

Vocabolario settoriale campo MTC scheda RA
a cura di F. Avilia

METALLI E LEGHE METALLICHE

LEGHE ANTICHE

RAME: rame – stagno = bronzo

rame – zinco = ottone

rame – antimonio

rame – arsenico = rame arsenicale (duro)

rame – oro – argento = bronzo corinzio; shakudo

rame – piombo = sostituisce lo stagno in percentuale nella lega per il bronzo

rame – fosforo

rame – magnesio

rame – alluminio = bronzo d'alluminio

rame – nichel e zinco = argentana o packfong

ARGENTO: argento – rame

argento – oro = elettro

argento – rame – oro = bronzo corinzio; shakudo

ORO: oro – argento = elettro

oro – rame - argento

oro – mercurio = amalgama nelle dorature

oro – ferro = oro rosa egizio

PIOMBO: piombo – stagno = leghe per saldature; peltri antichi

piombo – rame = sostituisce lo stagno in percentuale nella lega per il bronzo

FERRO: ferro – carbonio = ghise ($C > 1,78\%$); acciai ($C < 1,78\%$) si dividono in: dolci (ferro dolce o battuto, $C < 0,3\%$), duri ($C 0,50-0,75\%$), extraduri ($C 0,75-0,90\%$)
ferro- nichel = ferro meteorico o da minerali

STAGNO: stagno – rame = bronzo

stagno – piombo = leghe per saldature; peltri antichi

LEGHE MODERNE (utilizzate nelle fonderie Armstrong di Pozzuoli, dati ricavati dall'archivio Gennaro Avilia, capo della suddetta fonderia dal 27 marzo del 1925)

Queste leghe sono il risultato delle sperimentazioni che si effettuavano in fonderia sin dagli inizi del '900, finalizzate alla scoperta della lega più efficiente nella realizzazione di armi in particolare cannoni navali in cui l'officina Armstrong era rinomata e specializzata. Sempre in detta officina si effettuavano le fusioni per lo scultore napoletano Vincenzo Gemito.

Le leghe sono classificate secondo un ordine tratto dall'archivio e come tale riportato; per ogni lega (per lo più a base di rame) si specificheranno le componenti, le loro percentuali per chilo e il suo utilizzo.

Si citeranno solo quelle più importanti.

ALLOY (*standard mixtured*) (Bronzo Elswick)

Lega A1: rame (55.230) – zinco (39.759) – copper manganese (al 25% di purezza) (4.270) – stagno (0.500) – alluminio (0.250)

“Getti ordinari, barre e getti compressi a stampo. Si usa per getti ordinari come supporti per congegni di brandeggio ed elevazione, ed altri piccoli getti. Sostituirà in avvenire il bronzo da cannone comune...”

Lega A3: rame (60.490) – zinco (32.000) – copper manganese (al 25% di purezza) (4.270) – alluminio (3.240)

“Getti di bronzo ad alto limite di elasticità. Si può usare per pezzi non soggetti a scosse ovvero per quelli che avendo grande massa non presentano probabilità di rompersi per sforzo di flessione; infine per quei pezzi per i quali si richiede una superficie dura.”

Definita *“lega nuova senza matterozze...”* presentava un'alta resistenza alla rottura da

carico e all'allungamento. I valori potevano essere variati con l'immissione o meno di "lega vergine".

Altre due leghe utilizzate per i cannoni sono la B1 e la B2 ove però vi era utilizzato l'ottone con percentuali del 5.500 per ambedue, con varianti nelle percentuali di rame e stagno.

ARGENTO (Simbolo Ag)

Peso atomico 107.93; punto di fusione 960,5 C°; peso specifico lavorato 10.41; peso specifico fuso 10.47.

L'argento nativo è raro e si rinviene in piccole quantità (laminette o filamenti) in giacimenti argentiferi nelle zone di cementazione immediatamente al di sotto del cappellaccio di ossidazione. In questa zona si depositano le soluzioni delle zone soprastante. Proprio per la tipologia di localizzazione del minerale nativo era difficile estrarlo con le metodologie primitive.

ATTESTAZIONI DI ATTIVITA' ESTRATTIVE ANTICHE

- EUROPA: Sardegna (Sarrabus); Sassonia (Freiberg ed Erzgebirge); Atene (Laurion) dal miceneo alla fine del II a.C.;
- AMERICHE: giacimenti abbondanti soprattutto in Cile e Messico ove era impiegato già dalle civiltà precolombiane.

In antico l'argento oltre che dal rame nativo si ricavava anche da altri minerali nei quali è contenuto:

- Clorargite (o cerargirite, AgCl)
- Argentite (Ag₂S)
- Pirargirite (Ag₃SbS₃)
- Proustite (Ag₃AsS₃)
- Stefanite (Ag₅SbS₄)

e dai quali si poteva ottenere argento (nei campioni più ricchi) senza la coppellazione.

Altri minerali argentiferi sono:

- Cerussite (PbCO₃)
- Anglesite (PbSO₄)
- Galena (PbS) con valori dallo 0,05 allo 0,7% ed è uno dei principali minerali argentiferi.

Questi minerali hanno bisogno di un primo processo di raffinazione in quanto piombiferi e poi della coppellazione.

L'argento si ricavava anche dalle jarositi (estratto dai romani a Rio Tinto – Huelva) che contengono solo una bassa percentuale di argento che si raffina con il piombo, a cui si lega, e poi viene coppellato. Anche nella pirite (FeSe), calcopirite (CuFeS₂) e arsenopirite (FeAsS) e anche nell'elettro (lega naturale di oro e argento).

L'ARGENTO NELL'ANTICHITA': PRIMI UTILIZZI

- VICINO ORIENTE: Mesopotamia (Uruk-Warka); Anatolia (Beycesultan, Alishar Hüyük, Korucutepe, Arslantepe) tardo IV mill. a.C.; Ur III mill. I metà; siti di Tirat Zvi e Tell Farah III mill. I metà; Biblos 3.500 a.C. (sepolcreto eneolitico); Egitto predinastico (3.600 a.C.) Naqada.

Si sottolinea che nel Vicino Oriente intorno alla II metà del IV mill. vi è la concomitante diffusione dell'argento e del piombo, rapportabile ai processi di coppellazione. A ciò si affianca anche un aumento della complessità della lavorazione del rame.

- EUROPA: Moravia (Katouc presso Štramberk) placchetta databile alla prima metà del IV mill.; aree attorno al Mar Nero (Georgia, Caucaso, Ucraina, Romania, Bulgaria) reperti datati alla I metà del III mill.; Spagna fine III mill.: provincia Cuenca de Vera, siti di El Argar, El Oficio e Herrerias.
- GRECIA: Creta, Cicladi manufatti datati alla seconda metà del III mill. Alla stessa datazione si hanno manufatti da Leucade.
- MONTENEGRO: Mala Gruda (presso Kotor) II metà del III mill.
- ITALIA: Villafranca Veronese, Remedello, reperti datati all'Eneolitico. Gaudio (necropoli) leggermente più tarda; Sardegna, ricca di giacimenti piombiferi ad alto tenore di argento: Cagliari (Su Caddu presso Selargius); tomba B "Su Nuraxeddu" di Pranu Mutteddu (Goni, Cagliari); eneolitico sardo: Serra Cannigas (Villagrecia, Cagliari); Sa Corte Noa (Laconi, Nuoro); Filigosa (Macomer, Nuoro). I romani importano argento dall'Iberia, utilizzato nella loro monetazione con il rame: nella I metà del II a.C. il rapporto argento rame era di 12-1, successivamente divenne 12-15, dal III d.C. si sostituì con rame argentato.

