

Rame

Simbolo chimico: **Cu**.

Durezza: 2,5-3.

Peso specifico: 8,9.

Punto di fusione: **1083** °C.

Presenta **colore rosso** caratteristico (c.d. «rosso rame») e lucentezza metallica; esposto agli agenti atmosferici si ricopre di una **patina verde o azzurra di carbonati**. E' un **metallo malleabile e duttile, buon conduttore di calore ed elettricità**. Si scioglie facilmente negli acidi, specie a caldo.

Il termine «rame»

Nel mondo greco-romano erano celebrate le **miniere di Cipro** per la ricchezza e l'alta qualità del rame che vi si estraeva, tanto che l'isola finì per divenire col tempo la produttrice per antonomasia di questo metallo.

Autori latini come Plinio e Vitruvio parlano di un *aes cyprium* o *cyprinum*, cioè «pertinente a Cipro, di Cipro»; Plinio usa pure il vocabolo **cuprum**, che si incontra anche più tardi nell'editto di Diocleziano (301 d.C.); l'impiego di questo termine si generalizza dal IV Secolo d.C. *Cyprium* e *cuprum* provengono quindi chiaramente dal nome latino dell'isola di Cipro, Cyprus, a sua volta derivato dal greco Kýpros, che è il toponimo dell'isola, un nome che originariamente non aveva alcun rapporto con il metallo, il cui nome greco era *chalkós*. L'associazione di Cipro con il rame si verifica solo in un momento avanzato dell'età romana; da **cuprum** deriva il nome usato in numerose lingue moderne: il francese *cuvre*, lo spagnolo *cobre*, l'inglese *copper*, il tedesco *Kupfer*, La svedese *koppar*, il danese *Kobber*. L'italiano invece prende il termine rame dal tardo latino *aeramen*, derivato dal latino classico *aes*.

Il sumerico e l'accadico erano le sole lingue antiche a distinguere il rame dal bronzo; sia l'ebraico *necôsèt* che il greco *chalkós* (miceneo delle tavolette in lineare B *ka-ko*), nonché il latino *aes* designano infatti sia il metallo che la lega.

Minerali di rame

Il rame nativo Il metallo nativo abbastanza diffuso, sebbene generalmente non in grandi quantità. E infatti facile che **in un deposito si formi rame metallico**, in cristalli o in lamine, per **riduzione** quando le soluzioni idrotermali derivate dall'alterazione di minerali cupriferi incontrano sedimenti organogeni o rocce ricche di ossidi di ferro. I maggiori giacimenti di rame nativo sono quelli del Nord America (Lago Superiore), ma importanti sono pure i depositi spagnoli di Huelva, di Mansfeld in Germania, del Mitterberg in Austria, di Perm negli Urali, di Ergani Maden in Turchia; in Italia attestato principalmente in Toscana, dove sono stati rinvenuti in passato anche blocchi di oltre mezzo quintale, come all'Impruneta presso Firenze.

Il rame nativo si può trovare sia all'interno dei giacimenti, in livelli peraltro abbastanza **superficiali**, come pure a grande distanza da essi, a seguito di fenomeni di erosione e del trasporto effettuato dalle acque; entrambe queste fonti sono state accuratamente ricercate e sfruttate sin dagli albori della metallurgia.

Facilmente riconoscibile in natura, ha permesso alle comunità primitive di disporre — senza bisogno di **processi fusori** — di un materiale che poteva essere **direttamente lavorato** con tecniche mutuata dalla **litica**, quali la **martellatura**, pur offrendo quelle caratteristiche di **deformabilità, resistenza, peso e lucentezza** proprie dei metalli; appare quindi logico che fra i metalli sia stato uno dei primi conosciuti e utilizzati dall'uomo. Questi dovette ben presto anche apprendere vantaggi offerti dalla **ricottura**, che consentiva, grazie a un relativamente modesto riscaldamento, di renderlo assai **più malleabile**, evitando così che si **spezzasse** a seguito di una troppo **intensa deformazione plastica** causata dalle operazioni di sagomatura.

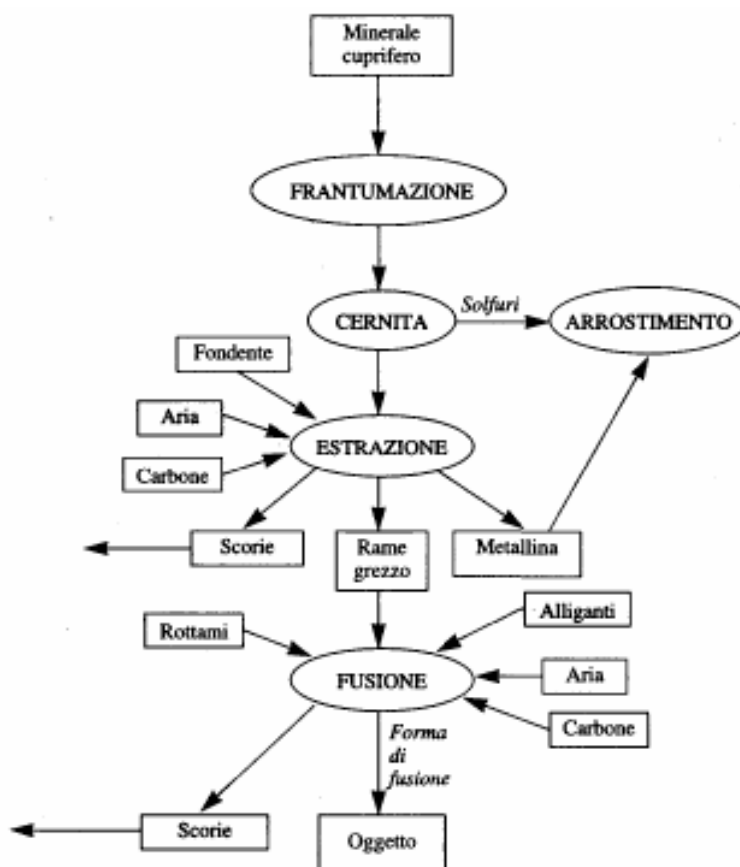


Fig. 1 Schema delle operazioni metallurgiche per l'estrazione del rame.

Il passo ulteriore dovette consistere nella scoperta di sistemi idonei a ottenere le **temperature necessarie alla liquefazione**, rendendo così possibile fondere in un crogiolo sia i frammenti troppo minuti per essere utilizzabili, che i manufatti rotti e moltiplicando così di fatto la quantità complessiva di metallo disponibile.

