dalla presenza di ferro e cobalto. La dispersione delle particelle di intermetallico, risultante da queste aggiunte, induriscono la lega. Allo stesso tempo, la conducibilità è moderatamente ridotta, e la resistenza allo s.c.c. è elevata.
Leghe da indurimento per precipitazioni:	L'invecchiamento per precipitazione porta ad incrementi di durezza, ma essa è limitata a quelle poche leghe di rame in cui la solubilità dell'elemento alligante decresce velocemente con il calare della temperatura. Al fine di ottenere una distribuzione uniforme di particelle fini nelle leghe indurenti per precipitazione si opera nel modo seguente. La lega viene portata ad una temperatura che permette la completa solubilizzazione ed ivi mantenuta fino ad avere una soluzione solida omogenea; essa viene poi raffreddata rapidamente in modo da ottenere una soluzione solida sovrassatura. Si effettua così un trattamento denominato di "tempra di soluzione". Il secondo costituente si separa, sotto forma di precipitati estremamente fini, dopo un certo lasso di tempo, ad una temperatura uguale o superiore a quella ambiente. Questo procedimento viene detto "invecchiamento". La precipitazione inizia in molti casi a bordo grano, poiché qui sono presenti spesso siti preferenziali di precipitazione. Il bordo grano può raggiungere una condizione di "sovrainvecchiamento" prima di ottenere l'indurimento completo. Questa precipitazione preferenziale impoverisce di soluto le zone adiacenti e causa la formazione di zone prive di precipitati in vicinanza del bordo grano. Un metodo per ovviare a questo inconveniente consiste nel sottoporre il materiale a deformazione plastica a freddo prima dell'invecchiamento. Le dislocazioni introdotte dall'incrudimento promuovono la precipitazione, agendo da centri di nucleazione. La temperatura di invecchiamento, però, può essere talmente elevata da annullare gli effetti dell'incrudimento. Il rame di berillio può essere considerato come caso tipico delle leghe di rame che subiscono indurimento per precipitazione. Rami di berillio fucinati possono subire indurimento per precipitazione, raggiungendo i più alti livelli di durezza ottenibili per le

	leghe di rame. Ci sono due famiglie di leghe, commercialmente significative. La prima famiglia di leghe hanno bassa percentuale di berillio: sono dette "leghe rosse" contengono 0,2 ÷ 0,7 wt% di berillio, con aggiunte di cobalto e nickel, per un totale di 1,4 ÷ 2,7 wt% dipendente dal tipo di lega (es. C17500, C17510). Queste leghe a basso contenuto di berillio raggiungono una conducibilità elettrica relativamente elevata ed hanno un colore rosa lucente. Possiedono inoltre uno sforzo di snervamento di 170 ÷ 550 MPa, senza trattamento termico, e superiore a 895 MPa dopo indurimento per precipitazione, dipendente dal grado di incrudimento. La seconda famiglia è costituita da leghe ad alto contenuto di berillio (1,6 ÷ 2,0 wt%) e circa lo 0,25 wt% di cobalto (es. C17000, C17200). Queste leghe sono dette comunemente "leghe oro" a causa della lucentezza brillante, dovuta alla sostanziale presenza di berillio (12 at%). Le "leghe oro" sono molto resistenti: sforzo di snervamento 205 ÷ 690 MPa prima dell'invecchiamento e superiore a 1380 MPa dopo invecchiamento. La conducibilità delle "leghe oro" è inferiore di quella delle "leghe rosse", a causa della maggior presenza di berillio. Per aumentare la lavorabilità in fili e tondini, alla lega si aggiunge del piombo (es. C17300). Altre leghe da indurimento per precipitazione includono C15000; C15100 (Rame di zirconio); C18200, C18400, C18500 (Rame di cromo); C19000 e C19100 (Leghe Cu-Ni-P); e C64700 (Leghe Cu-Ni-Si). C71900 (Leghe Cu-Ni-Sn) e altre leghe simili possono essere indurite per decomposizione spinodale. Per combinazione di deformazione a freddo e a caldo queste leghe possono raggiungere elevate durezza, equivalenti a leghe cupro-berillio. Queste leghe sono uniche, in quanto le loro caratteristiche di formazione sono isotropiche, e quindi non riflettono la direzionalità normalmente associata alle leghe fucinate.
Altre leghe:	Certi bronzi di alluminio, specialmente quelli contenenti più del 9% di Al, possono essere induriti per tempra da una temperatura critica. Il processo di indurimento è di tipo martensitico, simile a quello che avviene nella tempra delle leghe ferro-carbonio. Le proprietà meccaniche dei bronzi alluminici possono essere variate da invecchiamento dopo tempra, oppure utilizzando una tempra interrotta anziché una tempra standard.
Trasformazione a memoria di forma:	I bronzi alluminici con aggiunte di Ni o Zn presentano effetti di "memoria di forma". Tale effetto è controllato dalla trasformazione martensitica che queste leghe possono subire, nell'intervallo di composizione 38 ÷ 42% di Zn. Se una lega viene riscaldata ad una temperatura di pochi gradi inferiore a quella di solidus (÷ 900°C), al fine di ottenere una fase ÷ omogenea, e viene poi raffreddata rapidamente per evitare la formazione della fase ÷ , a partire da una temperatura di inizio trasformazione M_s, si forma una fase ordinata (martensite) avente composizione uguale a quella della fase ÷ ' ordinata di partenza. La trasformazione di ÷ ' in martensite procede soltanto diminuendo progressivamente la temperatura al di sotto di M_s, fino alla temperatura di completamento della trasformazione M_f. La fase ÷ ' si forma dalla martensite durante il riscaldamento di questa: la trasformazione inizia alla temperatura A_s e termina ad A_f. Il valore di M_s diminuisce sensibilmente al crescere del tenore di zinco. La trasformazione può essere indotta anche dall'applicazione di uno sforzo, a temperatura superiore a M_s. Le trasformazioni martensitiche avvengono mediante scorrimenti su specifici piani cristallografici, senza l'intervento di processi diffusivi: di conseguenza la martensite ha una composizione uguale a quella della fase da cui si forma e la trasformazione non procede nel

tempo a temperatura costante, ma il suo grado di completamento dipende dalla temperatura raggiunta, nell'intervallo M_s - M_f .

La trasformazione martensitica è termicamente reversibile: la martensite formata durante il raffreddamento si converte in modo progressivo e continuo nella fase $\square$ ' , durante il riscaldamento; inoltre, sia la fase $\square$ ' che la martensite sono ordinate. A queste proprietà è connessa la capacità di queste leghe di esibire l'effetto di "memoria di forma".

Un materiale a struttura martensitica, deformato a temperatura inferiore a M_f , riacquista la forma che possedeva prima della deformazione quando viene riscaldato attraverso l'intervallo di temperatura A_s - A_f , a seguito della trasformazione della martensite nella fase $\square$ ' . Le deformazioni completamente recuperabili sono in genere minori del 10%.

E' possibile indurre la deformazione, e successivamente annullarla, operando solo termicamente: occorre in tal caso sottoporre preventivamente il materiale a cicli termici e/o meccanici che introducano caratteristiche microstrutturali atte ad influenzare nucleazione e crescita della martensite.

Le leghe a memoria di forma (**Shape memory alloys = SMAs**) sono materiali che possono essere deformati ad una temperatura, ma quando vengono riscaldati o raffreddati, riprendono la loro forma originaria, per questo tali leghe sembrano presentare una "memoria" della loro forma. Deformazioni dell'ordine del 10% sono pienamente recuperabili. Le leghe che presentano tale effetto solamente quando vengono riscaldate si dice che hanno "memoria di forma ad una via". La sequenza di questa trasformazione è illustrata in fig. 5.

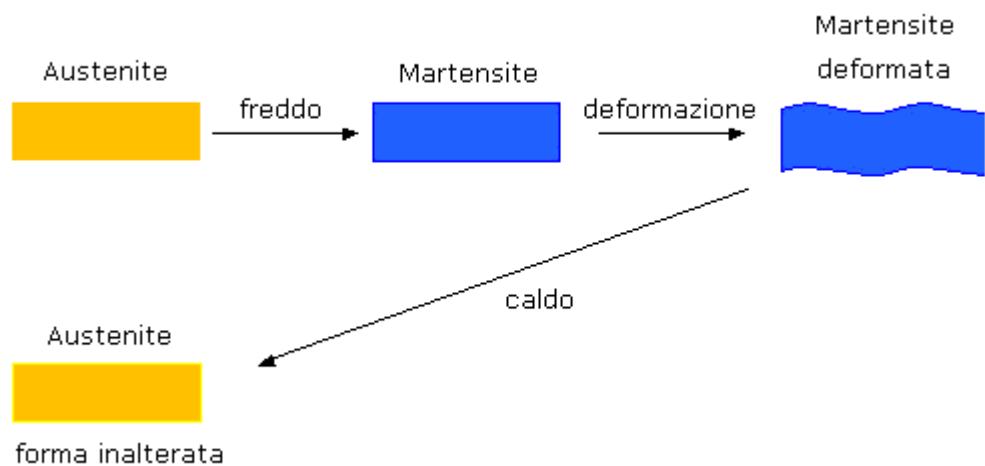


Fig. 5. Effetto memoria di forma ad una via.

Alcuni materiali presentano inoltre effetti di memoria di forma come conseguenza di raffreddamenti e questi si dice che hanno "memoria di forma a due vie", ma per questi materiali la deformazione recuperabile è limitata a circa il 3%. SMAs sono impiegate per utilizzi particolari perché alle basse temperature, hanno un comportamento gommoso e possono essere deformate con una debole forza; alle alte temperature, si comportano come metalli normali ed ogni deformazione indotta non è recuperabile.

SMAs inoltre presentano superelasticità (o pseudoelasticità). In questo caso, una piccola forza induce una deformazione considerevole, ma quando tale forza viene meno, il materiale

	recupera automaticamente la sua forma originale senza che ci sia bisogno di riscaldarlo. Prodotti contenenti SMAs sono in circolazione da parecchi anni, ma i consumatori sono spesso ignari della loro presenza poiché essi sono spesso racchiusi in meccanismi che controllano le funzioni del prodotto. Una delle numerose applicazioni più evidenti è come telaio indistruttibile di occhiali; questo può essere tirato e torto in modo evidente, per poi riprendere la forma originale.
Effetti della memoria di forma:	Si dice che le SMAs presentano una trasformazione martensitica cristallograficamente reversibile. Alle alte temperature, la SMA esiste come una fase austenitica con un'ordine a lungo raggio. Al raffreddamento sotto la temperatura di trasformazione, l'austenite si trasforma in una martensite termoelastica, la quale strutturalmente si può presentare in diverse forme, tipicamente placchette aciculari a forma piatta. Poiché la struttura martensitica si autodispone nell'austenite, la deformazione durante la trasformazione martensitica è nulla. La martensite si dispone nell'austenite attraverso un meccanismo simile al <i>twinning</i>, il quale trasforma le diverse forme nella forma che permette di accomodare la massima elongazione nella direzione della forza applicata. Le interfacce tra placchette nella fase martensitica scivolano molto rapidamente ed il materiale è deformabile anche con bassi sforzi applicati. La fase austenitica ha solo una possibile orientazione, quindi quando vengono riscaldate, tutte le possibili strutture deformate della fase martensitica devono ritornare a questa unica orientazione della fase austenitica (memoria) ed il materiale riprende la sua forma originale. La temperatura di trasformazione è funzione del tipo di lega, composizione ed inoltre del trattamento termomeccanico applicato. Si possono avere leghe con temperature di transizione inferiori a -100°C e superiori a 150°C. Le trasformazioni per riscaldamento e raffreddamento non coincidono e la trasformazione presenta un'isteresi. L'ampiezza dell'isteresi varia anch'essa con il tipo di lega ed è tipicamente nel <i>range</i> di 10°-50°C. Una tipica trasformazione è illustrata nella fig. 6 successiva, dove una proprietà fisica della lega, per esempio la resistenza elettrica, è descritta in funzione della trasformazione di fase. — 100% martensite — 100% austenite Fig. 6. Trasformazione martensitica.
Superlasticità:	Le SMAs presentano un effetto di superelasticità, la quale è considerata un tipo meccanico di memoria di forma. Questo effetto è osservato quando le leghe vengono poste in trazione sopra la loro temperatura di transizione. Le proprietà meccaniche delle SMAs variano lungo il <i>range</i> di temperatura della loro trasformazione. A basse temperature, il materiale esiste come martensite e può essere deformato da forze