METODI DI ESTRAZIONE

La principale fonte dell'argento in antico erano le galene (PbS) e i sistemi di estrazione si dividevano in due stadi:

-Frantumazione e fusione del minerale (separato dalla ganga) fra i 950 e i 1200° (in atmosfera riducente) in modo da far passare tutto l'argento nel piombo.

-Si passava poi alla coppellazione (dalla coppella, il crogiolo utilizzato in età medievale, ma attestato anche prima, per effettuare saggi di verifica sul sedimento della vena argentifer) ove si rifonde il metallo ottenuto in presenza di aria forzata, ad una temperatura di ca. 1000°. Ciò comportava la separazione dell'argento dal piombo per ossidazione, ottenendo il litargirio (PbO), che assorbiva gli ossidi di altri metalli, tranne l'argento e l'oro. L'argento ottenuto per coppellazione ha un valore di piombo fra lo 0,05 e il 2,5%.

FERRO (simbolo Fe)

Peso specifico ferro ordinario 7,78; fuso 7,20; temperatura di fusione 1500° C.

Presenta un colore grigio lucente; esposto all'aria umida si ricopre di ruggine (carbonato basico idrato), che non aderendo alla superficie si sgretola consentendo così al processo corrosivo di penetrare sempre più all'interno. Arroventato si ossida. E' tenace, flessibile, elastico, magnetico. E' solubile negli acidi cloridrico e solforico.

Il ferro nativo è molto raro e lo si ritrova come riduzione dei carbonati di sali di ferro, nella Groenlandia occidentale, nell'isola Disko, a Bühl, presso Kassel in Germania e a Chotzen in Boemia. Più frequente è il ferro meteorico, come le sideriti composte esclusivamente da leghe di ferro-nichel.

Più diffusi sono i minerali ferrosi: come la magnetite, l'ematite, la limonite, la goethite, la siderite, la pirite. Non tutti sono attualmente utilizzati dato il loro basso tenore di ferro che renderebbe costoso il processo di estrazione. Limitazioni che invece non erano significative in antico, quando anche piccole masse ferrifere erano importanti per la siderurgia dell'epoca.

GIACIMENTI NEL MONDO ANTICO

Italia: Isola d'Elba (Populonia) soppiantata in età imperiale dalla produzione iberica;

Spagna: Centrale, Monti Iberici (Bilbilis);

Egeo: isole e Asia minore;

Turchia: Tauro, Cilicia (miniere di Amaxia);

Etiopia: Meroë;

Francia: Lugdunum (Lione) età romana;

Britannia: Ariconium, età romana;

Germania: Carinzia settentrionale (miniére del Norico).

LA LAVORAZIONE

In Africa centrale sin dal I millennio a.C. si elaborarono sistemi di estrazione del ferro avvalendosi di filoni superficiali di ematite. Tali sistemi siderurgici, utilizzati sin al XX sec., si basavano su forni a tino in argilla costruiti su ampie buche e con vari ugelli disposti radicalmente alla base. Tali forni potevano raggiungere temperature fra i 1150° e i 1540° C.

Nel Mediterraneo si dovette partire probabilmente da questo tipo di lavorazione, tuttavia ciò che si otteneva non era metallo fuso ma una massa (blumo) dalla struttura a spugna composta da metallo con carbone e scoria (quest'ultima composta da ossido ferroso e silicato di ferro: fayalite Fe_2SiO_4).

Le scorie venivano eliminate meccanicamente per martellatura a caldo ma anche così il metallo che si otteneva non era ferro puro ma ricco di microscorie che si doveva di nuovo lavorare a elevata temperatura (calor rosso) e martellatura. A questo stadio della lavorazione il ferro è dal punto di vista della trazione e della resistenza, inferiore al bronzo: per renderlo superiore bisognava "carburarlo" cioè lavorarlo a stretto contatto con il carbone nella forgia. Qui avveniva un processo di diffusione del carbonio dal carbone incandescente al metallo in modo da mutare la superficie dell'oggetto in acciaio.

La lega ferro-carbonio secondo le quantità di quest'ultimo assumeva caratteristiche differenti avendo:

- acciai: leghe con carbonio inferiore al 1,78%
- ghise: leghe con carbonio sino al 5%; più dura e fragile rispetto all'acciaio.

Poiché la quantità di carbonio influisce sulla durezza dell'acciaio si avranno:

- acciai extra dolci: contenuto di carbonio inferiore allo 0,15%
- dolci: fra 0,15 e 0,30%
- extra duri: fra 0,90 e 1,70%

In pratica un ferro con basso tenore di carbonio è tenero e malleabile (ferro dolce o ferro battuto) mentre fra lo 0,2 e lo 0,3% ha una resistenza comparabile al bronzo non lavorato.

Sull'utilizzo degli acciai in età contemporanea e sulle loro composizioni, rimane emblematico durante il periodo fascista (in pieno periodo autarchico) fra il 1934 e il 1938, l'utilizzo di acciai senza carbone e ghisa, impiegando invece magnetite (dalle sabbie del Lazio) e lignite (dalle miniere della Sardegna). I risultati furono incerti e purtroppo le conseguenze si risentirono sulle navi e negli arsenali durante il periodo bellico.

Per rendere ancora più duro il ferro acciaioso si sviluppò la tecnica della tempra: immergendo l'oggetto ancora incandescente in un liquido onde il raffreddamento repentino ne aumentava la

durezza e la resistenza meccanica. Per evitare però un eccessivo indurimento e quindi fragilità dell'oggetto che la tempra poteva comportare si procedeva al rinvenimento, cioè ad un moderato riscaldamento del pezzo.

Tutte le successive lavorazioni dell'oggetto avvenivano sempre a caldo e per martellatura.

IL FERRO NELL'ANTICHITÀ

Iraq: primi strumenti in ferro, tomba A di Samarra (6.000 a.C.);

Iran: tre globetti da Tepe Sialk (5.500-5.000 a.C.);

Egitto: alcune perline ed un anello dai sepolcri di El Gerzeh e di Armant (3.500 a.C.);

Turchia: Alaca Hüyük (seconda metà III millennio a.C.) tombe con oggetti in ferro sia meteorico che da giacimenti, dai livelli ittiti dello stesso sito (seconda metà del II mill.) armi in ferro;

Cipro: sepolcreto di Lapitos (prima metà del II millennio);

Grecia: Tebe (Tardo Elladico) punta di trapano per orefice;

Italia: Sicilia (Bronzo medio) anellino da Castelluccio, Sardegna e Sicilia (Bronzo finale).

Dal IX all'VIII sec. a.C. il ferro si diffuse ampiamente nel mondo occidentale tramite la colonizzazione, divenendo e affermandosi come principale materiale di uso comune.

ORO (Simbolo Au)

Peso specifico oro puro 19.260; oro fuso 19.258; punto di fusione 1.064 °.

Si distingue per il colore giallo e lucente, malleabile e duttile, buon conduttore di calore e di elettricità. Non si ossida e non viene attaccato dagli acidi ad esclusione dell'acqua regia (3 parti di acido cloridrico, 1 di acido nitrico).

L'oro si rinviene in due tipi di giacimenti:

Epigenetico o primario ove il deposito aurifero si è formato dopo la roccia che lo contiene, in genere per precipitazione da fluidi idrotermali;

Sigenetico o secondario ove il filone aurifero si è formato in contemporanea ai sedimenti che lo contengono. E' questo il filone più comune e dal quale per agenti meteorici avviene la dispersione dell'oro in corsi d'acqua dai quali viene estratto sotto forma di pepite o pagliuzze.