L'invenzione dei primi rudimentali **forni** schiudeva la strada all'**estrazione del rame dai suoi numerosi minerali** (fig. 1), minerali che sono generalmente caratterizzati, peraltro, da colori vistosi che ne facilitavano il ritrovamento e l'identificazione.

I minerali cupriferi I minerali cupriferi si distinguono chimicamente in **ossidi, carbonati, silicati** e **solfuri** (tab. 1). E' opinione diffusa che i primi a essere coltivati siano stati gli ossidi e i carbonati: La **cuprite** (Cu_2O), **ossido** di colore rosso rubino; la **malachite** $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, **carbonato** basico idrato dal caratteristico colore verde; l'**azzurrite** $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, altro carbonato, ma azzurro.

I minerali di gran lunga più abbondanti e frequenti sono tuttavia i **solfuri**, la cui lucentezza metallica non poteva sfuggire all'antico cercatore: la **calcopirite** CuFeS_2 — uno dei più comuni composti di rame dal caratteristico colore giallo ottone, spesso iridescente —, la **calcocite** Cu_2S , la bornite (Cu_5FeS_4), la covellite (CuS), l'enargite (Cu_3AsS_4), la tetraedrite ($\text{Cu,Fe,Zn}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ quest'ultima, pure conosciuta con il termine tedesco *Fahlerz* per il colore smorto, può spesso contenere altri metalli come l'argento, l'arsenico, lo zinco, il mercurio.

Quanto alla **crisocolla** $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, un **silicato** azzurro-verdastro, opportuno sottolineare come con questo nome gli antichi, quali Dioscoride, Teofrasto e Plinio, designassero non un silicato, ma un carbonato di rame.

Tab. 1 Principali minerali di rame.

Minerale	Comp. chimica	Colore	Lucentezza	Durezza	Peso spec.	% Cu
<i>Ossidi</i>						
Cuprite	CuO ₂	rosso cupo	adamantina	3,5	6	88,8
<i>Carbonati</i>						
Malachite	CuCO ₃ · Cu(OH) ₂	verde	opaca	3,5	4	57,5
Azzurrite	2CuCO ₃ · Cu(OH) ₂	azzurro intenso	vitrea	3,5-4	3,8	55,1
<i>Silicati</i>						
Crisocolla	CuSiO ₃ · 2H ₂ O	azzurro verdastro	vitrea	3,4	2-2,4	36
<i>Solfuri</i>						
Calcocite	Cu ₂ S	grigio scuro	metallico	2,5-3	5,7	79,8
Calcopirite	CuFeS ₂	giallo ottone	metallico	3,5-4	4,2	34,6
Bornite	Cu ₅ FeS ₄	bronzeo iridescente	metallico	3	5	55,5
Covellite	CuS	blu iridescente	vitrea	1,5-2	4,6	66,5
Enargite	Cu ₃ As ₂ S ₄	grigio nerastro	metallico	3	4,4	48,4
Tetraedrite (Fahlerz)	[Cu,Fe,Zn] ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	grigio nerastro	metallico	3,4	4,4-5,1	30-52,1

Come accennato, si ritiene comunemente che, dopo lo stadio iniziale legato all'uso del rame nativo, l'uomo abbia **ricavato il rame dagli ossidi e dai carbonati mediante processi di riduzione** relativamente semplici. Gli esperimenti hanno infatti evidenziato come sia abbastanza facile estrarre il metallo utilizzando della malachite ricca, senza peraltro lasciare tracce riscontrabili archeologicamente, scorie o resti di fornace, del processo svolto.

È stato tuttavia dimostrato sperimentalmente come sia possibile realizzare **l'estrazione del rame anche dai solfuri** operando in crogiolo e usando cannelli ferruginatori per fornire l'aria necessaria alla combustione, senza quindi che sia necessario disporre di un vero forno fusorio.

Tale osservazione fornisce una chiave di lettura diversa sullo sviluppo della metallurgia preistorica. Piuttosto che interpretare come rivoluzionario l'inizio dell'impiego dei solfuri, come è stato spesso ritenuto in passato, forse è più opportuno posare l'accento sull'impiego o meno di **tecnologie estrattive scorificanti**. Queste infatti si caratterizzano per una assai maggiore **efficienza** giacché, consentendo di **eliminare pressoché totalmente la ganga nella scoria**, permettevano lo sfruttamento anche di minerali con un tenore di rame alquanto basso.

I giacimenti cupriferi del mondo antico

Il rame un metallo relativamente abbondante e diffuso; i suoi principali giacimenti sono tuttavia localizzati nelle Americhe e nel centro dell'Africa. Gli abitanti dell'Europa e del Vicino Oriente sfruttavano quindi bacini minerari ricchi, ma di importanza secondaria rispetto a quelli attualmente in uso.

I maggiori depositi del mondo antico erano quelli della *Penisola Iberica*, dove le abbondanti e ricche mineralizzazioni sono spesso anche abbastanza superficiali e quindi agevolmente sfruttabili sin dalla preistoria. Numerosi sono i rinvenimenti di materiali archeologici effettuati in contesti minerari di tutta La Penisola, di età sia pre-protostorica — come nell'area di Huelva (teste di mazza, escavazioni e scorie da Monte Romero, Tharsis, Rio Corumbel) o nelle Asturie (antichi pozzi e gallerie di El Aramo e di El Milagro) — che romana — qual le complesse installazioni idrauliche rinvenute nella miniera di Sotiel Coronada (Huelva). Ancora nel periodo precedente alla prima guerra mondiale, la sola Spagna produceva una quantità di rame superiore al resto d'Europa.

La principale area estrattiva per abbondanza e alta qualità del minerale cupriferi era nel

periodo romano La Turdetania, nell'attuale provincia di Huelva; qui, lungo il bacino del Rio Tinto, anche in età moderna si concentrano le coltivazioni. Importanti giacimenti sono pure nella Spagna meridionale, nelle province di Murcia, Almeria, Cordova, in quella centrale, nelle province di Badajoz e di Ciudad Real e nel Nord, in Galizia, nelle Asturie, in Navarra e nella regione dei Pirenei. Anche il Portogallo ricco di depositi, soprattutto localizzati nell'Algarve, nel Baixo Alentejo, nell'Estremadura e nella Beira Alta.

Manifestazioni cuprifere di scarsa entità ma sufficienti all'instaurarsi di uno sfruttamento pre-protostorico sono inoltre nelle Baleari, a Maiorca e a Minorca.