	applicate relativamente piccole; esibisce così un effetto memoria di forma al riscaldamento. Alle alte temperature, il materiale esiste come austenite, la quale non è facilmente deformabile, ed al riscaldamento, non avviene alcun effetto di memoria di forma, in quanto non c'è variazione di fase. Tuttavia, se il materiale viene testato appena al di sotto della sua temperatura di transizione in austenite, lo sforzo applicato trasforma l'austenite in martensite ed il materiale mostra una deformazione crescente all'applicazione di uno sforzo costante, per esempio una considerevole deformazione avviene a seguito di un relativamente piccolo carico applicato. Quando il carico viene rimosso, la martensite ritorna austenite ed il materiale riacquista la sua forma originale. Questo effetto, che rende la lega (apparentemente) estremamente elastica, è conosciuto come "superelasticità" o pseudoelasticità.
Sistemi di leghe a memoria di forma:	L'effetto di memoria di forma è stato osservato per la prima volta nel 1951 nella lega Au-Cd e sino da allora è stato osservato in numerosi altri sistemi di leghe. Tuttavia, solo le leghe Ni-Ti ed alcune leghe a base di rame sono state sfruttate commercialmente.
Leghe ri rame a memoria di forma:	LEGHE Cu-Zn-Al Le leghe rame-zinco-alluminio sono state le prime leghe a base di rame a presentare effetto di memoria di forma. Queste leghe contengono tipicamente il 15 □ 30 wt% Zn ed il 3 □ 7 wt% Al. La temperatura di transizione utile per queste leghe varia da -100°C a +100°C; la temperatura di trasformazione è una funzione sia della composizione della lega che del trattamento termomeccanico applicato durante la produzione. Il maggior vantaggio delle leghe Cu-Zn-Al è che esse sono costituite da metalli relativamente economici e prodotti attraverso processi metallurgici convenzionali: sono, per questo, le leghe commerciali a memoria di forma più economiche. Per contro, le loro proprietà di memoria sono modeste, con un recupero massimo della deformazione di circa il 5%. Le leghe ternarie hanno grani di dimensioni molto grandi che le rendono fragili, ma aggiungendo una modesta quantità (<1%) di elemento affinatore di grano, come Ti o Zr, si limita la grandezza dei grani ed i conseguenti problemi di fragilità. I maggiori svantaggi di questi sistemi di leghe sono che la fase martensite è stabilizzata per invecchiamento a temperatura ambiente causando un incremento nella temperatura di trasformazione, e la struttura della lega decompone quando esposta a temperature sopra i 100°C. Questi svantaggi superano i vantaggi di costo delle leghe Cu-Zn-Al e quindi queste vengono raramente usate al giorno d'oggi. LEGHE Cu-Al La lega binaria ha una temperatura di trasformazione che è troppo alta per le applicazioni pratiche ed un terzo elemento è generalmente aggiunto per produrre una lega utilizzabile. Leghe rame-alluminio-nickel (Cu-Al-Ni) hanno avuto un notevole sviluppo e vengono preferite alle leghe Cu-Zn-Al. Tipicamente queste leghe contengono l'11 □ 14,5% Al ed il 3 □ 5% Ni ed hanno temperature di trasformazione nell'intervallo di 80° □ 200°C a seconda della loro composizione, la temperatura di trasformazione è particolarmente sensibile al contenuto di alluminio. Tale lega è ancora fatta con elementi relativamente poco costosi, ma la sua lavorabilità è molto difficile poiché può essere solo lavorata a caldo ed il trattamento termico finale deve essere controllato accuratamente per produrre una lega che abbia la temperatura di trasformazione desiderata. Queste difficoltà di processo rendono questa lega molto costosa rispetto alla lega Cu-Zn-Al, ma meno costosa di quella Ni-Ti. La lega ternaria Cu₁₃Al₁₄Ni è una delle leghe più

	utilizzate commercialmente. Alcuni miglioramenti nelle proprietà meccaniche possono essere ottenuti riducendo il contenuto di alluminio sotto il 12%, aggiungendo il 2% di manganese per ridurre la temperatura di trasformazione e l'1% di titanio quale affinatore di grano; queste aggiunte però possono avere effetti sulla stabilità strutturale della lega. I maggiori vantaggi della lega Cu-Al-Ni sono: il suo largo campo utile di temperature di trasformazione, la sua stabilità alle elevate temperature che rendono tale lega l'unica utilizzabile per applicazioni sopra i 100°C, la sua piccola isteresi ed il suo relativamente basso costo. Recentemente in commercio viene utilizzata una nuova lega, dove il nickel è sostituito da berillio. La lega Cu12Al con aggiunta di poco meno del 0,5% di berillio estende il campo della temperatura di trasformazione da 100°C a -200°C. Questa lega Cu-Al-Be esplica un'eccellente superelasticità.
Applicazioni delle leghe a memoria di Forma superlasticità:	Esistono migliaia di brevetti per apparecchi che utilizzano le proprietà delle SMAs. Solo un piccola percentuale di queste invenzioni sono diventate successivamente prodotti, ma i campi di applicazione sono molto molteplici e diversi tra loro: dai prodotti di uso quotidiano, agli impianti biomedici, fino ad applicazioni spaziali. In questa sede verranno citate solo alcune di queste applicazioni. La prima applicazione industriale risale al 1969, quando una lega SMA è stata utilizzata per unire tubazioni idrauliche nel velivolo F-14. Questa applicazione è stata poi estesa all'unione di altri tipi di tubi, a volte usando una camicia stretta attorno ai tubi per ottenerne l'unione. Gli accoppiamenti cilindrici vengono raffreddati a temperature criogeniche producendo la fase martensitica, di modo che, essi possano essere facilmente espansi attorno ai tubi. Riscaldando sopra la temperatura di trasformazione, l'accoppiamento tende a contrarsi alla sua dimensione originale ma è ostacolato dai tubi che esso racchiude. Le tensioni che nascono da questo impedimento sono sufficienti per creare un'unione che può essere superiore ad una saldatura. Un ovvio campo di applicazione è quello dei dispositivi di protezione antincendio. I dispositivi a spruzzo possono essere attivati da un cambio di forma indotto per riscaldamento di una lega SMA da parte del fuoco. Similmente, le valvole di sicurezza incorporano un'attuatore di lega SMA che interrompe il flusso del gas infiammabile o tossico, se si è in presenza di fuoco. Un'applicazione nelle costruzioni utilizza un'attuatore SMA per proteggere tubi, cavi ed i soffitti dall'effetto del fuoco. SMAs possono essere utilizzate come una striscia bimetallica migliorata per regolare la temperatura dell'acqua. Un dispositivo anti-ustione introduce acqua fredda se la temperatura dell'acqua diventa troppo alta. Questa applicazione utilizza una molla compressa in SMA e una molla in acciaio di azione contraria. Alle alte temperature, la molla SMA si espande e apre una valvola che permette all'acqua fredda di entrare in una camera di miscelazione. Quando la temperatura diminuisce, la lega SMA ritorna a martensite e la molla di acciaio ristabilisce la forma originale della molla SMA, la quale simultaneamente chiude la valvola. Una friggitrice domestica usa una lama SMA per evitare che il cesto si abbassi nell'olio prima che esso raggiunga la temperatura di 170°C. Questa applicazione ad alta temperatura favorisce l'uso di una lega Cu-Al-Ni: preferita anche per interruttori per prevenire correnti elettriche di sovraccarico che riscalderebbero fili e cavi a temperature superiori a 140°C. SMAs superelastiche vengono utilizzate nella montatura di occhiali indistruttibili. Fili superelastici formano molle eccellenti. Molte applicazioni biomediche usano fili e tubi

	superelastici. Queste includono cateteri e fili guida per cateteri direzionabili. Fili arcuati superelastici vengono impiegati per correzioni dentali, producendo rapidi movimenti dei denti. Un'applicazione futura per le SMAs, che diventerà estremamente importante, è quella dei "materiali intelligenti". Molte strutture sono progettate con rinforzi e sistemi di sostegno per ottenere la miglior condizione. Queste strutture quindi usano molti più materiali ed energia di quelli richiesti per utilizzi normali. I materiali intelligenti "reagiscono" all'ambiente modificando il loro comportamento, sotto estreme condizioni, di modo che agiscano da rinforzo e sostegno. I materiali intelligenti sono strutture composite con implementazione di sensori ed attuatori. Così le infrastrutture solide di un ponte possono contenere sensori che controllano l'insorgere di cricche o fenomeni di corrosione ed attuatori SMA implementati reagiscono, opponendosi agli sforzi indotti da queste degradazioni. Similmente, il corpo di un velivolo può contenere una lamina sottile di sensori che monitorizzano gli impercettibili cambiamenti fisici e chimici associati alla fatica e attuare una lamina di SMA per compensare questi cambiamenti e prevenire le rotture.
Elementi leganti insolubili :	Piombo, tellurio e selenio sono aggiunti al rame e le loro leghe migliorano la lavorabilità a macchine utensili. Questi elementi, assieme al bismuto, rendono quasi impossibili la formatura a caldo e la laminazione a caldo, e limitano pesantemente il range di impiego delle lavorazioni a caldo. Un'eccezione è data dai bronzi con alto contenuto di Zn, i quali diventano totalmente fase beta alle alte temperature. La fase beta può disciogliere il piombo: di modo che si evita una fase liquida a bordo grano alle alte temperature, raggiunte con forgiatura o estrusione. C37700, è un esempio di bronzo ad alto contenuto di zinco con aggiunta di piombo che ha una buona forgiabilità a caldo.
Disossidazione:	Il rame contenente ossigeno (<i>tough pitch copper</i>), contiene ossigeno sotto forma di ossidulo di Cu (Cu_2O). L'ossidulo si forma nel materiale fuso prima della colata, a causa dei particolari trattamenti a cui viene sottoposto durante la raffinazione il bagno metallico. Nel rame contenente ossigeno, il tenore di ossigeno (sotto forma di Cu_2O) è solitamente dello 0,02 □ 0,05%. Durante la solidificazione l'ossidulo forma col rame un eutettico Cu-Cu_2O che si dispone ai bordi dei grani. Nella lavorazione plastica a caldo, questa rete di eutettico viene frantumata e dispersa nella massa del metallo sotto forma di particelle finissime isolate. La presenza dell'ossidulo ha un ruolo molto importante nella lavorabilità a caldo del rame. Infatti, alla temperatura di lavorazione plastica a caldo (es.: vergella), alcune impurezze, come piombo e bismuto, si disciolgono nella matrice infragilendola. Poiché l'ossigeno ha per questi due elementi un'affinità molto maggiore di quella per il rame, l'ossigeno contenuto nel Cu_2O si combina con il bismuto o il piombo e forma con essi degli ossidi insolubili, che non pregiudicano la plasticità del materiale. Pertanto, la presenza di Cu_2O consente di facilitare, pur in presenza di determinate impurezze, la lavorabilità a caldo. Tuttavia va messo in evidenza che il tenore di ossigeno non deve superare lo 0,06% per evitare difficoltà durante le eventuali successive lavorazioni plastiche a freddo (es.: trafilatura). Dal punto di vista della conducibilità elettrica, l'ossigeno ha un effetto benefico, in quanto si combina con buona parte delle impurezze presenti nel metallo che altrimenti rimarrebbero in soluzione solida nella matrice. In questo modo si ha ancora la formazione di ossidi insolubili che praticamente non pregiudicano la conducibilità elettrica.