GIACIMENTI DEL MONDO ANTICO

- Penisola Iberica: Portogallo centrale e settentrionale; Spagna nelle regioni del N-W, in quelle

- centro-occidentali e area mediterranea; lungo il corso dei fiumi; Tartessos (la biblica Tarshish) posta alla foce del Guadalquivir, sarebbe il centro ove re Salomone si approvvigionava nel X sec. a.C. ca. di metalli preziosi tra cui l'oro.
- Francia: Massiccio Armorico; Massiccio Centrale (settore nord occidentale e meridionale); Pirenei sud occidentali: i Galli sfruttavano già i giacimenti della Francia centrale e dei Pirenei. Circa 200 miniere d'oro, risalenti al periodo di La Tene, si sono rinvenute nella regione del Limosino.
 - Isole Britanniche: Galles (già dall'epoca romana); Cornovaglia, Devon e Cumberland per l'Inghilterra; per la Scozia si ha nel Sutherland e Perthshire; Irlanda nel Wicklow.
 - Belgio: parte orientale del paese (già dall'età celtica e romana).
 - Germania: parte centro meridionale; depositi sedimentari dall'Alta valle del Reno che probabilmente traggono origine dai depositi primari delle Alpi Svizzere (forse già utilizzati nella Preistoria); nell'antichità furono utilizzati i giacimenti lungo i fiumi (Isar, Danubio, Inn).
 - Svizzera: vari giacimenti si hanno sui Grigioni, nel Vallese, Canton Ticino, Canton Ginevrino; i più ricchi si hanno nell'Altopiano svizzero, corso del Reno e altri fiumi.
 - Austria: Alti Tauri (già dall'età Preistorica); Tirolo, Stiria, Carinzia e Salisburghese (depositi primari); nei fiumi (depositi secondari).
 - Repubblica Ceca: Boemia; fiume Otava (sin dall'antichità – età del ferro); Sudeti versante orientale (Polonia).
 - Slovacchia: settore centrale e orientale.
 - Romania: distretti di Baia Mare, Maramures, Monti Apuseni (sfruttato dai Romani ma probabilmente già in precedenza); Carpazi Meridionali.
 - Ungheria: depositi secondari lungo il corso meridionale del Danubio (forse noti già dall'età del bronzo).
 - Bulgaria: montagne a NW di Sofia; depositi alluvionali si trovano nei fiumi della metà occidentale del paese e noti da epoche remote; altri si trovano presso le frontiere occidentali.
 - Russia: Urali; Altai.
 - Iran: parte occidentale.
 - ex Jugoslavia: sud della Serbia e in Bosnia; depositi alluvionali nel fiume Pek.
 - Grecia: Macedonia (già in antico); Salonicco; costa di Missolungi; Tracia, Attica (Laurion), Eubea meridionale, Cicladi (già in antico).
 - Italia: Alpi occidentali, centrali e centro occidentali; Appennino Ligure. Depositari secondari si hanno: Po, Dora Riparia e Baltea, Ticino, Tanaro, Adda e altri. I Salassi coltivavano oro presso la Dora Baltea mentre Plinio e Strabone ricordano estrazioni aurifere presso Vercellae e Victimulae.

Ad epoca romana (II-III d.C.) si datano i resti di impianti per l'estrazione dell'oro in località "la Bessa" a sud di Biella.

LA LAVORAZIONE

L'oro si trova spesso in lega con l'argento (elettro), quindi vennero elaborate tecniche nei vari periodi storici per poter separare i due metalli. Questo accadde in particolare con la coniazione delle monete.

Una prima coniazione di monete si ha in area ionico-asiatica, con monete di elettro, datate alla fine del VII sec. a.C. Forse fu con Creso (metà VI a.C.) che si ebbe la prima organizzazione monetaria basata sulla coniazione in oro e argento, proprio per evitare oscillazioni di valore e contraffazioni che invece potevano accadere con l'elettro. Non a caso a Sardi si rinvenne un impianto per la raffinazione dell'oro mediante la cementazione, databile al VI a.C.

L'oro (in pagliuzze con monete d'elettro rifuse) veniva posto in un vaso di terracotta alternato con strati di cosiddetto "cemento": sale comune (cloruro di sodio) e materiale siliceo (mattone polverizzato ad esempio) e posto in una fornace quadrata. Per vari giorni era sottoposto a temperatura elevata, ma non tale da far fondere l'oro: ci voleva lungo tempo affinché tutto l'argento si trasformasse in cloruro d'argento e passasse dal metallo al "cemento". Infine l'oro, lavato veniva fuso mentre l'argento lo si recuperava per coppellazione (vedi Argento).

Nel procedimento erano essenziali i sali, l'aria garantita dalla porosità del vaso, l'idrogeno (fornito dal vapore acqueo che si otteneva dall'impiego di legno come combustibile) e l'alluminio o silice (polvere di mattoni) al fine di consentire l'assorbimento dei sali d'argento prodotti.

Il procedimento era ancora in uso in epoca rinascimentale. Agricola (*De Re Metallica*, 1556) ne descrive anche un altro ove il cemento oltre che dalla polvere di mattone era composto anche da "vitriol" (per lo più solfato di ferro) e salnitro (nitrato di potassio). Ma già Plinio e Diodoro Siculo davano ricette per la 'cementazione'. Il primo consiglia di scaldare l'oro in un crogiuolo fittile con sale e calcopiriti, poi con sale e allume (simile alla ricetta fornita dal papiro X di Leida). Diodoro invece (rifacendosi al geografo greco Agatarchide di Cnido, II a.C.) riporta un metodo egizio che consisteva nel riporre nella fornace per 5 gg. e notti un vaso di terracotta sigillato con all'interno oro, piombo, sale, stagno e crusca d'orzo. Sistema efficace in quanto rifattosi in tempi recenti in alcuni esperimenti a dato oro puro oltre al 93%.

Un sistema per migliorare qualitativamente la lavorazione dell'oro, abbassare il suo punto di fusione ed aumentare i suoi pregi estetici era l'alligazione con argento e rame. Tale combinazione poteva essere sia binaria (Au+Ag o Au+Cu) oppure ternaria (Au+Ag+Cu). Nel primo caso la lega aveva un colore biancastro, nel secondo caso tendente al rosso; nella lega ternaria dipende invece

dalle quantità di ciascun componente. Bisogna sottolineare che la maggiore o minore presenza di rame, ben più dell'argento, contribuisce ad abbassare il punto di fusione dell'oro (5% di rame porta dai 1063° dell'oro puro a 1000°; il 20% sino a 890°). Non solo. Ma incide anche sulla duttilità e malleabilità dell'oro. Gioielli con alto contenuto di rame erano diffusi nell'Egitto del Nuovo Regno come anche nell'oro dell'Irlanda preistorica. Dal I millennio a.C. invece nell'oro mediterraneo l'uso della lega rame-oro diviene più raro se non per controbilanciare il chiarore dell'elettro. L'argento invece, in lega con l'oro, è presente sino all'età ellenistica e decadde in epoca romana ove prevalse l'uso dell'oro puro. Le leghe tornarono in uso nell'Europa medievale e nell'Oriente islamico.

L'ORO NELL'ANTICHITA'

Bulgaria: sepolcreto di Varna (Eneolitico antico metà V mill. a.C.) oggetti in oro (oltre 3.000) fusi in lamine sottili e poi martellato e rifinito con sabbia e cenere di legno;

Vicino Oriente: prima metà del III millennio a.C., oro martellato: Levante, Mesopotamia, Egitto, in quest'ultimo si ha oro con rame, quindi era già nota la tecnica dell'alligazione (periodo pre e protodinastico); Ur (periodo protodinastico);

Montenegro: Mala Gruda (III mill. a.C. inizi) armi in oro;

Egeo: nel III millennio si hanno scarse attestazioni a eccezione di alcuni corredi da Levante e Creta; Micene, Tirino, Vaphià, Dendra (età del bronzo);

Cecoslovacchia e Isole Britanniche: oggetti databili al 2.600-2.100 a.C.;

Francia e Penisola Iberica: Neolitico finale e Calcolitico antico soprattutto nel Mezzogiorno per la Francia; per la seconda in contesti della II metà del III mill. concentrati nel sud e s-w, pochi i reperti datati al periodo del bicchiere campaniforme;

Turchia: Troia, corredi databili fra la metà e il terzo quarto del III millennio;

Italia; Vivara (Bronzo Medio Iniziale); VII sec. a.C. (I metà) Etruria, Campania e Lazio ricca produzione da parte dell'aristocrazia indigena. In Etruria si sviluppa la granulazione;

Asia Minore; Lidia (VII a.C.) prima coniazione di monete.