La *Sardegna* presenta una geologia alquanto complessa, con affioramenti di rocce databili dal Paleozoico al Quaternario; le mineralizzazioni a rame, talune anche abbastanza ricche, sono localizzate in molte zone dell'isola, nella Nurra, nell'Iglesiente, nell'Arburese, nel Fluminese, nel Sarrabus, nel Sulcis, nel Gerrei, nella Barbagia. Numerose sono le testimonianze di coltivazioni di età nuragica, come pestelli, macinelli, mortai e resti ceramici.

Nella Barbagia di Seילו, presso Gadoni (Nuoro), situata La miniera di Funtana Raminosa, nella quale sino ad alcuni anni fa venivano estratti i solfuri misti contenuti in una roccia porfirica; qui, nel secolo scorso, vennero rinvenuti indizi di estrazioni protostoriche. L'esame delle antiche discariche evidenziò come, pure alla base di affioramenti cupriferi a elevato tenore, le scorie fossero pressoché prive di rame, indice di un arricchimento effettuato con grande cura".

Nella *Penisola Italiana* numerosi sono i depositi localizzati lungo l'intero arco alpino; miniere sono state aperte in passato nelle province di Torino (Alpi di Pinerolo), Novara (Val Sesia), Aosta (Val Tournanche, Val Chiusella), Bergamo (Valle Venerocolina), Belluno (Agordo), Udine (Avanza). Le numerose mineralizzazioni cuprifere, specie a calcopirite, delle Alpi Orientali hanno alimentato nel Trentino, sin dall'Eneolitico e poi nel corso dell'età del bronzo, una fiorente attività mineraria e metallurgica.

I più cospicui giacimenti italiani sono però localizzati prevalentemente nella fascia tirrenica compresa fra la Liguria e l'alto Lazio. Particolare rilevanza, anche storica, hanno i depositi della Toscana; in questa regione sino a tempi relativamente recenti era possibile rinvenire quantità di rame nativo presso La superficie dei giacimenti, come all'Impruneta presso Firenze, nei Monti Rognosi presso Arezzo e a Montecatini Val di Cecina presso Pisa.

Nelle Colline Metallifere erano celebri le miniere di Montieri, Campiglia e Massa Marittima, dove si estraeva principalmente calcopirite. Lo stesso nome latino di Massa Marittima (Grosseto), *Massa Metallorum*, evoca l'importanza assunta dallo sfruttamento delle risorse del sottosuolo nell'economia dell'intera regione, sia in età pre-protostorica ed etrusca, che nel Medioevo e nell'età moderna, sfruttamento di cui restano numerose tracce.

Anche in Liguria sono attestati resti di antiche coltivazioni: nella miniera di Libiola, presso Sestri Levante, un manico di piccone in legno trovato in uno stretto cunicolo che sfruttava i ricchi depositi cupriferi ascrivibile alla seconda metà del IV millennio a.C. (datazione radiocarbonica calibrata).

Giacimenti cupriferi sono presenti nel versante adriatico dell'Appennino Tosco-Emiliano nelle province di Bologna (Monghidoro, Monterezzo), Panna (Tomolo, Barceto, Solignano), Modena (Frassinoro, Montefiorino, Sestola, Toggiano), Piacenza (Ferriere) e Reggio Emilia (Villaminazzo).

Nel Sud mineralizzazioni a rame (prevalentemente solfuri, ma anche carbonati), sebbene non sfruttate in epoca recente, sono distribuite in vane zone della Calabria e in particolare presso Acquaformosa (Cosenza). In questa regione secondo alcuni andrebbe localizzata La Temesa ricordata da Omero, un centro di scambi fra rame indigeno e ferro egeo, che per altri sarebbe invece da identificare piuttosto con Tamassos nell'isola di Cipro.

Giacimenti cupriferi sono situati in Sicilia unicamente nei Monti Peloritani, nella cuspide nord-orientale dell'isola; sebbene non siano di particolare ricchezza, vennero tuttavia verosimilmente sfruttati dalle locali popolazioni protostoriche.

La *Francia* possiede numerosi depositi di rame sul suo territorio, alcuni dei quali con evidenze di coltivazioni plurimillinarie. Essi sono presenti in area alpina, in Provenza, nei Vosgi, nel Lionese, nel Massiccio Centrale, in Armorica e nei Pirenei. In quest'ultima regione, nel Seronais (Ariège), sono numerosi i resti di antiche lavorazioni di età romana, sia a cielo aperto che in galleria. Testimonianze di coltivazioni sono pure in Linguadoca, dove nel distretto di Cambrières, presso Clermont l'Hérault, sono state scoperte aree per il trattamento dei minerali cupriferi e miniere sfruttate dal Calcolitico all'età gallo-romana.

Nelle *Isole Britanniche* La contea più produttiva stata sino a un recente passato La Cornovaglia, dove le stesse rocce che sono sede dello stagno ospitano pure il rame, in filoni molto estesi. Altri

depositi sono nel Devonshire, nel Derby, nel Cumberland e nel Galles. In quest'ultima regione si trovano varie miniere sfruttate in età pre-protostorica, quali Parys Mountain nell'isola di Anglesey, Cwmystwyth presso Dyfeld e Great Orme's Head (Liandudno), talora coltivate mediante complessi e profondi lavori sia a cielo aperto che in galleria. Anche in Irlanda le ricerche archeominerarie condotte a Mont St. Gabriel nella contea di Cork hanno permesso la scoperta di vari piccoli pozzi preistorici per la coltivazione del rame.

L'*Europa centrale* offre una grande varietà di giaciture cuprifere. Importanti miniere sono nelle *regioni tedesche* della Turingia (Monti dell'Hartz), Sassonia (Erzgebirge), Baden-Wuttemberg (Monti della Selva Nera), Assia (Oldenwald), Baviera (Bodenmais), Franconia (Winsberg), Vestfalia (distretti di Amsberg e di Mindel) e Renania (distretti di Treviri, Colonia, Coblenza), dove il filone di Rheinbreitbach venne già scavato dai Romani.

In *area austriaca* il centro delle attività estrattive nelle Alpi Tirolesi e nel Salisburghese; depositi sono pure in Stiria e Carinzia. A Mitterberg presso Muhibach, nel Salisburghese, sono da tempo note coltivazioni dell'età del bronzo che hanno fornito rilevanti informazioni sulle tecniche minerarie protostoriche; a esse si accompagnano coeve installazioni metallurgiche per il trattamento del minerale.

Nell'*Europa centro-orientale* vanno ricordati i giacimenti cupriferi della Slesia, localizzati nei Monti dei Giganti (Sudeti), e del Banato.