	Infine occorre ricordare che la presenza di ossidulo di rame comporta rischi di rottura locali nella matrice, se il materiale viene saldato in presenza di idrogeno a temperature superiori a circa 400°C. Questo inconveniente si verifica perché gli atomi interstiziali di idrogeno diffondono rapidamente, a queste temperature, attraverso il reticolo del rame e reagiscono con il Cu₂O; si forma così del vapore acqueo a pressione elevata, il quale determina numerose rotture locali nella matrice del metallo. Pertanto il rame contenente ossigeno non va mai adoperato quando i trattamenti termici previsti dal ciclo di lavorazione, i metodi di giunzione o le condizioni di esercizio implicano riscaldamenti prolungati in atmosfere contenenti idrogeno. Al, B, Be, C, Li, Mg, Na, P e Si sono utilizzati per disossidare il rame. Ca, Mn e Zn possono anch'essi, talvolta, essere considerati ossidanti, nonostante normalmente vengano impiegati diversamente. Il primo requisito per un disossidante è quello di avere un'affinità con l'ossigeno nel rame fuso. Probabilmente, il secondo più importante requisito è quello del basso costo, relativamente al rame e ad altri additivi. Per cui, sebbene lo zinco funziona come un rinforzante per soluzione solida, esso viene, a volte, aggiunto in piccole quantità per agire da depositante, poiché esso ha alta affinità con l'ossigeno e un basso costo relativo. Nel bronzo di piombo, il fosforo è considerato tradizionalmente il depositante, tanto che tale lega prende il nome di bronzo fosforico. Il silicio, a differenza del fosforo, è depositante del rame di cromo, perché il fosforo riduce pesantemente la conducibilità elettrica.
Rilassamento degli sforzi del rame e nelle sue leghe:	Il rame e le sue leghe sono largamente utilizzate in applicazioni strutturali dove esse sono soggette a temperature moderate. Ne sono esempio: radiatori di automobili, pannelli solari, cavi per comunicazioni e connettori elettrici. A temperature relativamente basse, le leghe di rame possono essere soggette a rilassamento degli sforzi (calo dello sforzo, risultante dalla trasformazione della sollecitazione elastica in sollecitazione plastica in un solido sotto sforzo), che portano a rotture in servizio. Per le leghe di rame commerciali la resistenza a rilassamento degli sforzi varia considerevolmente, a causa delle ampie variazioni nella loro composizione e nei processi di lavorazione. Naturalmente, la scelta di una lega, per una determinata applicazione, viene fatta non solo sulla caratteristica di rilassamento degli sforzi (diagrammi sforzo-tempo-temperatura) ma soprattutto da fattori quali: costo, proprietà meccaniche e fisiche, temperature di esercizio, ambiente di utilizzo e formabilità. Per molte applicazioni, la conducibilità elettrica è considerata per prima.
Caratteristiche del rilassamento degli sforzi:	Il rame puro C11000 è probabilmente il rame più economico, con una elevata conducibilità elettrica, ed è largamente usato per la sua facile lavorazione. Il comportamento per il rame C11000 è molto modesto, come illustrato in Fig. 5, dove lo sforzo rilassato è riportato in funzione del tempo e della temperatura per un filo di 0,25 mm inizialmente tensionato a 89 MPa.

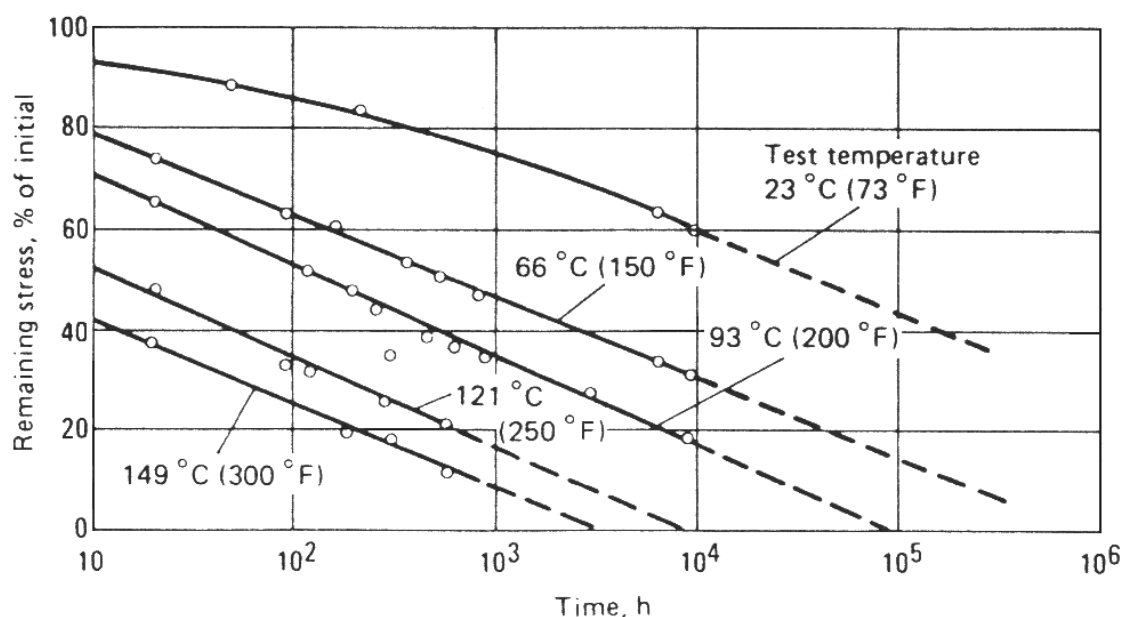


Fig. 5. Stress residuo in funzione del tempo e della temperatura, per la lega C11000.

Il paragone tra i valori di sforzo, in un determinato istante, per differenti temperature illustra la leggera dipendenza del rilassamento degli sforzi dalla temperatura per questo rame. A 93°C, per esempio, non rimangono tensioni dopo 10⁵ h (11,4 anni), mentre il 40% della tensione iniziale rimane anche dopo 40 anni a temperatura ambiente. Per C11000 e per molti altri metalli di rame, il rilassamento degli sforzi in un dato periodo di tempo è inversamente proporzionale alla temperatura assoluta.

Miglioramenti nel comportamento di rilassamento degli sforzi si possono ottenere aggiungendo elementi in lega che portano ad indurimento per precipitazione, dispersione o soluzione solida.

In generale, la resistenza al rilassamento degli sforzi, misurato come percentuale di sforzo residuo, cresce con l'indurimento per soluzione, a scapito della conducibilità elettrica.

La lega C17200 è un tipico esempio di lega di rame rinforzata per precipitazione. I diagrammi di rilassamento degli sforzi per questa lega sono visibili in Fig. 6 per due livelli di deformazione a freddo.

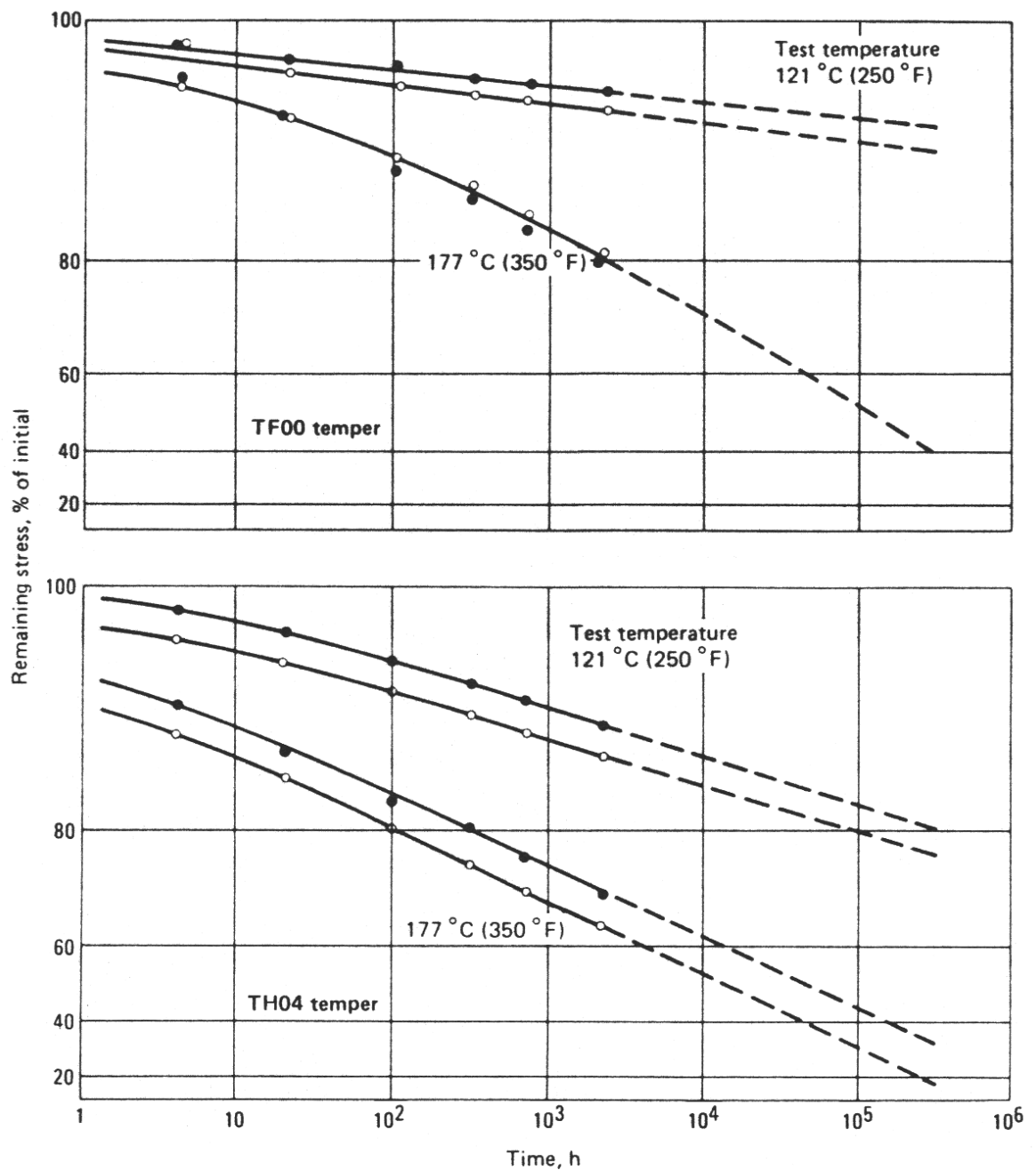


Fig. 6. Rilassamento degli sforzi nella lega C17200 a due livelli di sforzo iniziale. I pallini vuoti si riferiscono al stress iniziale dell'80%, mentre quelli pieni ad uno stress iniziale del 50%.

La lega C17200 ha un'adeguata resistenza al rilassamento degli sforzi per temperature superiori a 120°C, a condizione che lo sforzo iniziale sia sotto il limite elastico.

Una tipica applicazione della diminuzione di conducibilità elettrica, in leghe di rame altamente rinforzate è quella dei connettori a pressione, a taglio rapido, mostrati in Fig. 7. La temperatura tipica di utilizzo è superiore a 85°C e generalmente è desiderabile una conducibilità superiore al 98% IACS a 20°C. Dopo che è stata fatta la connessione, questa è mantenuta da sforzi elastici tra filo e terminale: ma se il filo subisce un rilassamento degli sforzi, il contatto elettrico tra filo e terminale viene perso.