PIOMBO (simbolo Pb)

Peso specifico fuso 11,6; punto di fusione 332°-334°; temperatura di ebollizione 1040°.

Il piombo metallico è di colore grigio-bluastro; poco tenace, molto malleabile: fragile vicino al suo punto di fusione. Mediocre conduttore di calore e di elettricità. E' attaccato dall'acido nitrico. I suoi composti sono velenosi.

Esposto all'azione dell'aria umida si ossida rapidamente ma solo in superficie. Resiste meno all'azione corrosiva dell'acqua distillata che non a quella potabile o di fiume e ciò perché, sotto l'azione dell'acqua e dell'ossigeno atmosferico, si forma idrato di piombo abbastanza solubile nell'acqua, mentre nell'acqua impura, contenente ioni dell'acido solforico e dell'acido carbonico, si formano i sali di piombo di detti acidi i quali a loro volta essendo insolubili, formano uno strato aderente al piombo.

Il piombo allo stato nativo è estremamente raro (si segnala solo in alcune miniere della Svezia e degli Stati Uniti). Si trova assai diffuso in natura, specialmente allo stato di solfuro o galena (PbS); lo si trova anche allo stato di carbonato e di solfato. Tuttavia pur essendo semplice la procedura per ottenere piombo dalla galena, ciò che si ottiene è un prodotto abbastanza impuro. Per ottenere un buon prodotto si aggiungono fluidificanti che eliminano i resti della ganga; le temperature si aggirano tra i 1100°-1200°.

GIACIMENTI NEL MONDO ANTICO

Europa: Italia (Sardegna), Spagna (Linares), Francia (Cevennes); Grecia (isola di Antiparo).

LA LAVORAZIONE

Uno dei primi resti di un sistema per estrazione del piombo si è rinvenuto in Gran Bretagna a Scarcliffe Park, in una villa tardoromana. Consisteva in una semplice recinzione di pietre rettangolare pavimentata e aperta sulla fronte, larga e profonda una ventina di centimetri. La struttura forse conteneva un fuoco di legna e il piombo fuso colava attraverso l'apertura sul davanti. Agricola, in età rinascimentale, descrive il metodo di produzione in cui si collocava direttamente il minerale piombifero frantumato in blocchi sul fuoco.

IL PIOMBO NELL'ANTICHITA'

Anatolia: Çatal Hüyük, in contesti databili intorno al 7.200-6.500 a.C.;

Vicino Oriente: Iraq (Yarim Tepe, Arpachiyeq), Iran (Anau, Hissar III), Libano (Biblos), Egitto (Naqada): databili fra il VI e il IV mill. a.C.;

Egeo: Cicladi: III mill. a.C.;

Anatolia: Troia II g (Bronzo antico);

Italia: Sardegna, in contesti eneolitici; Vivara (Bronzo medio); Lazio (Casale Nuovo) Bronzo tardo;

Portogallo: tarda età del bronzo;

Britannia: età romana (manufatti in peltro: lega bassofondente di piombo e stagno);

Spagna: età romana.

RAME (simbolo Cu)

Proprietà fisiche – Metallo rossastro della densità di 8,8 (8,790 alla fusione) e con un punto di fusione verso i 1100°. Punto di ebollizione 2100°.

Metallo duttile, malleabile, tenace e buon conduttore del calore e dell'elettricità. Tuttavia piccole quantità di impurità esercitano una grandissima influenza sulla sua composizione finale e sulle sue proprietà. Colato troppo caldo produce delle soffiature. Per colarlo in lingotti e per evitare le soffiature si aggiunge, prima di colarlo, il 2% di magnesio metallico. Il magnesio (densità 1,75; punto di fusione 759°-800°) di tutti i metalli è quello che ha più affinità con l'ossigeno. E' quindi il miglior riducente o diossidante nella fusione delle diverse leghe contenenti rame, nichel, stagno, alluminio, zinco, piombo, ecc.

Per uso fonderia con il rame conviene il magnesio in forma di bacchette. Questo agisce non solo quale riducente dell'ossidulo di rame, ma forma altresì dei composti con le impurità contenute nel rame stesso, che restano così eliminate sotto forma di scorie con miglioramento delle qualità meccaniche del metallo (resistenza, allungamento).

Già in antico si comprese che per migliorare le qualità del rame bisognava aggiungere degli elementi quali l'arsenico e il fosforo che non potevano essere isolati nell'antichità, è probabile quindi che si adoperassero minerali arsenicati (solfuro o arseniuro) o fosforosi.

Proprietà chimiche: l'umidità dell'aria forma una patina superficiale, chiamata di bronzo antico, di idrocarbonato di rame. Gli acidi accelerano l'alterazione del rame: l'acido solforico lo attacca a caldo; l'acido nitrico lo attacca a freddo. L'ammoniaca determina l'ossidazione del rame al contatto dell'aria. Se il rame viene riscaldato al contatto dell'aria, prima si ricopre di uno strato rosso, poi nero. Molto plastico il rame si incrudisce rapidamente alla martellatura, divenendo fragile (incrudimento), per cui deve essere ricotto, cioè riscaldato al fine di ottenere la ricristallizzazione e la riduzione delle tensioni interne al materiale, annullando gli effetti dell'incrudimento.

MINIERE:

Giacimenti attuali:

Nord America (Lago Superiore), Spagna (Huelva), Germania (Mannsfeld), Austria (Mitterberg), Urali (Perm), Turchia (Ergani Maden), Italia (Toscana).

Giacimenti antichi:

- Penisola Iberica (Huelva, Asturie), età pre-protostorica; Sotiel Coronada, Turdetania (Huelva) età romana.
- Baleari (Maiorca e Minorca) età pre-protostorica.
- Sardegna (Nurra, Inglesiente, Arburese, Fluminese, Sarrabus, Sulcis, Gerrei, Barbagia) età nuragica; Barbagia di Seulò, presso Gadoni (Nuoro) indizi per l'età protostorica.
- Penisola italiana: Alpi orientali (mineralizzazioni cuprifere o calcopirite) per l'età Eneolitica – età del Bronzo; Liguria (miniera di Libiola presso Sestri Levante) II metà IV millennio a.C.; Toscana (Colline Metallifere: miniere di Pontieri, Campiglia e Massa Marittima) dall'età pre-protostorica, etrusca, medievale e moderna); Appennino Tosco-Emiliano; Calabria (Acquaformosa – Cosenza, Temesa omerica?); Sicilia (Monti Peloritani) età protostorica.
- Francia (Provenza, Vosgi, Lionese, Massiccio Centrale, Armonica, Pirenei) coltivazioni plurimillennarie. In particolare nei Pirenei (Seronais – Ariège) età romana sia a cielo aperto che in galleria; (Linguadoca) dal Calcolitico all'età gallo-romana.
- Isole Britanniche (Cornovaglia) con filoni di rame e stagno associati; (Devonshire, Derby, Cumberland, Galles) età pre-protostorica sia a cielo aperto che in galleria.
- Irlanda (Cork) pozzi di età preistorica.
- Germania (Turingia, Sassonia, Baden-Württemberg, Assia, Baviera, Franconia, Vestfalia, Renania) quest'ultima già scavata dai romani.
- Austria (Alpi Tirolesi, Salisburghese, Stiria, Carinzia) nel Salisburghese sono note dall'età del bronzo.
- Europa centro-orientale (Slesia, Banato); (Balcani) sin dal V mill. a.C.; (Serbia) dalla fine del Neolitico Balcanico; (Bulgaria meridionale e sud-orientale) leggermente successivi.
- Egeo (Continentali costituiti da solfuri per lo più calcopirite; Cicladi e Creta da ossidi e carbonati).
- Cipro (minerale primario da pirite, calcopirite e sfalerite; secondario da solfuri, ossidi e solfati, rari sono carbonati e silicati) dal Calcolitico, età del bronzo, fenici, Tolemaico, romano.
- Turchia (area Nord-Orientale) da questa zona e precisamente dalla miniera di Ergani Maden sembra provenire il rame per i primi strumenti prodotti dall'uomo con questo minerale.
- Caucaso (Georgia, Armenia, Azerbaigian).
- Iran (Veshnoveh) sin dal 3.200 a.C.
- Sinai sin dal IV mill. a.C. alla tarda età romana.