Particolare rilevanza storica rivestono i *depositi balcanici*; qui sono state rinvenute le più antiche testimonianze europee di coltivazione mineraria, risalenti alla fine del V millennio a.C. I pozzi di Rudna Glava (Majdanpek), nella *Serbia* orientale, risalgono infatti alla fine del Neolitico balcanico, mentre un poco successivi sono quelli, non lontani, di Ai Bunar (Stara Zagora) nella *Bulgaria* meridionale; altre antiche miniere sono poi a Karabajir (Burgas) e a Rosenbajir (Capo Atija) nella Bulgaria sud-orientale.

Nell'Egeo le mineralizzazioni cuprifere, in generale relativamente povere e di ridotte dimensioni, sono essenzialmente localizzate nel Nord della *Grecia* e nelle isole. Quelle continentali sono essenzialmente costituite da solfuri, principalmente calcopirite, mentre quelle delle Cicladi e di Greta da ossidi e carbonati. Altre sono poi in Tessaglia, Eubea e nel Peloponneso.

I potenti depositi a solfuri cupriferi di *Cipro* rendono l'isola uno dei più ricchi produttori di rame dell'area mediterranea; questi sono localizzati nei distretti di Tamassos, Kalavassos, Limni e Skouriotissa, area quest'ultima in cui concentrato l'85% del metallo. Il minerale primario costituito da piriti, calcopiriti e sfaleriti; il secondario da solfuri (calcopirite, covellite, calcocite, bornite e tennantite), ossidi (cuprite) e solfati (calcantite); rari sono invece carbonati e silicati. I solfuri ciprioti hanno una caratteristica struttura conglomeratica ed elevata porosità, caratteristiche entrambe che facilitavano l'opera degli antichi minatori. I pozzi e le gallerie conosciute risalgono a età tolemaica e romana, ma l'inizio delle attività estrattive ben precedente e risale verosimilmente al Calcolitico. L'enorme produzione romana e fenicia, che ha lasciato oltre due milioni di tonnellate di scorie nei soli centri di Skouriotissa e di Mavrovouni, deve aver contribuito all'obliterazione degli scavi più antichi. Una produzione di massa deve aver avuto luogo nella tarda età del bronzo, come sembrano dimostrare i risultati delle indagini archeometriche effettuate sui lingotti a pelle di bue (*ox-hide ingots*); le analisi condotte mediante lo studio del rapporto isotopico del piombo indicherebbero infatti che tali lingotti, largamente diffusi nel Mediterraneo e raffigurati nelle tombe egizie del Medio e del Nuovo Regno, siano stati in gran parte prodotti con rame cipriota.

Al di fuori dall'Europa vanno ricordati i giacimenti cupriferi anatolici, molti dei quali localizzati sui Monti Pontici presso Trebisonda e sul Tauro, nella *Turchia* nord-orientale; di questi ultimi fa parte la famosa area mineraria di Ergani Maden, già sfruttata in periodi molto antichi, da cui sembrerebbe provenire il rame nativo con cui sarebbero stati prodotti i manufatti di Çayönü Tepesi, fra i primi realizzati dall'uomo. Altri depositi sono in Cilicia e sui Monti Nur, nella regione del Golfo di Alessandretta, nonché a Canakkale all'entrata dei Dardanelli, a poche decine di chilometri dalla Troia omerica.

Ampie aree di mineralizzazione si espandono nel *Caucaso*, estendendosi nei territori della Georgia, dell'Armenia e dell'Azerbaigian.

Ricchi giacimenti sono pure in *Iran* ed è stato talora sostenuto che depositi persiani abbiano fornito materia prima alle civiltà mesopotamiche; nella parte centro-occidentale del paese, sono state rinvenute tracce di antichissime coltivazioni che sfruttavano le vene di calcocite e di malachite nell'area di Veshnovoh, a una cinquantina di chilometri a sud di Qom, alcune delle quali risalenti al 3200 a.C.

I depositi cupriferi della penisola del *Sinai* vennero sfruttati dal IV millennio sino alla tarda età romana; qui giungevano spedizioni dall'Egitto faraonico per approvvigionarsi di metallo. Le ricerche archeometallurgiche condotte nella Valle di Timna, nel Negev meridionale, hanno rivelato

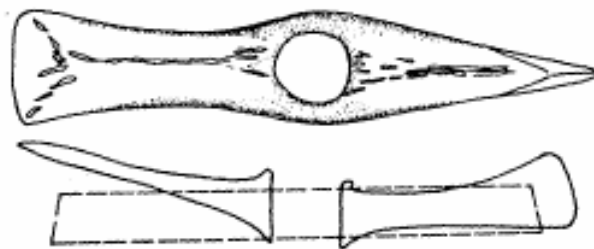


Fig. 2 Ascia a occhio ungherese in rame del tipo Vidra: a tratteggio la probabile forma della matrice (da Charles 1969).

l'esistenza di coltivazioni di rame e di operazioni estrattive del metallo condotte su larga scala a partire dal Calcolitico.

Il rame nel mondo antico

Il rame puro è **tenero**, ma è possibile **indurirlo con la martellatura**, che ottiene quindi il duplice effetto di **modellare l'oggetto**, migliorandone contemporaneamente in misura sensibile le **qualità meccaniche**. La sua utilità viene tuttavia comunemente sottostimata e armi e utensili realizzati con esso sono generalmente considerati scarsamente funzionali. In realtà sottoponendo un manufatto a **incrudimento mediante martellatura a freddo** si passa facilmente da una durezza, espressa in valori Vickers, di circa 50 HV (Hardness Vickers) sino a una di 115 e anche oltre, superiore a quella di un acciaio a basso tenore di carbonio, valutabile intorno ai 110 HV.

La prima comparsa accertata di rame metallico costituita da una cinquantina di manufatti, punteruoli e uncini, rinvenuti nel sito di Çayönü Tepesi, nell'Anatolia sud-orientale, in un contesto del Neolitico aceramico, ed è databile, in date radiocarboniche calibrate, fra l' 8400 e il 7500 a.C. I manufatti erano associati con numerose perline di malachite; l'impiego ornamentale di questo minerale, utilizzato quindi come pietra semipreziosa e non solo come materia prima per il rame, si osserva anche in altri siti mediorientali, come in un pendente lenticolare dalla Grotta di Shanidar, nel Kurdistan iracheno, talora erroneamente indicato come il più antico esempio di uso del metallo.