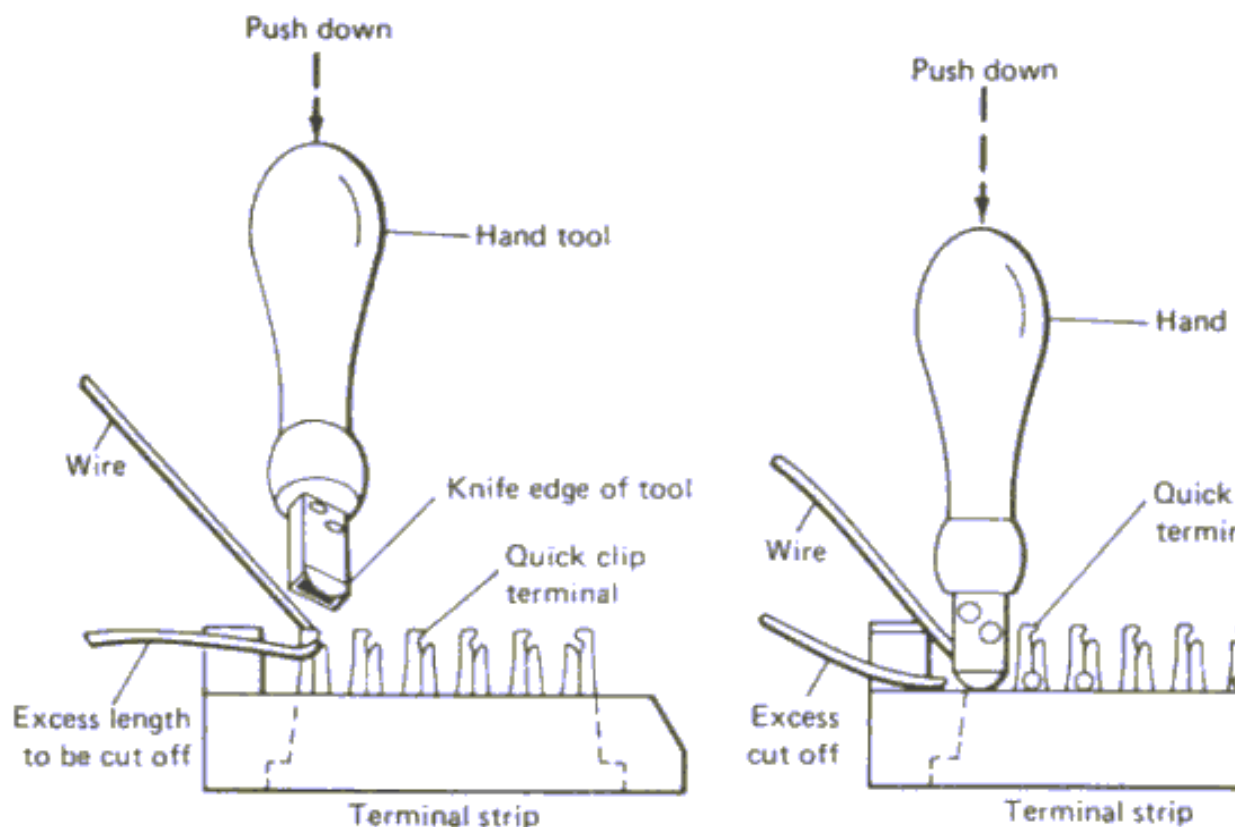
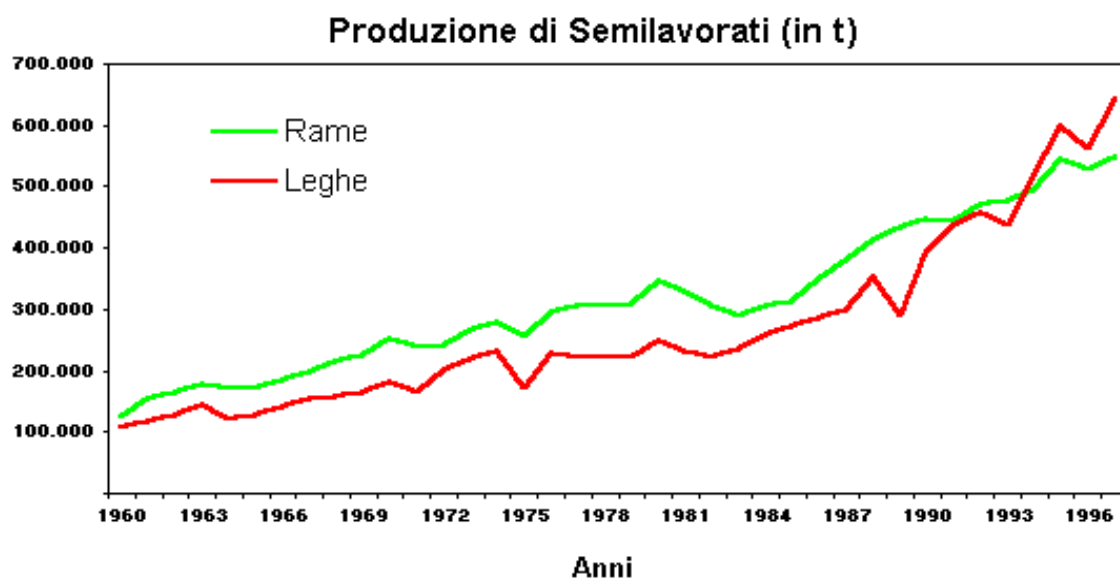


Fig. 7. Tipica connessione a pressione, a taglio rapido.

I materiali utilizzati per connettori di questo tipo, dipendenti da temperature e sforzi di utilizzo, includono alcuni bronzi fosforosi, argenti al nickel e leghe di rame al berillio.

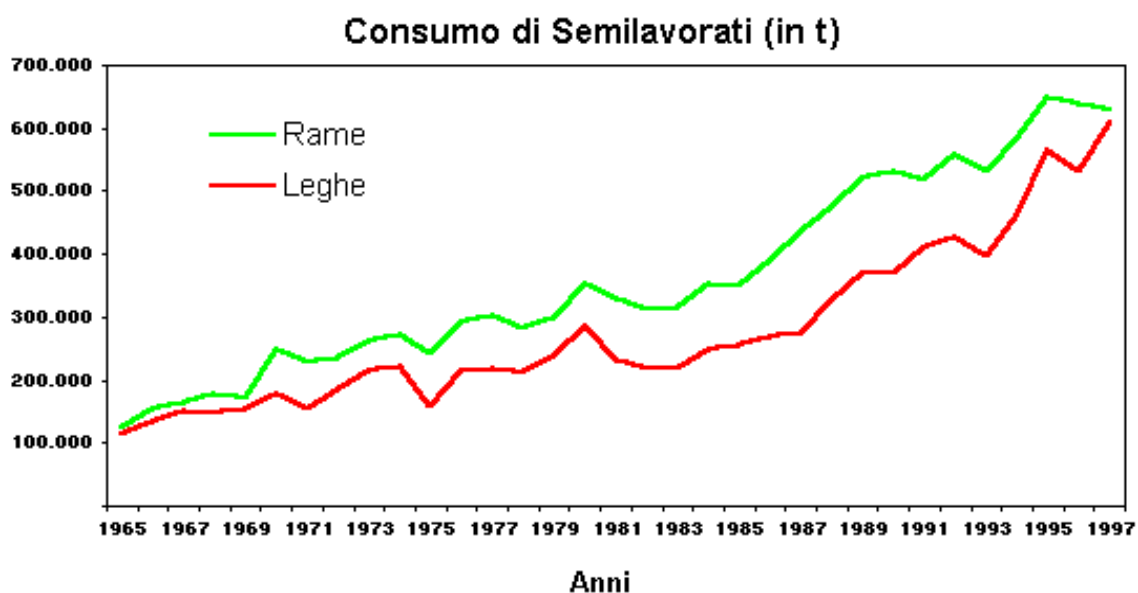
Prozione e consumo di semilavorati di rame e sue leghe in Italia:

L'andamento storico della produzione di semilavorati in Italia è quello seguente, dove si differenzia la produzione di rame dalle sue leghe; si nota dal grafico come, tra il 1993 ed il 1994 la produzione delle leghe di rame abbia superato la produzione del rame puro.

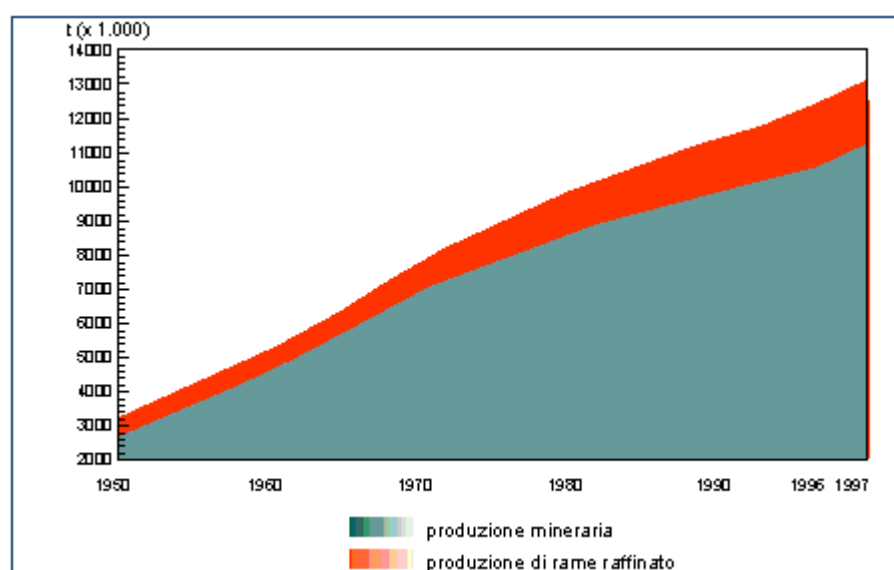


Mentre l'andamento storico del consumo di semilavorati in Italia è quello seguente, dove

l'andamento del consumo di leghe del rame rimane inferiore al consumo del rame puro, con una convergenza dal 1996.

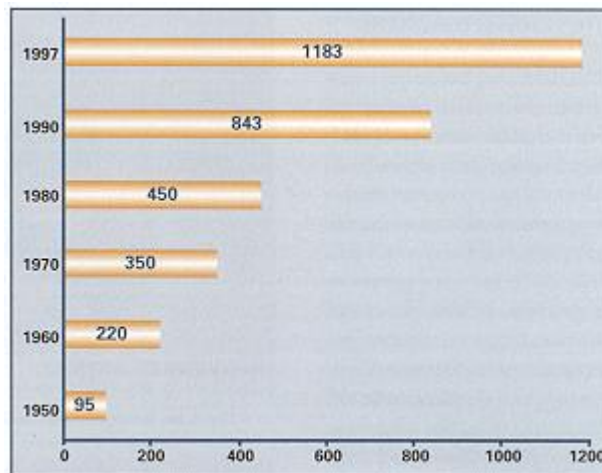


A livello mondiale, la produzione di rame è nettamente in crescita.



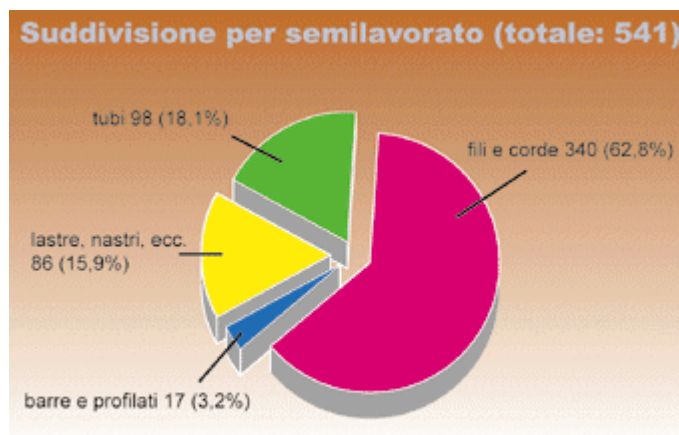
Produzione mondiale di rame (in .000 t)

La produzione di semilavorati di rame e delle sue leghe in Italia (vedi immagine seguente), ha subito un continuo incremento: di più di 100.000 t ogni 10 anni, tra il 1950 ed il 1980, mentre ha quasi raddoppiato la produzione dal 1980 al 1990, per poi proseguire con un'incremento di circa 50.000 t/anno fino al 1997 (dato più recente).



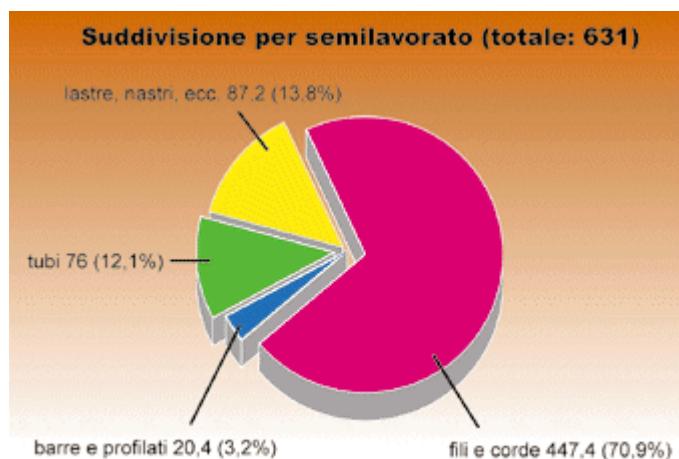
Produzione di semilavorati di rame e delle sue leghe in Italia (in .000 t)

In particolare i valori del 1997 della produzione di semilavorati di rame mette in evidenza la maggior produzione di rame in fili e corde, rispetto a tubi, lastre, nastri, barre e profilati.