STORIA DELL'ATTIVITA' ESTRATTIVA DEL RAME

La prima comparsa di oggetti in rame si ha fra l'8.400 e il 7.500 a.C. (Neolitico aceramico) dal sito di Çayönü Tepesi (Anatolia sud-orientale). Fatti con rame nativo mostrano segni di ricristallizzazione (ricottura) il che porta a supporre che l'artigiano avesse intuito che il processo di ricottura ovviasse alla fratturazione del pezzo sottoposto alla martellatura.

Altri principali siti ove è attestata una produzione di oggetti in rame:

- Mesopotamia: (Tell Magzaliya) oggetti databili fra l'8.000 e il 7.500 a.C. con rame proveniente probabilmente dall'Iran centrale.
- Anatolia: (Çatal Hüyük, VI strato) frammento vetrificato di scoria di lavorazione datato al 6.500 a.C.
- Europa Orientale: Romania (Balomir) oggetti databili al Neolitico antico locale (5.900-5.300 a.C.); Ungheria (Vidra) IV mill. a.C. (facies Karanovo III-IV, 5.300-4.700 a.C.) e Calcolitico.
- Egeo: (Dikili Tash, Sitagroi) fine IV mill. a.C.
- Italia: i primi esempi si hanno nella I metà del IV mill. a.C., Eneolitico (Italia settentrionale, centrale, meridionale e insulare); Toscana: sfruttamento di giacimenti (Eneolitico-prima età del Bronzo).
- Francia: prime attestazioni al Neolitico recente (II metà del IV mill. 3.500/3.200 a.C.); dal Neolitico finale (3.200-2.900 a.C.) si sviluppa pienamente la metallurgia.
- Spagna: Neolitico (El Garcel – Antas in provincia di Almeria).

Nel corso del III mill. si diffonde ovunque l'uso del rame arsenicate (rame + arsenico in proporzioni variabili) che permette una più fluida colata e di realizzare, tramite la martellatura a freddo, oggetti più duri.

In età classica venne adoperato soprattutto per la monetazione in Atene di fine V a.C. (per i monetali bassi) che in età imperiale romana (asse e quadrante). In generale il rame non ebbe un grande utilizzo se non in lega per il bronzo. Allo stato naturale venne utilizzato in impieghi particolari come i chiodi: in particolare nella carpenteria navale, anche per altri elementi (anche in epoca moderna e contemporanea) per la sua buona resistenza all'erosione della salsedine marina.

In età moderna e contemporanea oltre che in associazione con altri elementi il rame verrà utilizzato anche puro o con piccoli percentuali di altri elementi per la sua buona conduzione del calore (resistenze) e dell'elettricità (impianti elettrici): da questo punto di vista supera tutti i metalli usuali ed è perciò adoperato in grandissime quantità nell'elettrotecnica.

ESTRAZIONE E LAVORAZIONE

Il rame nativo esiste in piccole quantità e sotto questa forma venne utilizzato in antico. I minerali si rinvenivano sotto forma di ossidi, solfuri o carbonati.

La lavorazione avveniva con crogioli d'argilla immersi in carbone di legna e l'estrazione del minerale di rame poteva ottenersi da:

- Malachite 90% di rame metallico
- Solfuri 50% di rame metallico

L'uso di vasi forno, larghe scodelle di terracotta ben documentati in area iberica in siti pre-protostorici, permetteva l'impiego di tecniche non scorificanti.

Nel III mill. Nel Vicino Oriente si adoperarono forni più evolute che facevano fuoriuscire le scorie, grazie anche all'uso di sostanze fluidificanti (o scorificanti).

Sostanze (come arsenico e fosforo) che ebbero un largo uso durante l'Età del Bronzo attraverso una serie di complesse fasi di arrostitimento del minerale ed estrazione (fusione o riduzione), che dai solfuri cupriferi portavano alla metallina, poi al rame nero che necessitava di ulteriori raffinazioni.

PROCEDIMENTI DI ESTRAZIONE DEL RAME DAL MINERALE NATIVO

- Fornace > Ossidi/Carbonati + Legna (Calore) > Metallo + Scoria + Gas > Fusione
- Arrostitimento > Solfuri + Legna (Calore) > Ossido + Gas (Arsenico/Antimonio/Bismuto) > Fusione

STAGNO (simbolo Sn)

Peso specifico: 7,3; punto di fusione: 228°.

Metallo bianco argenteo non volatile, malleabile e poco tenace. Caratteristico è il suo scricchiolio che aumenta col grado di purezza: fenomeno questo dovuto alla sua struttura cristallina. La superficie metallica si conserva inalterata alla temperatura ordinaria: l'azione contemporanea dell'aria e dell'acqua, non ha su di essa che una debolissima azione.

Lo stagno è raro in natura e lo si rinviene solo sotto forma di cassiterite (SnO₂) o biossido di stagno, o di sannite. Fu comunque la cassiterite il minerale che in antico venne conosciuto come stagno. Come l'oro anche lo stagno si presenta in forma primaria e secondaria:

- primaria: all'interno di graniti, raramente la cassiterite si presenta pura ed è quindi necessario separarla mediante triturazione e lavaggi successivi; tuttavia permangono sempre tracce di ferro, piombo, tungsteno, rame, bismuto;

- secondaria: in terreni alluvionali sotto forma di ammassi granulari più o meno compatti, dall'apparenza di ciottoli o con struttura fibrosa; di solito molto pura in quanto gli altri componenti si sono depositati durante il trasporto; probabilmente sono stati i depositi più sfruttati in antico cercando la cassiterite che ottenevano per lavaggio (come l'oro) sfruttandone l'alto peso specifico.

La cassiterite presenta varie tonalità: dal bruno nerastro o giallastro al grigio, al rossastro sino al bianco a secondo delle sostanze con la quale è associata (tipo ossido ferrino e manganico).

Attualmente si estrae in Spagna, Inghilterra, Boemia, Cina, Perù, Bolivia, Australia.