Lo studio archeometallurgico dei reperti di Çayönü Tepesi indica che essi erano fatti di rame nativo, verosimilmente proveniente dalle vicine mineralizzazioni di Ergani Maden. Molti reperti mostrano evidenze di **ricristallizzazione**, dimostrando che erano stati sottoposti a **ricottura**. L'antico artigiano si era probabilmente reso conto che una **martellatura troppo spinta** generava fratture nel pezzo e aveva intuito come la **ricottura** potesse in qualche modo ovviare all'inconveniente; tuttavia, non comprendendo ancora il fenomeno, preferì lasciare il metallo ammorbidito, senza effettuare ulteriori lavorazioni.

Anche la Mesopotamia ha restituito tracce molto precoci dell'impiego del rame: un punteruolo rinvenuto nel sito neolitico pre-ceramico di Tell Magzaliya viene datato all'8000-7500 a.C.; le analisi archeometallurgiche hanno dimostrato che era stato fatto con **rame nativo martellato a freddo** e indicato, come probabile origine del metallo, i depositi dell'Iran centrale.

Tenui e controverse sono le prime tracce di **estrazione del rame dai suoi minerali**: a Çatal Huyuk (strato VI), in Anatolia, è stato rinvenuto un frammento di materiale vetrificato databile intorno al 6500 a.C., interpretato da alcuni come una scoria di estrazione del rame, da altri come una semplice scoria di lavorazione. Tale frammento sembra tuttavia presentare una forte somiglianza con i resti di primitivi processi estrattivi osservati a Feinan, nella Giordania meridionale, in un contesto calcolitico.

In Europa i primi oggetti in rame provengono dalla Romania, dove un punteruolo di una decina di centimetri è venuto alla luce nel sito di Balomir, in un contesto del Neolitico antico locale databile al 5900-5300 a.C. su base radiocarbonica calibrata.

Nel Neolitico medio (*facies* Karanovo III-IV, 5300-4700 a.C.) e soprattutto nel Calcolitico si

moltiplicano le attestazioni nell'Europa orientale, con lo sviluppo di produzioni anche alquanto sofisticate, pur nella limitatezza delle conoscenze tecnologiche. Ne sono esempio le caratteristiche asce a occhio del tipo Vidra, realizzate mediante **fusione** entro **matrici univalvi in argilla**, il cui foro centrale era ottenuto con un'anima probabilmente in carbone; la sagomatura era effettuata meccanicamente (fig. 2). La produzione di tali asce, databili dal IV millennio a.C., è decisamente complessa e potrebbe costituire, in considerazione della loro grande antichità, un indizio a favore di un'invenzione autonoma della metallurgia del Sud-Est europeo, indipendente da quella vicino-orientale, invenzione alimentata e incoraggiata dalla ricchezza di materie prime del bacino minerario balcanico-carpazico.

Attestazioni precoci dell'uso dei metalli sono state osservate anche nell'Egeo: Dikili Tash e Sitagroi, nel Nord della Grecia, hanno restituito perline e aghi databili alla fine del VI millennio a.C.. Pure da Sitagroi, ma dai livelli tardo-neolitici ed eneolitici (Sitagroi III: 4700-4300 a.C.), provengono scorie e crogioli, chiaro indizio di attività metallurgiche non più limitate alla martellatura e all'eventuale ricottura di rame nativo, ma estese anche alla fusione e forse all'estrazione del metallo. A questo orizzonte vanno ascritte numerose testimonianze costituite non più solo da minute perline, spilloni, anellini e punteruoli, ma anche da asce piatte e coltelli.

Controversa l'origine della metallurgia egea, se sia da considerarsi un fenomeno indipendente, ovvero abbia raggiunto la Grecia proveniente dall'Anatolia, o non piuttosto sia da collegarsi a rapporti con le culture metallurgiche bulgaro-rumene, cui sembrerebbe ispirarsi, peraltro, la produzione ceramica di Sitagroi III.

Per quanto concerne l'area italiana va anzitutto ricordato come anche qui le prime fasi dell'Eneolitico siano prive di una cesura netta con le ultime manifestazioni neolitiche. I dati di cronologia assoluta sono ancora scarsi; i primi esempi di utilizzo del rame sembrano tuttavia da inquadrarsi intorno alla prima metà del IV millennio a.C. sulla base delle pur scarse datazioni radiocarboniche disponibili.

Le attestazioni relativamente numerose di questo momento iniziale provengono sia dall'Italia settentrionale (caverna delle Arene Candide, Finale Ligure; Monte Rocca, Rivoli Veronese; Palù di Livenza, Sacile), che da quella centrale (Fossacesia, Chieti; Cava Giacometti, Fabriano; S. Maria in Selva, Macerata) e meridionale (Contrada Matinelle, Matera; Pizzica Pantanello, Metaponto).

I più antichi esempi di metallurgia del rame compaiono in culture ancora sostanzialmente tardo-neolitiche, come dimostrano il frammento di crogiolo con tracce di fusione rinvenuto a Lipari in un contesto della *facies* di Diana-Spatarella e le scorie rinvenute in Sardegna a Su Coddu (Selargius, Cagliari) in contesti della cultura di Ozieri. Per la metallurgia sarda stata anche prospettata un'origine autonoma.

Le attestazioni si moltiplicano poi nell'ambito delle *facies* pienamente eneolitiche; i reperti analizzati indicano che il rame era stato ottenuto per **estrazione dai minerali**. Crogioli d'impasto a cucchiaio sono stati rinvenuti nella Sardegna settentrionale a Monte d'Accoddi (Sassari), in un contesto della *facies* di Filigosa. Ad orizzonti calcolitici vanno pure ascritti i numerosi frammenti di crogioli consimili trovati in Corsica nei livelli di Terrina IV (Aleria) insieme a una *tuyère*, scorie, gocce di metallo e a una lesina di rame arsenicale (fig. 3).

Almeno a età eneolitica risale il primo sfruttamento dei principali giacimenti metalliferi sia sardi che peninsulari. Testimonianze indirette dell'intensa coltivazione dei ricchi depositi toscani agli inizi dell'età del bronzo sono fornite dal considerevole accumulo di rame in forma di asce o di lingotti nei ripostigli del Bronzo antico rinvenuti nel distretto minerario delle Colline Metallifere e nell'area del bacino del fiume Fiora, ai confini fra la Toscana e il Lazio.



Fig. 3 Crogioli corsi da Terrina IV (da Jehasse 1978).