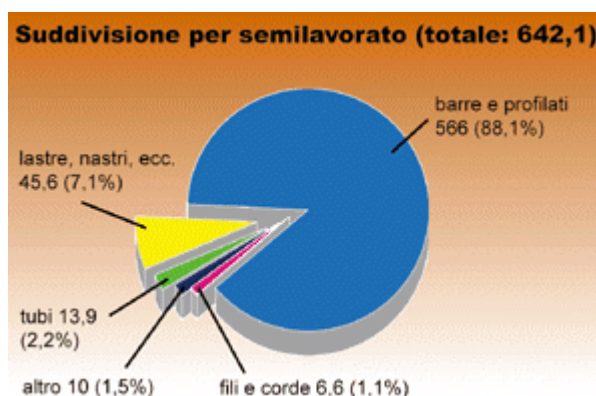
Produzione di semilavorati di rame (in .000 t) nel 1997

I valori del 1997 del consumo di semilavorati di rame mette in evidenza il maggior utilizzo del rame in fili e corde, rispetto all'utilizzo in lastre, nastri, tubi, barre e profilati; mette altresì in evidenza come l'Italia, nel 1997, abbia importato (o attinto da scorte degli anni precedenti) 90.000 t di rame soprattutto in fili e corde. Autosufficiente risulta essere la produzione di semilavorati in forma di tubo.



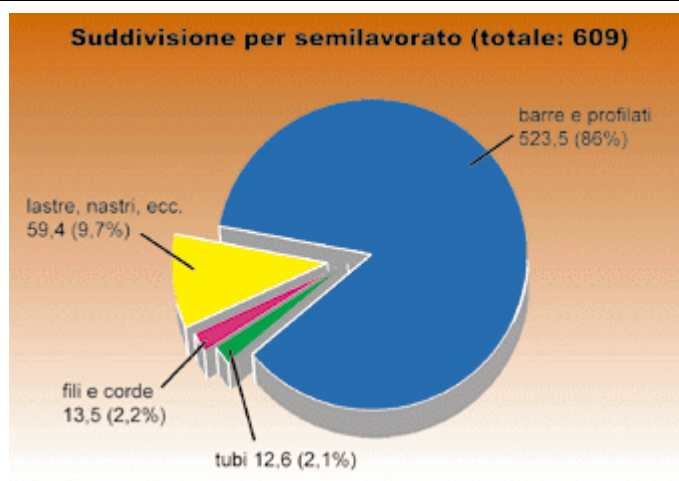
Consumo di semilavorati di rame (in .000 t) nel 1997

I valori del 1997 della produzione di semilavorati di leghe di rame mette in evidenza la maggior produzione semilavorati in lega di rame in barre e profilati, rispetto a lastre, nastri, tubi, fili e corde.



Produzione di semilavorati di leghe di rame (in .000 t) nel 1997

I valori del 1997 del consumo di semilavorati in lega di rame mette in evidenza il maggior utilizzo del rame in barre e profilati, rispetto all'utilizzo in lastre, nastri, fili e corde, tubi; evidenza inoltre come l'Italia, nel 1997, abbia prodotto 43.000 t di barre e profilati in lega rame in eccesso (probabilmente esportati). In complessivo la produzione di semilavorati in lega di rame nel 1997, risulta essere maggiore del consumo.



Consumo di semilavorati di leghe di rame (in .000 t) nel 1997

Quotazioni del rame:

La formazione del prezzo del rame e' determinata, come per tutte le materie prime, dall'incontro della domanda e dell'offerta, inoltre essendo il rame una materia prima di elevata importanza, la quotazione avviene giornalmente sulle principali piazze finanziarie mondiali.

La quotazione del rame e alcune sue leghe è giornaliera.

PRODOTTO:	[Lire/kg]	[Euro/kg]
RAME PER SEMILAVORATI	3654	1.887
NASTRO RAME PER LATTONERIA (BASE 0,6 MM)	4930	2.546
OTTONE 58	2810	1.451
OTTONE 63	3315	1.712
OTTONE 67	3351	1.731
BRONZO SN 6	4331	2.237
ALPACCA 64/18	5386	2.782

Quotazione del: 20/7/1999 4:21:24 PM

Bibliografia:

- Brady G. S., Clauser H. R., *Manuale dei materiali*, Tecniche Nuove, 1992.
- Loconsono V., Nobili L., *Manuale degli Ottoni*, Consedit, Milano, 1995.

- AIMAT, *Manuale dei materiali per l'ingegneria*, McGraw-Hill.
- Newton J., Wilson C. L., *Metallurgy of copper*, Chapman and Hall Ltd.
- American Society for Metals (ASM), *Source book on copper and copper alloys*, ASM Engineering Bookshelf, 1979.
- *The metals red book – Nonferrous metals*, vol.2, CASTI Publishing, 1995.
- Immagini a colori tratte dalla enciclopedia multimediale *Encarta 99*, Microsoft, 1998.
- Informazioni tratte da siti Internet: buona parte del capitolo 6 è la traduzione dall'inglese dell'articolo *Shape Memory and Superelastic Alloys* di Clive Barnes, rintracciabile nel sito www.copper.org; il capitolo 10 è ricavato dal sito www.iir.it.

Siti internet dedicati al rame:



Procobre Mexico,



Centre d'Information du Cuivre Laitons et Alliages



Canadian Copper and Brass Development Association



Copper Development Centre - Australia Ltd



Copper Benelux



Copper Development Centre - South East Asia



Scandinavian Copper Development Association



Copper Development Association, UK



Hellenic Copper Development Institute



Instituto Brasileiro do Cobre



Procobre Peru



Chilean Site for Copper



[Istituto Italiano Del Rame](#)  



[Deutsches Kupfer - Institut e.V.](#) 



Copper Development Association
260 Madison Avenue, New York, NY 10016
Tel: 212/251-7200 Fax: 212/251-7234

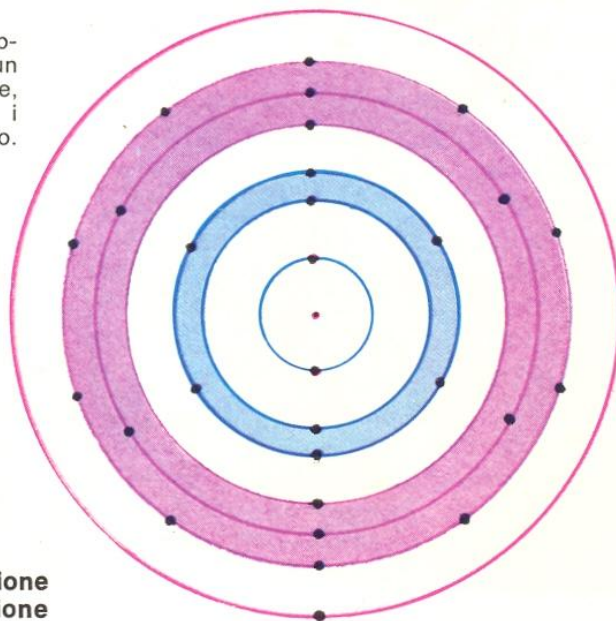
[Copper Development Association, USA](#) 

[The Chinese Copper Page](#) necessita browser che supporti i caratteri in cinese

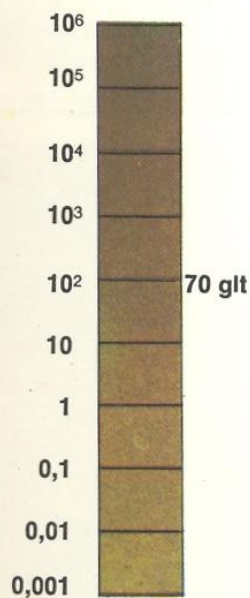
•

RAME - In queste tabelle possiamo vedere rappresentate la configurazione elettronica di un atomo di rame, i punti di fusione e di ebollizione, la densità, l'abbondanza nella litosfera e tutti i vari isotopi stabili e instabili di questo elemento.

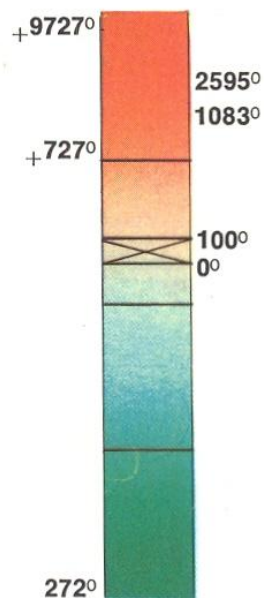
Ø 2,551 Å



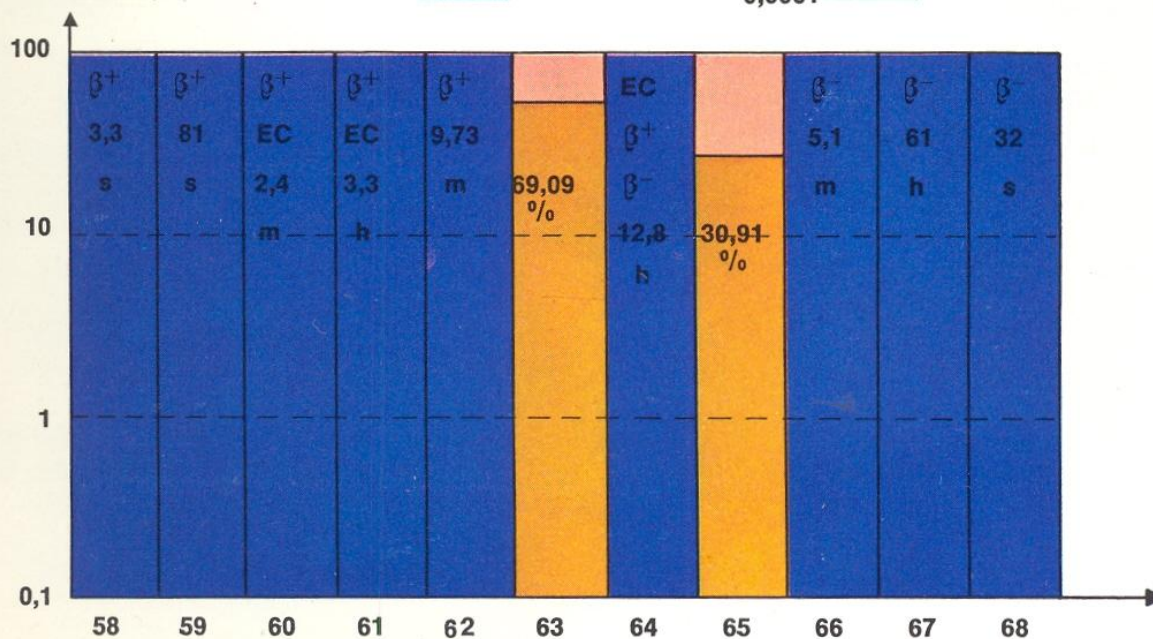
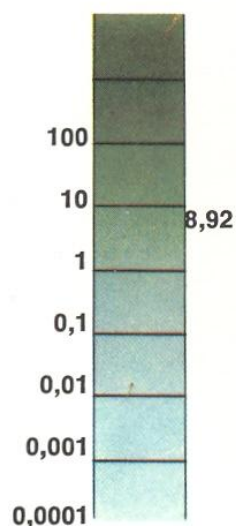
**Abbondanza
in litosfera**