GIACIMENTI NEL MONDO ANTICO

- Italia: Toscana (Cento Camerelle, Colline Metallifere, Monte Rombolo ecc.), Isola d'Elba;

Sardegna (Fluminimaggiore a sud del golfo di Oristano, Monte Mannu, Muzzioli Nieddu, ecc.);

-Isole Britanniche: Isole Scylli (forse da identificare con le Isole Cassiteriti di Erodoto),

Cornovaglia (identificata da Didoro Siculo come luogo d'origine dello stagno),

Davonshire (dall'età del bronzo al Medioevo);

- Francia: Bretagna; cave Ploërmel (Morbihan) sfruttati sin dall'età pre-protostorica;

Abbaretz-Nozays (sin dall'età del bronzo all'epoca gallo-romana); Limosino;

Bourbonnais; distretto dell'Allier;

- Germania e Boemia: Monti Metalliferi; Ehrenfriedersdorf; Erzgebirge; miniera a cielo aperto di

Altemberg (dall'età del bronzo al Medioevo);

- Penisola iberica: dalla Galizia all'Estremadura; Guadalquivir o Ria de Huelva da identificare con

Tartessos (la Tarshis del profeta Ezechiele); Lusitania del Nord-Est (Strabone su notizia di Posidonio e Plinio che ricorda anche la Galizia); Murcia; l'attività

estrattiva spagnola si esplica sin dall'età pre-protostorica;

- Turchia: Kestel, nella regione dei Monti Tauri; collina di Göltepe;

- Iran: corsi d'acqua dell'Azerbaigian; regine del lago Sistan (segnalata anche da Stradone);

- Afganistan: zona centro-meridionale, fra Qandahar e il fiume Arghandàs; zona occidentale, fra i confini iraniani del Sistan sino a Herat; forse era proprio dall'Afganistan che proveniva lo stagno che riforniva il Vicino Oriente;

- India: distretto di Bihar nel Nord-Est del paese;

- Siberia occidentale: regione dei Monti Altai (sfruttate già dal XIV al III sec. a.C.).

LA LAVORAZIONE

Lo stagno si ottiene dalla cassiterite e pani di stagno rinvenuti in siti antichi attestano la possibilità di estrazione e lavorazione di questo metallo. Lingotti di stagno di epoca protostorica si sono rinvenuti nel porto di Haifa, nei relitti di Hof ha-Carmel (Haifa), di Capo Celidonia e Uu Burun in Turchia e di Domu de S'orku (Oristano) in Sardegna. Tale metallo veniva già prodotto e commercializzato dalla metà del II millennio a.C.

LE LEGHE

Le leghe si possono ottenere in due modi: 1° combinando nella stessa fusione i vari metalli che si vogliono unire; 2° riunendo i metalli a due a due per ottenere la lega definitiva più completa, avendo già ottenute le prime combinazioni. E' da preferire il secondo metodo in quanto nell'effettuare la fusione di un metallo si deve sempre cominciare dal metallo di più alto punto di fusibilità sino a quello con punto più basso. Per evitare fenomeni della liquazione (ritiro) bisogna ottenere un raffreddamento rapido della lega appena colata nella forma: un raffreddamento troppo lento comporta una cristallizzazione che produce una minore omogeneità della lega.

La colata della lega dovrà essere sempre fluida e calda; si otterrà così un raffreddamento in migliori condizioni di una lega colata poco calda e pastosa.

BRONZO

Peso specifico 8.45/9.20 (bronzo comune); temperatura di fusione 900°.

Il bronzo, lega di stagno e rame, sino all'avvento dell'età del ferro, è stato uno dei materiali più importanti in quanto con esso si costruivano sia oggetti di uso quotidiano che armi ed oggetti di culto. La monetazione romano-italica ebbe una grossa prevalenza di questa lega a differenza degli altri paesi. Proprio l'importanza di questa lega determinò la costante ricerca di fonti di approvvigionamento dello stagno, una materia prima importante data la sua rarità. Ciò portò alla creazione di una rete di traffici soprattutto verso gli stati orientali che ne erano sforniti, in particolare nel II millennio a.C. Gli scarsi rinvenimenti di lingotti di stagno porta a supporre sia un uso di stagno metallico che di cassiterite. Tuttavia almeno per la penisola italiana i rinvenimenti in siti protostorici sardi che romani portano a far pensare ad una prevalenza dell'uso di stagno metallico (lingotti) come alligante.

Le percentuali di rame e stagno determinato più o meno la durezza della lega e sono variate nel corso dei secoli a secondo dell'uso che se ne è fatto.

Il sistema più semplice per ottenere bronzo era di fondere insieme rame e stagno oppure aggiungendo cassiterite al rame fuso. Si poteva ottenere la stessa lega sia mescolando minerali di rame e stagno o minerale di rame e cassiterite. Oppure, in tempi moderni fondere prima il rame e poi aggiungere lo stagno, avendo l'accortezza di fondere rapidamente il rame in modo da evitarne

l'ossidazione. Lo stagno a sua volta viene riscaldato quasi alla sua temperatura di fusione prima di introdurlo nel rame, per evitare il raffreddamento di quest'ultimo.

Lo stagno aggiunto al rame abbassa il punto di fusione di quest'ultimo migliorando la fluidità della colata e le caratteristiche meccaniche come malleabilità e tenacità. In asce dell'età del bronzo i tenori di stagno erano fra 9,3 e 10,8%; con valori superiori al 13% di stagno il bronzo diviene duro ed è difficile lavorarlo. Attorno al 20-30% di stagno il bronzo ha una particolare sonorità e vengono utilizzati nella produzione delle campane. Con l'aumentare o meno delle percentuali dei due elementi varia il colore della lega dal rosso al bianco: a partire dal 50% fra i due elementi le leghe sono bianche.

Queste leghe offrono scarsa malleabilità: infatti le leghe che contengono il 98% di rame si lavorano bene a freddo ed a caldo; ma quelle che contengono meno del 90% di rame non sopportano la lavorazione meccanica. Questi bronzi, i cosiddetti "bronzi bianchi" con un tenore di stagno intorno al 22-24%, sono attestati nell'Iran del primo periodo islamico e vennero forgiati ad alta temperatura temprandoli in acqua fredda.

Proprio per le caratteristiche di questa lega, varianti nelle percentuali di alligazione degli elementi, il bronzo ha avuta un'ampia diffusione sino in tempi relativamente recenti.

Agli inizi del '900 i bronzi si dividevano in: bronzi per costruzioni meccaniche; per cannoni; per campane; per specchi; per statue. Questi erano considerati bronzi comuni, in quanto vi era anche una categoria di bronzi speciali cioè alligati con un terzo elemento che dava caratteristiche diverse alla lega: bronzi al piombo; al piombo e nickel; al fosforo; al manganese; al silicio; all'alluminio.

ELETTRO (vedi ORO)

OTTONE

Peso specifico (ottone fuso) 8.48; temperatura di fusione 1015°.

L'ottone è una lega di rame e zinco che presenta una durezza maggiore di quella del rame. Malleabile, con un punto di fusione meno elevato del rame, si lavora molto bene e resiste più del rame agli agenti atmosferici.

In antico era improbabile che producessero ottone dalla fusione di rame e zinco dato che lo zinco ha un punto di fusione più basso rispetto al rame, per cui la maggior parte dello zinco tende ad evaporare. Solo con le tecniche moderne si è potuto ottenere questa lega per fusione.

Il sistema che quindi si adoperava in antico era la cementazione, sin dalla fine del I millennio a.C., impiegando direttamente i minerali zinciferi. Il procedimento consisteva nel porre in un crogiolo chiuso carbonato (calamina) od ossido di zinco e rame macinati, insieme a polvere di carbone. Riscaldando il tutto ad una temperatura fra i 917 (ebollizione dello zinco) e i 1083° (fusione del rame) si ottenevano vapori di zinco che diffondendosi nel rame davano l'ottone con una percentuale di zinco del 28% circa.

L'introduzione dell'ottone (oricalco) diffusamente avviene con il processo della cementazione solo intorno al II – I sec. a.C.. Tuttavia uno dei pezzi più antichi risale al XIII sec. a.C. (Ugarit). Tenuto in gran pregio sia nella Grecia classica che preclassica, l'ottone si ritrova sul territorio italiano intorno al VII sec. a.C. per poi diffondersi in epoca romana soprattutto in età augustea.