Nella Francia continentale le prime attestazioni di rame sono localizzate nel Sud del paese e si datano al Neolitico recente, nell'ambito della *facies* di Treilles, intorno alla seconda metà del IV millennio (3500-3200 a.C. circa in termini radiocarbonici calibrati). È però con il Neolitico finale

(3200-2900 a.C.) che la metallurgia si sviluppa e i suoi prodotti cominciano a irradiarsi, sfruttando i ricchi giacimenti delle Cévennes e della Montagna Nera, come suggeriscono le analisi condotte su manufatti della cultura d'Artenac, che sembrano indicare una provenienza del rame dai depositi meridionali del Massiccio Centrale. Presso Pioch-Farrus (Cabrières, Hérault), in Linguadoca, è stata rinvenuta un'area per il completo trattamento dei minerali di rame, dalla frantumazione alla fusione, che ha restituito materiali del Neolitico finale, intorno alla metà del III millennio a.C.

L'inizio dello sfruttamento dei ricchi depositi cupriferi iberici va probabilmente datato al Neolitico: da un tale contesto proviene infatti una scoria di fusione di rame rinvenuta a El Garcel (Antas) in provincia di Almeria, nel Sud-Est della Spagna. Pure in Almeria l'insediamento di Almizaraque (Cuevas del Almanzora) presso la foce dell'Almanzora, pertinente alla cultura eneolitica di Los Millares, dove — come in altri siti coevi della regione — sono stati recuperati numerosi resti di attività metallurgica, come pezzi di minerali di rame, alcuni anche già parzialmente ridotti, gocce di fusione e scorie.

Nel corso del III millennio a.C. si diffonde nel mondo antico, dall'Iran all'Italia, dall'Europa centrale alla Spagna e alle Isole Britanniche, l'uso del **rame arsenicale**, una **lega di rame e arsenico in proporzioni variabili**. Tale lega, oltre a consentire una maggiore **colabilità**, permette di realizzare, tramite **martellatura a freddo**, oggetti di **elevata durezza e tenacità**. Essa sarà poi sostituita durante il Bronzo antico dalle **leghe con stagno**.

L'uso del solo rame — se si escludono ovviamente i **lingotti, forme d'accumulo di materiale grezzo** destinato ad essere alligato per la produzione di oggetti — divenne quindi poco frequente e confinato a impieghi particolari, come, in età storica, la **realizzazione di chiodi** da parte di Greci e Romani. In periodo classico il suo principale utilizzo è comunque nella **monetazione**. Venivano coniate in rame i nominali bassi sia in alcune città greche — ad Atene dalla fine del V secolo a.C. —



Fig. 4 Quadranti coniatati sotto Augusto (da Cohen 1880).

che nel mondo romano: in età imperiale si ottenevano con esso l'asse e il quadrante (fig. 4).

L'identificazione archeometrica del rame nativo

Una richiesta alquanto sentita negli studi archeologici che si rivolgono alle più antiche età dei metalli è quella di distinguere per mezzo di analisi se un determinato oggetto sia stato prodotto con **rame nativo** o piuttosto **estratto dai minerali** mediante **processi metallurgici**.

Identificare l'impiego di rame nativo in un manufatto antico su base archeometrica è però in realtà assai difficile e incerto.

L'**esame metallografico** del rame nativo evidenzia una struttura costituita da **grani** generalmente abbastanza grandi. Sono però i **geminati** presenti all'interno di essi sotto forma di coppie di linee parallele a costituire l'elemento più caratteristico, poiché a causa dei processi genetici che li hanno prodotti, sono assai più lunghi e sottili di quelli che s'incontrano nei manufatti: queste particolarità rendono relativamente agevole il riconoscimento di campioni geologici.

Per produrre un oggetto, il **rame nativo** può essere stato lavorato in tre modi: **direttamente martellato, ricotto e martellato, fuso**. Gli ultimi due trattamenti, **impiegando calore**, modificano la **microstruttura del rame**, rendendo difficoltoso il riconoscimento. La determinazione inequivocabile è possibile solo nel caso di materiale non lavorato; nella pratica ben diversa è la situazione per indagini condotte su reperti archeologici, poiché questi debbono necessariamente aver subito un qualche trattamento meccanico e/o termico: l'analisi dà quindi generalmente risultati frustranti.

Inoltre, normalmente, non è né opportuno, né accettabile effettuare esami metallografici su pezzi di così grande antichità quali sono quelli in rame nativo, oltre che per ovvie esigenze d'ordine

conservativo, anche perché essi possono facilmente essere totalmente mineralizzati e quindi privi del metallo indispensabile alla caratterizzazione.

Anche gli studi basati sulla determinazione della composizione chimica forniscono talora risposte ambigue. Il rame nativo è infatti estremamente eterogeneo, con variazioni sensibili a seconda del giacimento di provenienza e, talvolta, anche all'interno dello stesso deposito. Spesso risulta molto puro, benché con tracce assai lievi di altri metalli; non mancano però casi, sebbene eccezionali, in cui si rilevano significativi tenori di argento (talora anche sino allo 0,6%), arsenico, nichel, piombo, antimonio, ferro, zolfo. Il tenore di zolfo può fornire, entro certi limiti, un'indicazione, poiché difficilmente il rame nativo ne contiene più dello 0,2% (si consideri però che un pezzo proveniente dalla miniera di Ergani Maden ne aveva lo 0,49%).

Va inoltre sottolineato come anche il rame estratto con le tecniche più primitive da minerali assai ricchi, quali alcuni ossidi e carbonati e talora solfuri, possa risultare di considerevole purezza, in gran parte dei casi indistinguibile chimicamente da quello nativo.

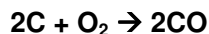
Un ulteriore indizio di rame nativo è in genere l'assenza di inclusi, specie di quelli costituiti da ossidi di rame; tuttavia neppure questo è un criterio sicuro, giacché colando del metallo fuso in forme chiuse all'aria non si producono ossidi al suo interno; colando invece del rame nativo in condizioni ossidanti, questi possono venirvi facilmente introdotti.

I processi estrattivi del rame: dal minerale al lingotto

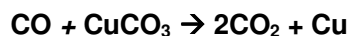
Gli scarsi dati disponibili sulle più **antiche tecnologie** usate per l'estrazione del rame dai suoi minerali sembrano indicare processi alquanto semplici, condotti **in condizioni scarsamente riducenti**, effettuati non in veri forni, ma entro **crogioli d'argilla refrattaria** immersi nel **carbone** di legna. La temperatura necessaria alla reazione veniva verosimilmente ottenuta **soffiando su braci** di carbone poste sia all'interno che all'esterno del crogiolo, per mezzo di canne munite all'estremità di beccucci in ceramica. Esperimenti condotti applicando una simile tecnica hanno dimostrato come fosse possibile, utilizzando come minerale della **malachite**, recuperare **più del 90% di rame metallico**, senza produrne scorie; nel caso invece si fosse partiti da **solfuri**, il rame ottenibile si aggirava a **oltre il 50%**.