**Punti di fusione
e di ebollizione**



Densità a 0°

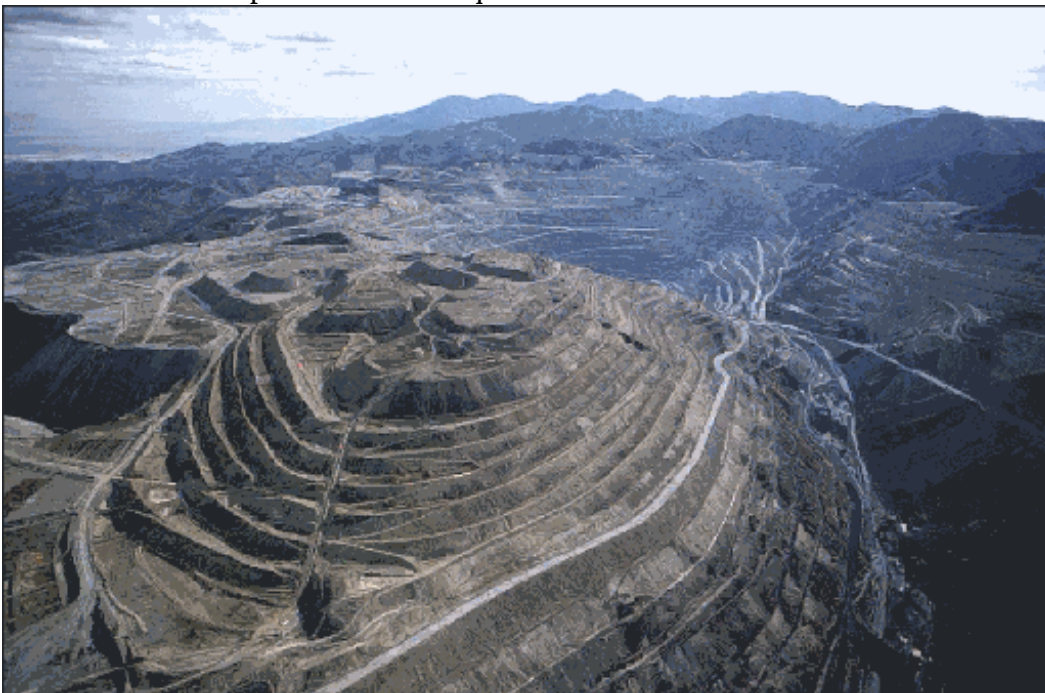




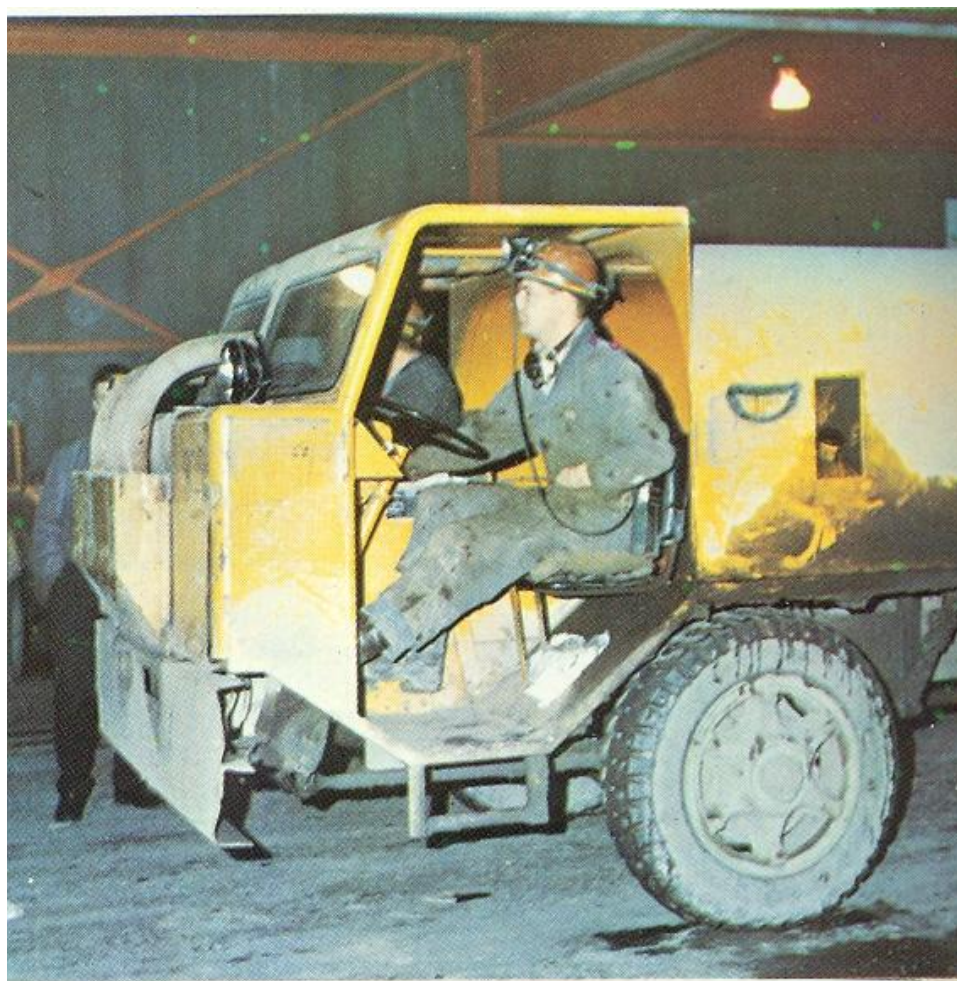
IL PIU GRANDE GIACIMENTO DEL MONDO - A Bingham Canyon nell'Utah si trova il più grande giacimento del mondo di minerali di rame e precisamente di calcopirite (CuFeS_2 , 80%), calcocite (Cu_2S , 9%), covellite (CuS , 7%) e bornite (Cu_5FeS_4 , 4%).

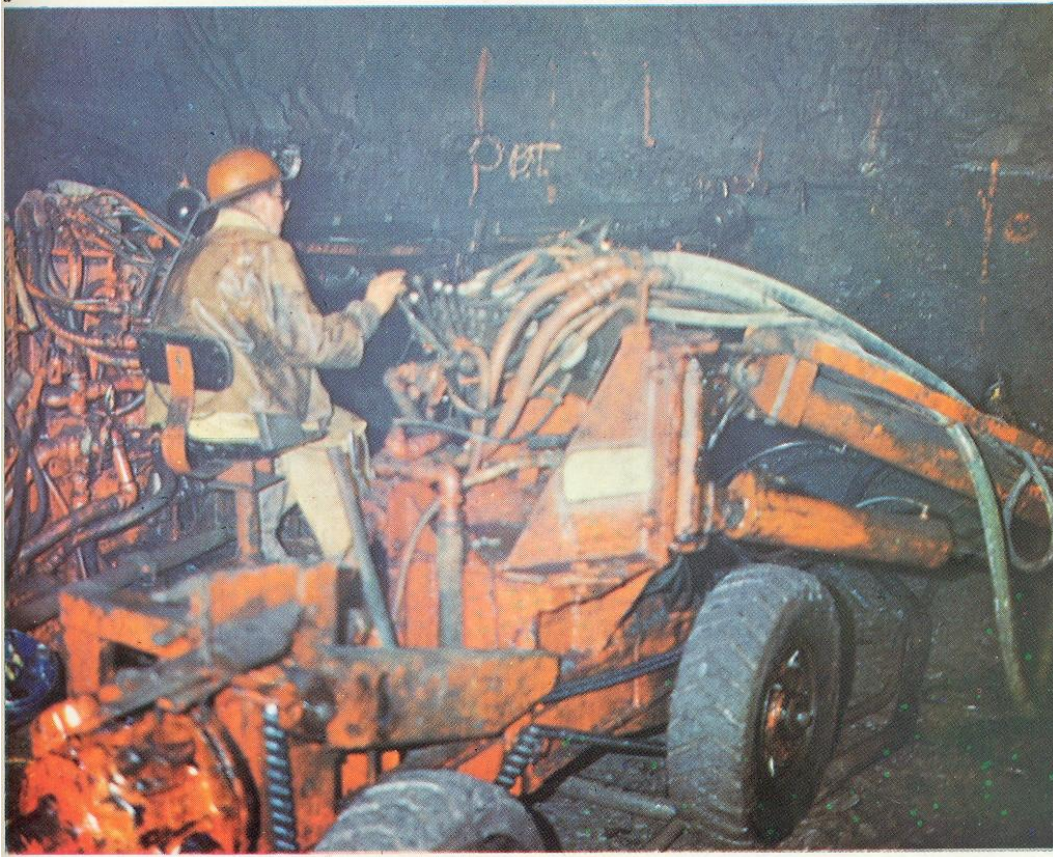
Una caratteristica interessante di questo giacimento è quella di poter essere coltivato a cielo aperto, cioè il minerale è direttamente scavato dal terreno senza costruire pozzi e gallerie.

Le gradinate dalle quali è segnato servono per far correre una ferrovia che trasporta il minerale dal punto di scavo a quello di raccolta



Miniera a cielo aperto





NELLE MINIERE SOTTERRANEE - Dalle miniere coltivate in galleria l'estrazione di qualunque minerale è più costosa che a cielo aperto, tuttavia può essere ugualmente conveniente per diversi motivi, per esempio perché in profondità il minerale è più ricco, oppure perché contiene delle impurezze preziose.

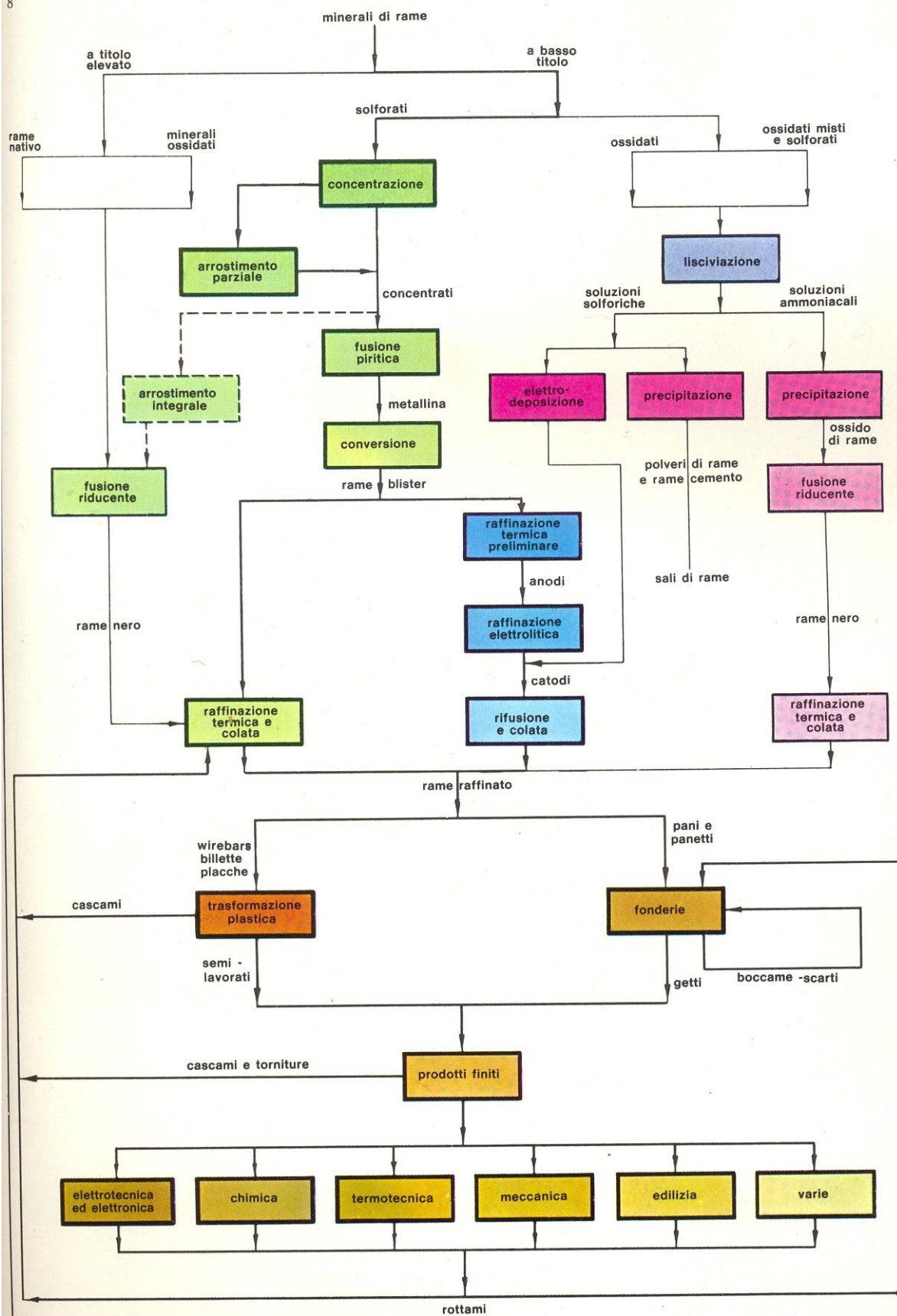
Per esempio in questa miniera di White Pine nel Michigan (USA) tra i vari minerali di rame si trova anche metallo allo stato nativo con tracce di argento e a volte arsenico.