Con la caduta dell'impero romano l'ottone mantenne la sua diffusione anzi sostituendo il bronzo dato che si persero le province produttrici di stagno.

Durante il periodo medievale, soprattutto con i Carolingi, l'ottone mantenne la sua diffusione soprattutto per gli apparati decorativi liturgici.

In età moderna e contemporanea l'ottone ha trovato larga applicazione nell'industria con particolari varianti nella composizione della lega a secondo dei suoi usi (soprattutto nel campo delle costruzioni navali): ottoni speciali (al piombo, all'alluminio, al ferro).

TECNICHE DI LAVORAZIONE

Fusione: matrice, cera perduta

Martellatura

Imbutitura: su tornio

Filatura: sei sistemi di filatura

Giunzione: ripiegatura, ribattini, saldatura (brasatura [dolce, forte], autogena)

Damaschinatura

TECNICHE DI DECORAZIONE

Martellatura

Cesellatura

Sbalzo

Repoussè

Stampaggio

Smaltatura: cloisonnè, plique-a-jour, champlevè, basse-taille, smalti dipinti, smalti incrostanti

Niello

Intarsio: agemina

Patinatura

Doratura: giuntura meccanica, a mercurio

TECNICHE ORAFE

Godronatura

Filigrana

Granulazione: a pulviscolo, saldatura colloidale

TECNICHE DI LAVORAZIONE

Fusione

a matrice

Il metallo fuso veniva colato in una matrice ove solidificandosi si otteneva l'oggetto voluto. In pratica nella matrice (realizzata in argilla, pietra (spesso steatite), impasto a base di sabbia o lega di rame) veniva riprodotto in negativo l'oggetto. La matrice doveva comunque avere un punto di fusione più elevato rispetto al metallo gettato.

Le matrici potevano essere:

- univalve o a un pezzo solo o aperto: in questo tipo l'oggetto usciva con superficie piatta che doveva essere successivamente martellato per fargli ottenere una forma simmetrica.

Venivano probabilmente coperte con un'altra pietra piatta per evitare una eccessiva ossidazione del getto;

- bivalve: realizzata in due o più elementi scomponibili in cui veniva colato il metallo fuso ottenendo così oggetti a tutto tondo. Volendo ottenere cavità nel getto di fusione (come nelle immanicature a cannone) si poneva un'"anima", ossia pezzi di refrattario nella matrice posizionati in modo da ottenere il vuoto nel punto desiderato. La tecnica della matrice scomponibile in più elementi si sviluppò nell'età del bronzo.

Il metallo fuso veniva colato nella matrice che era posta verticalmente o leggermente inclinata. Per permettere la fuoriuscita dei gas, che potevano creare porosità nel metallo, venivano creati degli appositi cataletti. Una volta raffreddato il getto, si apriva la matrice e l'oggetto ottenuto veniva rifinito e ribattuto. Operazione quest'ultima che oltre a incrudire il metallo dava all'oggetto la forma definitiva.

a cera perduta

Tecnica adoperata soprattutto per piccoli oggetti e nell'oreficeria, ove era richiesta una particolare finezza.

Il metodo consisteva nel modellare l'oggetto in cera malleabile applicandovi sopra bastoncini di cera (o di sambuco che si inceneriva al calore) in modo da realizzare canali di scolo per la cera fusa e un canale per la colata del metallo fuso e la fuoriuscita dei gas. Il modello in cera viene poi ricoperto da uno strato fine e fluido di materiale refrattario (argilla mista ad altra sostanza come corno bruciato, sterco ecc.) che riproduce in negativo l'oggetto. Si aggiungono altri strati sempre più grossolani e resistenti, sino ad inglobare il modello in cera in una forma. Questa una volta induritasi la si poneva in una fornace che faceva sciogliere la cera (da cui il nome di "cera perduta"). Nella cavità ottenuta si colava il metallo fuso che una volta raffreddato si rompeva la

forma ottenendo così l'oggetto. Ultima fase era la sua rifinitura superficiale. Lo stampo poteva essere adoperato solo una volta. Questa tecnica, detta anche "tecnica diretta piena", era per lo più adoperata in oreficeria e nei piccoli bronzetti.

Per ottenere invece oggetti cavi, come nella grande statuaria, la cera veniva spalmata su un'anima in terracotta, porosa per assorbire i gas che si sviluppavano durante la fusione. Per evitare che l'anima si spostasse durante la fusione per la scomparsa della cera, si infiggevano nell'anima chiodi metallici sporgenti (distanziatori) che trapassavano anche lo strato di cera. Il tutto poi si ricopriva con terra di fusione (tecnica diretta cava).

Un'altra tecnica era quella c.d. "tecnica indiretta", ove da un originale si ricavava una matrice negativa in gesso o terra, a due o più valve. In questa matrice si versava la cera fusa che solidificatasi permetteva di ottenere un modello in cera che ritoccato si utilizzava per la fusione (tecnica indiretta piena).

Per ottenere una fusione cava l'interno di una matrice veniva ricoperto da uno strato di cera e poi si inseriva nella cavità terra di fusione (tecnica indiretta cava). Questo sistema (l'indiretta) consentiva di salvare la matrice.

La tecnica della "cera perduta" si utilizza sin dal III millennio nella oreficeria medio orientale diffondendosi poi tramite Cipro e la Sardegna (XII sec. a.C.) nel bacino occidentale del Mediterraneo (in Etruria ove fra la fine dell'età del ferro e l'orientalizzante antico si innestò sulla matrice villanoviana). Tale tecnica venne adoperata ampiamente nel mondo greco e romano, sin da prima del VI sec. a.C., nell'ambito dei grandi bronzi.

Martellatura

Tecnica che partendo da una lamina permetteva di realizzare del vasellame per deformazione plastica, sfruttando la duttilità del metallo. Era già nota dal III millennio a.C. nel vicino oriente.

Con una mazza si appiattiva (a freddo) un massello di metallo o minerale grezzo. Il disco che si otteneva veniva posto su una superficie piana o concava e martellato. Per forme più complesse il disco veniva posto sul braccio piatto dell'incudine o su un paletto, martellandolo tutt'intorno dall'esterno e ruotando progressivamente. In ambedue i casi il pezzo doveva essere ricotto per ridurre la fragilità del metallo causata dal martellamento, soprattutto se si trattava di oro, argento o rame. Si realizzava riscaldando e raffreddando lentamente il metallo per aumentarne la duttilità.

Imbutitura

Tale tecnica si basava sull'uso del tornio per produrre vasi metallici e venne adoperata raramente prima del IV sec. a.C., più frequentemente in età ellenistica.

La lamina veniva fissata alla matrice precedentemente fissata al tornio e fatta girare. Con appositi strumenti si effettuava la compressione sino a far aderire completamente la lamina alla matrice.

Il tornio poteva essere adoperato anche per cancellare le tracce di martellatura.

Filatura

I metodi adoperati in antico per produrre fili sono sostanzialmente sei:

1 – Martellamento di un tondino di metallo al quale si riduce progressivamente il diametro cercando di mantenerlo quanto più possibile circolare. La superficie si presenta sfaccettata e può venire regolarizzata nel caso di metalli morbidi (come l'oro puro) rotolando il filo fra due superfici dure e piatte. Tuttavia il diametro non sarà mai uniforme.

Adoperato dall'età protostorica al Medioevo.

2 – Martellando si produce una verga a sezione quadrangolare che poi veniva torta sino a farle incontrare gli spigoli. Le costolature elicoidali si potevano eliminare per rotolamento o lasciate a scopo decorativo. I fili realizzati con questa tecnica presentano uno spessore abbastanza regolare ed hanno sulla superficie quattro solcature elicoidali indipendenti.