Le rare testimonianze giunte sino a noi sembrano suggerire l'impiego, inizialmente, di **tecniche non scorificanti**; esse potevano avvenire all'interno di larghe scodelle di terracotta, i vasi-forno, ben documentati in numerosi siti pre-protostorici dell'area iberica. Un tale procedimento, non producendo praticamente scorie, lascia pochissime tracce archeologiche e potrebbe così spiegare la scarsità di documentazione relativa a processi d'estrazione in contesti preistorici europei.

Le reazioni chimiche con cui avviene l'estrazione del rame sono state espresse da Tylecote. Nel caso dei **carbonati**, in presenza di **sufficiente aria**, il carbone di legna brucia dapprima a monossido di carbonio:

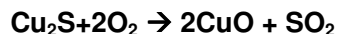


Il carbonato di rame subisce quindi una **riduzione**:



Più complesso è il caso in cui si disponga come minerali di partenza, invece che di ossidi e carbonati, di **solfuri**. D'altronde, essendo questi ultimi **più frequenti e abbondanti**, si dovette presentare ben presto l'esigenza di utilizzarli.

Eliminata mediante opportuno arricchimento la ganga, il minerale era posto ad **arrostire** su un focolare per **convertire il solfuro in ossido**; va ricordato come lo zolfo sia anche un combustibile e quindi, una volta innescata, la reazione proceda fino a che gran parte dello zolfo sia stato rimosso:



Era comunque possibile ottenere direttamente il rame dalla **calcopirite** operando in crogiolo in **condizioni riducenti** alquanto modeste, previo accurato arricchimento, mescolando assieme solfuri e carbonati od ossidi, questi ultimi anche ottenuti per arrostitimento.

Va sottolineato come i processi di estrazione più primitivi consentissero di ottenere un rame abbastanza puro in un tempo breve, circa un paio d'ore. Era però indispensabile disporre di **minerale assai ricco e concentrato**, in modo da eliminare gran parte della ganga.

Nella località israeliana di Timna, nel Sito 39B, sono stati scoperti i resti di una **primitiva fornace calcolitica**; attorno a essa erano delle scorie minutamente frantumate per recuperare le gocce di rame metallico rimastevi inglobate. Tali scorie erano costituite da **silicati ferrosi**, non diversamente da quelle dei periodi più tardi. Non essendo il ferro presente nel minerale locale, esso doveva esservi stato aggiunto intenzionalmente in forma di ossidi come fluidificante, per permettere la rimozione del rame dalla ganga silicea in cui era disperso e aumentare così l'efficienza del processo estrattivo. Le scorie di Timna avevano la struttura porosa caratteristica delle scorie viscosi di fornace e non l'aspetto più fluido di quelle di deflusso.

Sebbene, nel corso dell'estrazione, una parte del rame metallico potesse depositarsi sul fondo della fornace, filtrando per gravità attraverso la massa fluida della scoria fusa, a causa dell'elevata viscosità di questa, ne restava inglobata circa la metà di quello prodotto; esso veniva quindi recuperato mediante operazioni di frantumazione e di cernita. Al termine della fusione bisognava rimuovere manualmente le scorie accumulate nel forno, dopo che questo si era raffreddato.

L'impiego di scorificanti nell'estrazione del rame è attestato anche nella Penisola Italiana almeno dalla fine del III millennio: si ascrive infatti a un momento arcaico della cultura di Polada la sepoltura rinvenuta sopra i resti di un forno fusorio a La Vela di Valbusa (Trento), l'analisi delle cui scorie indica che erano stati trattati dei solfuri cupriferi.

Con l'accrescersi della domanda divenne necessario utilizzare tecniche più evolute, che permettessero sia di sfruttare con maggiore efficienza anche materie prime di non elevata qualità, che di impiegare una minore quantità di combustibile. Vennero così sviluppati dei forni che consentivano la fuoriuscita della scoria allo stato fuso, permettendo di svolgere a **ciclo continuo** le operazioni fusorie. Tali sistemi compaiono in Vicino Oriente dal III millennio a.C.

Nelle Alpi Orientali, sia italiane che austriache, i **forni protostorici** presentano una caratteristica pianta quadrangolare, anziché curvilinea come negli esemplari vicino-orientali; tale forma trova i suoi precedenti già nel tardo Calcolitico, nei forni di Montesei di Senso e di Croz del Cius, entrambi in Valsugana.

Nella tarda età del bronzo sembra venisse praticata in area alpina una complessa catena di operazioni alternate di **arrostimento ed estrazione**, che dai **solfuri cupriferi** portavano alla produzione dapprima di metallina (*matte*) — sostanza contenente, oltre a rame metallico, solfuri di questo e di ferro —, poi di rame nero (*black copper* o *blister*), relativamente impuro (circa il 98% di Cu e il resto residui di zolfo e ferro provenienti dal minerale), che necessitava di ulteriore raffinazione. Questo sofisticato processo ben descritto da autori rinascimentali come Biringuccio e Agricola ed stato segnalato, oltre che in Austria a Kitzbühel (Tirolo) e nell'area di Mitterberg presso Bischofshofen (Salisburghese), anche nel complesso trentino del tardo Bronzo di Acquafredda al Passo di Redebus nonché a Hisarcikkayi, un sito anatolico tardo-romano (fig. 5).

Il rame prodotto veniva commerciato sotto forma di **lingotti**; nell'Europa protostorica essi avevano generalmente la forma di pani discoidali a sezione piano-convessa («panelle»), di peso variabile fra 100 g e 6,8 kg (fig. 6). Tale forma è stata messa in relazione con quella del fondo dei forni fusori, al cui interno il metallo si sarebbe solidificato dopo la rimozione della scoria.

Questo non è tuttavia il caso dei **lingotti** a forma di pelle di bue (*ox-hide ingots*) (fig. 8), diffusi nel bacino del Mediterraneo orientale, ma rinvenuti anche in Occidente, in Sardegna e in Sicilia, dalla caratteristica sagoma quadrangolare, piatta, variabili per dimensioni e peso (fra i 10 e i 37 kg). Essi infatti sono stati prodotti per successiva fusione, forse proprio da panelle; sono composti da **rame nero** (Cu intorno al 98%), con circa l'1% di solfuri e ossidi e piccole percentuali di altri metalli come impurezze. I pani piano-convessi potevano essere ottenuti anche dal riciclaggio di vecchi oggetti, come dimostrano alcuni esempi dal ripostiglio siciliano di Adrano (Catania) (momento avanzato della prima età del ferro), dove resti di manufatti non completamente fusi affiorano sulla superficie superiore del lingotto.