L'apparecchiatura, visibile in a, serve per la perforazione della roccia e la posa entro i fori delle mine che la renderanno friabile ed estraibile.

La meccanizzazione in miniera è essenziale per l'economia dell'estrazione.

Nelle miniere sotterranee non è possibile fare uso di treni, il mezzo più economico di trasporto del minerale su terra; tuttavia è possibile utilizzare veicoli speciali dotati di motore Diesel, come quello visibile nella fotografia b, che possono essere caricati con molta facilità con i mezzi disponibili sottoterra.

Per caricare il minerale di rame si utilizza spesso il nastro trasportatore (c), che costituisce un mezzo assai flessibile per il caricamento in quanto può facilmente essere abbassato e alzato per adattarsi all'altezza di ogni carrello di trasporto



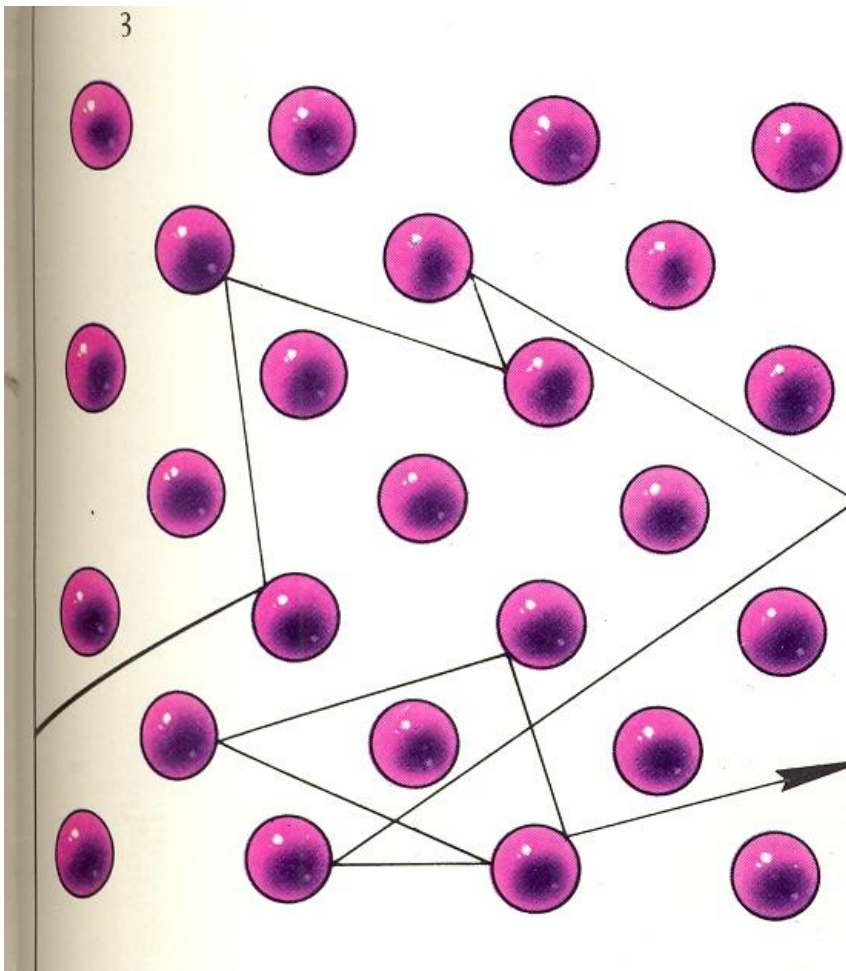
I PROCESSI ESTRATTIVI

Questa illustrazione riassume tutti i processi di estrazione e utilizzazione del rame.

I processi estrattivi, che partono dalla macinazione dei materiali estratti dalle miniere, seguono vie differenti secondo la specie chimica dei minerali di rame.

Vediamo che i minerali ricchi, composti di elemento allo stato nativo o di minerali ossidati, vengono assoggettati solamente a operazioni di riduzione; i solforati vengono assoggettati a processi termici; i minerali ossidati, ossidati misti e solforati a basso titolo vengono assoggettati a processi di dissoluzione.

I processi più importanti sono, come si vede, quelli dei minerali solforati: essi seguono la via della concentrazione, di un primo trattamento termico che estrae il metallo e, successivamente, di processi di affinazione termici ed elettrolitici che producono rame sotto le comuni denominazioni commerciali, quelle che si usano per classificare il metallo per i vari impieghi e nelle trattative di borsa.



LA CONDUTTIVITÀ DEL RAME - Il calcolo di previsione della conduttività di un metallo si imposta considerando che gli elettroni dalla nube che permea la spugna ionica non sono perfettamente liberi di muoversi attraverso essa, ma hanno un certo cammino libero medio; a ogni urto essi cedono una parte dell'energia che hanno accumulato nel correre liberi lungo questo cammino libero medio.

Da qui nasce la resistività; quindi il valore di questa è legato a quello del cammino libero medio, ma il suo calcolo per un metallo non si può condurre come nel caso classico, ma si deve impiegare

la meccanica quantistica. Il modello di struttura cristallina in figura riguarda il rame.

La dimensione della cella cristallina del rame è di 3,6 Å circa; il raggio dello ione rameico (quello che ha ceduto l'elettrone alla struttura metallica) è di 0,96 Å.

Ne segue che, se si potesse valutare il libero cammino medio degli elettroni classicamente con la teoria cinetica elementare, si troverebbe un valore prossimo a 4 Å.

Invece quello calcolato per mezzo della meccanica quantistica è di circa cento volte superiore a temperatura ambiente, esattamente 420 Å (a bassa temperatura, ma al di sopra del limite della superconduttività, raggiunge i 105 Å). La resistività dedotta per mezzo della teoria classica sarebbe enormemente superiore a quella reale.

Nonostante questa interpretazione della costante di conducibilità di un metallo metta in evidenza una struttura a spugna ionica permeata di un gas di elettroni liberi, tuttavia non ci si deve fermare al concetto intuitivo, classico, di gas, nel caso di questi elettroni.

Infatti se questi fossero perfettamente liberi entro la spugna ionica essi porterebbero un notevole contributo alla capacità termica del solido; cioè se tentassimo di alzare la temperatura del rame cedendogli calore, gran parte di questo andrebbe immagazzinato nel gas di elettroni e poco nelle vibrazioni degli ioni del solido.

Avviene proprio il contrario: nonostante gli elettroni appaiano liberi per quello che riguarda il fenomeno della conduzione, essi sono invece assai fortemente legati per quello che riguarda i fenomeni termici, così legati da partecipare, in un certo senso, alle vibrazioni della spugna ionica, e quindi contribuiscono assai poco, a causa della piccola massa, al contenuto di energia del solido e di conseguenza alla capacità termica.

18 dicembre 2006

MUSEO DI MINERALOGIA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"

SCHEDE DEI MINERALI DEL RAME

ESPOSTI NELLE VETRINE

ANTLERITE 22341-140			
E' un minerale poco comune, tranne che in alcune località, dove può essere abbondante al punto da avere addirittura interesse industriale, per esempio nella miniera cilena di Chuquicamata, che è una delle più grandi del mondo, e che sfrutta minerali ossidati, l'antlerite è il principale.			VETRINA DEL RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₃ (OH) ₄ SO ₄	3.88	3-3.5	Ortorombico



ATACAMITE			
E' un cloruro basico di rame, si rinviene in masse e cristalli prismatici di colore verde scuro, è solubile facilmente negli acidi, ed in particolare è solubile in acido cloridrico senza effervescenza, il che la distingue dalla Malachite. Si trova nel cappello dei giacimenti di rame, soprattutto in località desertiche o prossime al mare ; anche in prossimità di fumarole, o come incrostazione sulle lave ; il nome deriva infatti dalla località cilena Atacama dove è presente un deserto. In Italia l'atacamite è stata rinvenuta all'isola d'Elba e sull'Etna. E' molto difficile riconoscere i minerali secondari del rame ad occhio nudo, ma un veloce saggio chimico può in questi casi essere di aiuto : una goccia di acido nitrico scioglie con estrema facilità un poco del minerale, ed un'altra aggiunta di nitrato di argento provoca un tipico precipitato bianco fioccoso di cloruro d'argento se si tratta di atacamite o paratacamite ; se invece del nitrato d'argento aggiungiamo nitrato di bario si ottiene un'intorbidamento della soluzione se si tratta del solfato brochantite.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$	3.76	3-3.5	Rombico

	
---	--

AZZURRITE 23241-140			
E'un minerale di alterazione di depositi a solfuri di rame in ambiente carbonatico. rispetto alla malachite, l'azzurrite si forma in livelli più superficiali ed è spesso sostituita dalla prima per pseudomorfo. E' presente anche come impregnazione di arenarie da parte di acque vadose carbonatiche venute a contatto con acque ricche di solfati di rame. E normalmente associata, oltre a malachite, a limonite, calcite, calcocite, crisocolla e ad altri minerali secondari del rame. E' un minerale semiduro, pesante, fragile e discretamente sfaldabile; si presenta trasparente o traslucido con lucentezza vitrea tendente ad adamantina. Polvere azzurro chiara. Solubile in ammoniaca, dà effervescenza negli acidi diluiti. Viene utilizzato come pietra ornamentale e per soprammobili; può essere tagliata per dare gemme di una certa bellezza, purtroppo fragili e facilmente rigabili.		VETRINA N° 16	
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	3.77	3.5-4	Monoclino

	
---	--

BORNITE	

Si rinviene in masse compatte con lucentezza metallica, spesso iridescente con toni azzurro-violacei, sono molto rari i cristalli di aspetto cubico, ottaedrico o icositetraedrico ; è spesso associata a calcosina e calcopirite. Questo solfuro di rame è molto diffuso in tutte le miniere di rame, per il suo colore di ossidazione era chiamato una volta "rame paonazzo", mentre il nome bornite deriva da Ignaz von Born, mineralogista austriaco celebre anche per la sua amicizia con personaggi famosi come Mozart. I cristalli (fino a 3.5 cm) sono tipici quasi esclusivamente della Cornovaglia. Si forma in rocce basiche come minerale di segregazione magmatica o in filoni pegmatitici e idrotermali di alta temperatura. E' spesso associata a malachite.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₅ Fe S ₄	5.06-5.08	3	Ortorombico pseudocubico

			
BROCHANTITE 22831-16 22831-16			
La brochantite è un solfato relativamente diffuso nei giacimenti di rame, è però difficile distinguerlo dalla antlerite, per cui necessita un'analisi ai raggi X. Ha una sfaldatura perfetta è abbastanza fragile, ed è solubile negli acidi. E' semidura, pesante, traslucida o trasparente, è solubile in acidi anche molto diluiti, è facilmente fusibile con decrepitazione. Si forma nella zona di alterazione dei giacimenti di rame, soprattutto in clima arido, e in condizioni debolmente acide. Costituisce un importante minerale del rame dal punto di vista industriale.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₄ (OH) ₆ SO ₄	4.0	3.5-4	Monoclino

				
CALCOCITE				
La calcocite è un solfuro di rame che si presenta in rari cristalli tabulari striati di color grigio piombo spesso alterati verso il nero o il verde. E' tenera, molto pesante, con frattura concoide, opaca, con lucentezza metallica. Facilmente fusibile e solubile in acido nitrico, colora la fiamma di verde, con sviluppo di fumi irritanti e di anidride solforosa. Si forma per mineralizzazioni filoniane di solfuri in giacimenti idrotermali, oppure nei giacimenti di rame a basso tenore, associata a malachite e azzurrite. Ha come sinonimo il nome calcosina.			VETRINA DEL RAME	
Formula :		Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₂ S		5.5-5.8	2.5-3	Rombico

**CALCOFILLITE**

10624-8

La calcofillite, di colore verde smeraldo o verde chiaro, è uno dei minerali secondari del rame, caratteristico per l'aspetto micaceo, cioè a foglietti, che lo rende simile alla torbenite, il contorno dei suoi cristalli è però esagonale. E' tenera, leggera e facilmente sfaldabile in lamelle sottili, ha lucentezza madreperlacea sulle facce di sfaldatura, ha polvere verde chiaro e fonde facilmente decrepitando.

Si rinviene al cappello dei giacimenti di rame associato ad altri arseniati come cornwallite, clinoclasio, farmacosiderite, tirolite e solfati come spagnolite, connellite.



Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_{18}\text{Al}_2(\text{AsO}_4)_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{27}3\text{H}_2\text{O}$	2.67	2	Trigonale

**CALCOPIRITE**

E' un tipico minerale di ambiente filoniano idrotermale di alta temperatura, associato a pirrotina, blenda e pirite o a minerali di nichel. Si trova disseminato in rocce basiche di origine effusiva più o meno metamorfosate, in giacimenti metamorfici di contatto (skarn) e in placers derivati dallo smantellamento di queste rocce. Si osservano anche sostituzioni di calcopirite su frammenti organici quali legno e resti di organismi. Mediamente dura, pesante, relativamente fragile, non sfalda, ma presenta frattura concoide, opaca, con lucentezza metallica o semimetallica, polvere neroverdastra. Brucia alla fiamma colorandola di verde (rame) producendo vapori tossici e fortemente irritanti; solubile in acido nitrico, ma lentamente, con precipitazione di zolfo. Si distingue dalla pirite perché meno dura e più facilmente fusibile. E' uno dei più importanti minerali industriali di rame e se ne ottengono come sottoprodotti anche oro e argento. Al momento attuale circa l'80% della produzione mondiale di rame deriva dal trattamento di calcopirite.

VETRINA
N°6

Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu Fe S_2	3.90-4.03	3.5-4	Monoclino

**CALCOSIDERITE**

17861-1

La calcosiderite è l'equivalente ferriero del turchese, proviene come la liroconite dalla Cornovaglia, dove si trova sotto forma di cristallini tabulari verdi scuro, a spigoli obliqui e

VETRINA
DEL

taglianti, associata ad andrewsite.			RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{CuFe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	3.76	3-3.5	Triclino

	
---	--

COVELLITE

Si trova in filoncelli idrotermali associata ad altri minerali di rame; oppure deriva da una dissociazione metamorfica, in rocce calcaree, della calcantite e della calcopirite. Sublima direttamente da vapori vulcanici al Vesuvio, dove fu descritta per la prima volta. Tenerissima, molto pesante, fragile e perfettamente sfaldabile in laminette sottili e flessibili, nere, opache con lucentezza submetallica e di aspetto micaceo. Facilmente fusibile, brucia dando una fiamma azzurra accompagnata da fumi di anidride solforosa; solubile in acido cloridrico. Se in masse economicamente sfruttabili, è un ottimo minerale di rame.

VETRINA
N° 5

Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
CuS	4.60-4.76	1.5-2	Esagonale

	
---	--

DEVILLINA

E' molto simile alla langite e avviene spesso confusa con questo minerale, che è tipico della stessa paragenesi ; si trovano infatti entrambi nelle zone di alterazione del cappello dei giacimenti di rame.

VETRINA
DEL
RAME

Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{CaCu}_4(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	3.13	3-2.5	Monoclino

	
---	--

DIOPTASIO

E' un silicato che appare in cristalli di abito prismatico con terminazioni romboedriche, è perfettamente sfaldabile lungo i piani del romboedro, ha lucentezza vitrea e polvere verde, è infusibile, si gonfia durante il riscaldamento e annerisce. Di colore verde smeraldo si presenta solitamente in aghetti sottili dello stesso colore. E' solubile negli acidi con formazione di gel. In acido cloridrico ed in acido nitrico si scioglie lasciando uno scheletro di silice. E' solubile anche in ammoniaca. E' spesso associato alla plancheite, anche all'isola d'Elba dove si rinviene in minuti cristalli.



Si ritrova nelle zone di ossidazione di giacimenti di rame. Duro, pesante,; da trasparente a translucido. E' Utilizzato per gioielli di fantasia.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu SO ₂ (OH) ₂	3.28-3.35	5	Trigonale

	
---	--

EUCROITE

Minerale molto raro, in cristalli simili al Diopasio, questa specie si trovava un tempo nel giacimento di Libethen (oggi Liubetova) in Cecoslovacchia, e tale ritrovamento è rimasto praticamente l'unico, anche se in Bulgaria a Zapachitsa è ancora possibile trovare cristallini di questa specie.			VETRINA DEL RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₂ (AsO ₄) (OH) 3H ₂ O	3.44	3.5-4	Ortorombico

	
--	--

KINOITE

La kinoite è un sorosilicato che forma piccoli cristalli prismatici di colore azzurro intenso, generalmente raggruppato in ciuffetti. Si ritrova al cappello dei giacimenti di rame, con apofillite, ruizite, rame nativo.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₂ Ca ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₄	3.16	3-3.5	

	
---	--

KROEHNKITE

23243-3

--	--	--	--

La kröhnkite è un minerale abbastanza diffuso nel giacimento di Chuquicamata in Cile, ma è rara altrove. E' stata rinvenuta anche all'isola d'Elba a Capo Calamita in crosticine azzurre. Appare in masse fibrose o granulari di colore azzurro cielo anche in cristalli distinti pseudo-ottaedrici o prismatici. E' solubile in acqua essendo un solfato di rame e sodio, ed è di gusto assai spiacevole. Si forma al cappello dei giacimenti di rame associata con altri solfati come la calcantite la natrocalcite, la antlerite, la bloedite, la tamarugite, e la più comune atacamite.			
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Na ₂ Cu (SO ₄) ₂ 2H ₂ O	2.90	2.5-3	Monoclino

	
---	--

LANGITE

I campioni di questo minerale di un intenso azzurro cielo provengono quasi tutti dalla Cornovaglia dove è associata con Posnjakite, un minerale dalla stessa composizione con cui la Langite è stata spesso confusa ; un altro minerale con cui si può confondere è la wroewolfeite di formula Cu₄(OH)₆SO₄ 2H₂O, della quale è dimorfo.
Scoperta solo nel 1975 a Loudville, nel Massachussets, in un unico esemplare, è stata poi rinvenuta associata con langite, brochantite e linarite. La langite mostra spesso geminati pseudoesagonali, mentre la wroewolfeite dà cristalli meno tozzi, più allungati e piatti, e non mostra geminati.

VETRINA
DEL
RAME

Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₄ (OH) ₆ SO ₄ 2H ₂ O	3.49	2.5-3	Monoclino

	
---	--

LIROCONITE

La liroconite è una specie molto rara e ricercata dai collezionisti, quasi tutti i campioni però appartengono a ritrovamenti di diversi anni fa.
I migliori esemplari provengono dalla Cornovaglia, e quelli delle altre località si possono vedere quasi solo nei musei.

VETRINA
DEL
RAME

Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu ₂ Al (AsO ₄)(OH) ₄ 4H ₂ O	2.90-3	2.5	Monometrico

	
---	--

MALACHITE

Tipica della zona di ossidazione superficiale dei giacimenti cupriferi, da cui deriva per una reazione del solfuro con la ganga carbonatica; talora è in grandi masse con nucleo di azzurrite. Presente anche come impregnazione di arenarie per apporto dovuto alle acque circolanti carbonatiche venute a contatto con acque ricche di solfati di rame. E' un minerale semiduro, pesante, fragile e ben sfaldabile; semiopaco o translucido con lucentezza da vitrea a sericea; polvere verde più chiara della massa. Solubile in acidi concentrati, con effervescenza, in acido cloridrico dà Una soluzione verde; arroventato perde acqua diventando nero e quindi fonde, abbastanza facilmente, colorando la fiamma di verde (rame). E' Una pietra decorativa di gran pregio, in lastre lucidate, per tavolini, scatole soprammobili. Macinato serviva per alcuni coloranti inorganici del passato (verde montano).			VETRINA N° 15
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	3.90-4.03	3.5-4	Monoclino

	
---	--

PLANCHEITE 23270-2			
Forma gruppi raggiati di cristalli aciculari di colore azzurro intenso, è simile nell'aspetto e in molte proprietà alla shattuckite di formula $\text{Cu}_5(\text{OH})_2(\text{SiO}_3)_4$ e la somiglianza di queste due specie è tale che per lungo tempo furono ritenute due varietà del medesimo minerale, solo recentemente la determinazione della struttura cristallina ha dimostrato che si tratta di due inosilicati con catene distinte, che presentano analogie rispettivamente con i pirosseni (shattuckite) e con gli anfiboli (plancheite). In aggregati fibrosi, globulari, la plancheite accompagna soprattutto il dioplasio			VETRINA DEL RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_8\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_4\text{H}_2\text{O}$	3.3	2.5	Ortorombico

	
---	--

PSEUDOMALACHITE			
La pseudomalachite è un fosfato basico di rame, non molto comune che si trova in piccole quantità soprattutto in alcune vecchie miniere della Germania, della Cecoslovacchia e della Cornovaglia			VETRINA DEL RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$	4.33	3.5	Monoclino

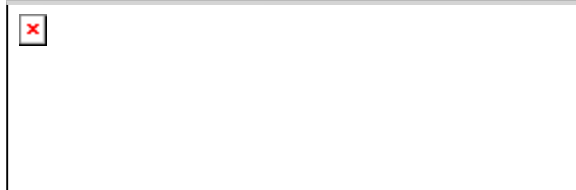


RAME NATIVO

E' un tipico minerale formatosi per processi chimici in condizioni riducenti nella zona di ossidazione dei giacimenti a solfuri legati a rocce ultrabasiche. Si trova anche in cavità di basalti e di conglomerati, talora in masse cospicue. Non infrequente nelle vecchie miniere periodicamente allagate da acque contenenti solfati di rame, come incrostazioni su oggetti di ferro e come sostituzione parziale delle fibre del legno delle armature. Tenero o poco duro, molto pesante, duttile, malleabile, privo di sfaldatura e con frattura scagliosa,, opaco con lucentezza metallica, le laminette molto sottili risultano traslucide, lasciando passare una debole luminosità sul verde. Ottimo conduttore del calore e dell'elettricità; facilmente solubile in acido nitrico, colora la soluzione d'azzurro nel caso che venga aggiunta ammoniacale in eccesso ; fonde a 1082 °C. Solo raramente il rame nativo si ritrova in quantità tale da essere sfruttato industrialmente. il metallo è sempre stato importantissimo per le civiltà umane, secondo solo al ferro. il suo maggiore impiego attuale è nel campo elettrotecnico (cavi e fili elettrici) ed in quello delle leghe (ottone, bronzo e una nuova lega con 3% di berillio, che risulta particolarmente resistente alle vibrazioni).



Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
Cu	8.90	2.5-3	Cubico



TETRAEDRITE

Si trova in masse color grigio metallico, o in cristalli di abito generalmente tetraedrico , da cui il nome.

Il gruppo della tetraedrite è formato fondamentalmente da due specie più comuni : la tetraedrite propriamente detta e la tennantite, che è il corrispondente solfuro di rame e di arsenico con formula $Cu_{12}As_4S_{13}$. Esiste soluzione solida tra questi due termini e spesso entrano a far parte del reticolo cristallino molti altri metalli, come l'argento nella varietà freibergite, il mercurio nella varietà schwazite, il bismuto nella varietà annivite, il nichel (fino al 17%) frigidite, lo zinco sandbergerite e con l'argento in molte binniti. esiste anche un termine con notevoli quantità di tellurio goldfieldite, che viene considerata una specie a se stante in questo gruppo.

L'abito tipico della tetraedrite è ovviamente il tetraedro, modificato spesso da piccole faccette di cubo o di un altro tetraedro.

Si forma in filoni idrotermali di temperatura medio-bassa associato a minerali di rame, piombo, zinco e argento. Le tetraedriti vanno ricordate anche perché sono un buon termometro geologico in quanto si arricchiscono di argento e mercurio a mano a mano che la temperatura decresce. E' un minerale industrialmente importante del rame e a volte anche del tellurio.



Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$(Cu,Fe,Ag,Zn)_{12}Sb_4S_{13}$	5	3-4	Cubico



TSUMEBITE			
La tsumebite è un solfofosfato, e inizialmente era stata definito in modo non corretto come un solo fosfato, molto simile alla arsentsumebite di formula chimica $\text{Pb}_2\text{Cu OH SO}_4 \text{AsO}_4$; si trova in minuti cristallini raggruppati a formare crosticine, associati soprattutto all'azzurrite e alla cerussite nella zona di Tsumeb in Namibia			VETRINA DEL RAME
Formula :	Peso Specifico :	Durezza :	Sistema Cristallino :
$\text{Pb}_2\text{Cu OH SO}_4 \text{PO}_4$	6.13	4	Monoclino