I Romani usarono panelle circolari, di dimensioni e peso generalmente maggiori di quelle comunemente in uso nell'età del bronzo (da 1,5 a 23 kg), talora contrassegnate da marchi, impressi quando il metallo non si era ancora completamente solidificato (fig. 7).

Fig. 8 Portatore con lingotto «ox-hide», da Tebe, tomba di Rekh-mi-Ré (da Penhallurick 1986).



Indagini sulla provenienza del minerale

Una delle principali richieste che vengono rivolte agli studi archeometallurgici è quella di fornire informazioni sulla provenienza della **materia prima** in base alla composizione chimica degli antichi manufatti. Si crede, infatti, a torto, che la composizione elementare dell'oggetto rifletta quella del minerale d'origine.

Purtroppo questa domanda destinata a restare disattesa, tranne in casi del tutto eccezionali, legati a particolari contesti storico-archeologici, come nel caso di reperti della primissima metallurgia, quando si suppone ancora poco esteso il traffico di metallo a fini di riciclo.

Anzitutto lo stesso minerale varia nella composizione a seconda della sua localizzazione all'interno del giacimento, per cause legate sia alla sua genesi primaria, che a fenomeni di alterazione secondaria. Quindi non necessariamente un campione di minerale raccolto oggi, verosimilmente a un livello più profondo o da altre mineralizzazioni della zona, sebbene vicine, fornirà dati analoghi a quelli dei pezzi prelevati in antico.

Inoltre le complesse tecniche necessarie per produrre il rame metallico modificano in maniera sostanziale la composizione originaria.

Già le operazioni di arricchimento possono costituire un primo filtro per alcuni elementi presenti in tracce nel minerale; sono però i processi estrattivi a influenzare in maniera profonda la composizione finale del manufatto.

Nel corso dell'estrazione i metalli accessori del rame — quali argento, arsenico, antimonio, bismuto, cobalto, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, oro, piombo, stagno, torio, uranio, zinco — presentano un comportamento differente fra loro, determinato sia dalla **temperatura del forno**, che **dall'impiego di scorificanti**. Numerosi elementi presenti nel minerale vengono così più o meno totalmente rimossi nel corso di tali operazioni, altri invece passano al metallo, talora arricchiti, o anche se ne aggiungono di nuovi, prima assenti (tab. 2).

Tab. 2 Modifiche della composizione elementare del metallo nel corso dei processi per l'estrazione del rame.

DAL MINERALE CUPRIFERO	<i>— fusione —</i>	AL RAME METALLICO
Si conservano, talora arricchiti		<i>Au, Ag</i>
Tendono a venire incorporati nel metallo		<i>As (in condizioni riducenti), Sb, Ni, Pb, Sn, Bi</i>
Possano pervenire al metallo anche dallo scorificante		<i>Fe, Co, Mn</i>
Diminuiscono quantitativamente all'aumentare della temperatura fusoria		<i>Zn, Bi, Sb, Pb</i>
Possano fissarsi alla scoria		<i>Zn, Cr, U, Th, Hg</i>
Possano fissarsi alla scoria nel passaggio da solfuro a metallina		<i>Mn, Zn</i>
Possano venire perduti nel passaggio da solfuro a metallina		<i>As, Sb, Bi, Pb</i>

Va peraltro sottolineato come il comportamento di alcuni elementi non sia agevolmente prevedibile, poiché connesso a numerose variabili.

Nel caso dei **solfori**, l'arrostimento non produce soltanto l'eliminazione dello zolfo, ma anche di altri elementi come arsenico e antimonio; l'efficacia del processo non è peraltro standardizzabile, essendo legata alla variabilità dei fattori atmosferici.

L'**alligazione** può contribuire pur essa a complicare il quadro, giacché con l'alligante possono venire veicolati altri elementi accessori.

Anche la **ricottura** utilizzata nel corso della lavorazione del manufatto può produrre modifiche composizionali, inducendo la diminuzione di elementi volatili come arsenico o fosforo.

Da quanto detto si ricava come le indagini elementari siano scarsamente efficaci nella soluzione di problematiche connesse con l'origine delle materie prime, mentre sono invece preziose per studiare, ad esempio, la composizione della lega o i metodi di produzione. E' stato infatti osservato come la presenza di ferro nelle leghe di rame costituisca un indicatore delle tecniche estrattive utilizzate: tenori bassi di Fe, intorno allo 0,05%, sono infatti indizio di una tecnologia primitiva, poco efficiente, dove con un accurato arricchimento si tentava di sopperire alle **condizioni poco riducenti** del forno. Percentuali di Fe più elevate attestano invece processi più evoluti (temperatura più elevata, ambiente maggiormente riducente), che comportavano l'uso di scorificanti. Il rame formatosi sotto la scoria presentava valori di ferro anche di alcuni punti percentuali; per poterlo lavorare era quindi necessario raffinarlo in crogiolo, per cui gli oggetti finiti hanno circa lo 0,3% di Fe.

Ben maggiori prospettive per le ricerche sulla provenienza offre invece lo studio delle variazioni nella composizione isotopica del piombo; esso si fonda sul principio che modifiche anche lievi di tale composizione siano geologicamente significative, poiché espressione della genesi del giacimento. Il piombo esiste sotto diverse forme isotopiche: il rapporto reciproco fra gli isotopi ^{208}Pb , ^{207}Pb , ^{206}Pb e ^{204}Pb può venire assunto come caratteristico di un deposito proprio perché legato ai suoi complessi meccanismi di formazione; tutti i minerali di tale deposito avranno quindi questa impronta.

La composizione isotopica inoltre, a differenza di quella chimica, non viene influenzata dai processi fusori, per cui quella dell'oggetto finito riflette quella del minerale originario, a meno che in esso sia stato mescolato rame di diversa origine, come nel riciclaggio. Confrontando le misure ottenute sui reperti con quelle ricavate da un esteso campionamento geologico che tenga conto della storia estrattiva della regione è quindi possibile disporre di dati significativi.

Giacché il piombo è frequentemente associato con rame, argento, ferro e zinco, questa tecnica può essere vantaggiosamente utilizzata sui manufatti prodotti con tali metalli, oltre che sulle scorie.

Il punto più delicato e dibattuto sembra al momento il trattamento statistico dei dati per la caratterizzazione di un giacimento, premessa indispensabile per l'assegnazione di un gruppo di materiali a un deposito minerario piuttosto che a un altro. Già da alcuni anni è in corso di pubblicazione sulla rivista «Archaeometry» un corpus di dati radioisotopici relativi ai vari giacimenti del Mediterraneo.