Adoperata dall'età protostorica al Medioevo.

3 – Per lo più adoperata con metalli duttili come l'oro, questa tecnica nella torcitura di una striscia di lamina sui lati corti, producendone la deformazione plastica. Si otteneva così un filo pieno con due solchi elicoidali.

Utilizzata comunemente dagli orafi etruschi.

4 – Una striscia di lamina veniva accartocciata facendone accostare i bordi facendola passare attraverso una serie di fori sempre più piccoli, avendone appuntito previamente le estremità. A differenza della trafilatura il filo non subisce un effettivo allungamento. Il diametro è alquanto omogeneo e la superficie presenta una linea di sutura per lo più elicoidale.

Tecnica che si riscontra in alcuni manufatti egiziani ma probabilmente diffusa anche nell'Europa della tarda età del bronzo, se alcune lamine in rame con fori si possono interpretare come “protofiliere”.

5 – Simile alla precedente tecnica solo che per una maggiore regolarità la lamina veniva ritorta attorno ad un filo (anche di tessuto) poi eliminato. Si otteneva così la cavità interna. Il prodotto finale era pressato fra due superfici piatte e lisce oppure fatto passare attraverso fori.

Tecnica adoperata per i ricami in oro anche dagli etruschi.

6 – La lamina veniva piegata al centro per dargli una sezione a C mediante martellatura e arrotolamento. Sulla appare un solco longitudinale che in sezione penetra verso l'interno.

Tecnica adoperata per i manufatti cretesi dell'età del bronzo.

Giunzione

a ripiegatura: gli orli di due lamine metalliche venivano ripiegate insieme e martellate al fine di ottenere una maggiore compattezza e presa delle componenti.

a ribattitura: gli orli di due lamine venivano sovrapposti e forati. Nei fori venivano inseriti i rivetti e ribattuti con martellatura a freddo. Generalmente i rivetti sin dalla preistoria erano prodotti in materiale più malleabile rispetto all'oggetto da giuntare.

Adoperata già ad Ur nel 2.500 a.C., nei vasi metallici micenei, in Italia meridionale in contesti del bronzo medio iniziale.

Saldatura

Collega due parti in modo permanente. La saldatura si distingue in due categorie:

- brasatura: nella quale il saldante (un metallo o una lega) viene colato fra due parti da unire e lasciato solidificare;
- autogena: sono gli stessi metalli da collegare che partecipano al processo di saldatura;

La brasatura a sua volta poteva essere dolce o forte:

- dolce: realizzata con leghe bassofondenti (-400°) tipiche dello stagno-piombo. Meccanicamente non sopporta sforzi elevati e si applica su superfici abbastanza ampie.
- forte: realizzata con leghe altofondenti ($+400^{\circ}$), generalmente di rame, argento e ottone. E' robusta e richiede una piccola superficie.

Una particolare brasatura al rame è la "saldatura colloidale" impiegata nell'oreficeria antica per lavori a granulazione e in filigrana.

Per evitare la formazione di una patina di ossidazione sul metallo in presenza di aria, che interferirebbe con i processi di saldatura, si applica una sostanza: il fondente. Tale sostanza applicata sulle parti da saldare le tiene pulite e isolate dall'ossigeno. A tale scopo si usa il borace o il cloruro di zinco.

Entrambe le tecniche di brasatura erano già utilizzate nel vicino oriente dalla prima metà del III millennio a.C.. Mentre quella forte incontrò una vasta diffusione, soprattutto per i metalli preziosi, la dolce si utilizzò in particolare in età greco-romana.

La saldatura autogena invece è la giunzione di pezzi di metallo previo riscaldamento e trattamento meccanico senza aggiunta di altri materiali. In antico una particolare saldatura autogena era la “bollitura”. I metalli venivano portati al “calor bianco” (stato pastoso) nella parte da saldare con il fuoco della forgia. Venivano poi giuntati per pressione o martellamento.

Usata soprattutto per il ferro (1350°C) sin dal XIV sec. a.C. dagli egiziani.

Damaschinatura

E' la tecnica che prevede, tramite la “bollitura”, l'unione di lamine di ferro con diversi livelli di carburazione, quindi diverse per durezza e fragilità. Si otteneva così una struttura complessa, a strati, in ferro accidioso, molto resistente ma elastica, ideale per lame. I diversi metalli conferivano anche un bel aspetto morezzato all'oggetto, molto apprezzato.

Tale tecnica si osserva già presso gli egizi intorno al 900 – 800 a.C.. In Italia è attestata in Etruria dal IV – III a.C.. In Europa centrale dal III d.C. ma ebbe un'ampia diffusione fra il V e il VII d.C. nell'alto Medioevo. Il nome deriva da Damasco che con la conquista araba divenne un grosso centro di diffusione verso l'occidente.

TECNICHE DI DECORAZIONE

Martellatura: serie di sfaccettature decorative ottenute tramite colpi di martello a file sovrapposte.

Cesellatura: incisione di un motivo sulla superficie superiore di un oggetto metallico. Il cesello dal taglio a chiglia di barca, smussato, veniva battuto in maniera leggera e regolare con apposito martello così da lasciare per compressione un solco continuo e uniforme.

Notevolmente evoluto con gli Etruschi.

Sbalzo: il foglio di metallo era lavorato dal retro in modo che i rilievi si ottenessero sul davanti. Rispetto al cesello gli strumenti erano ancora più smusati.

Repoussè: il disegno viene sbalzato dal retro dell'oggetto e poi rifinito a cesello.

Già molto noto ad Ur nella prima metà del III millennio a.C., nella toreutica minoica, nell'Italia settentrionale preromana, nell'Europa Hallstattiana.

Stampaggio: si imprimeva sul retro della superficie metallica, spesso una lamina, una o più immagini pigiando la lamina dentro o sopra una forma. Oppure utilizzando un punzone che riproduceva sulla testa il modello. Raramente avveniva lo stampaggio sulla davanti, incavando l'immagine (conio).

Diffuso nella gioielleria antica.

Smaltatura: tecnica che decora oggetti metallici con vetri colorati. Le basi potevano essere l'oro o l'eletto, talvolta l'argento; il bronzo venne adoperato nella gioielleria romano-celtica, il bronzo dorato nel Medioevo.

Nota già ai Sumeri, Egizi, fu solo in età micenea, nel XV sec. a.C., che appaiono gli smalti direttamente fusi sul pezzo. Sia presso i Greci (V-IV sec.) che presso gli Etruschi (VI-V sec.) questa tecnica venne usata con parsimonia come anche presso i Romani. Con i Bizantini invece ebbe una straordinaria fioritura.

La base vetrosa degli smalti (fondente), trasparente e quasi incolore, è composta da una miscela: silice o sabbia (ca. 50%), minio (ossido di piombo) (ca. 35%), potassa (carbonato di potassio) o soda (carbonato di sodio) (ca. 15%) fusi insieme. Il colore si ottiene aggiungendo al fondente fuso ossidi metallici (2-3% della misura totale) e mescolando. Raffreddato lo smalto viene frantumato e macinato in acqua. Le polveri colorate vengono applicate sul metallo e scaldato in fornace ove, sciogliendosi, divengono una solida e aderente pellicola vetrosa. Gli smalti dipinti tuttavia non

entrano in uso che in età rinascimentale e prevedono l'applicazione di diversi strati di smalto ogni volta passati in forno e ricoperti poi da uno strato di smalto trasparente. Sempre rinascimentali sono pure gli smalti incrostanti utilizzati soprattutto per arricchire una superficie irregolare.

A sua volta l'applicazione dello smalto sul metallo può avvenire in vari modi:

a cloisonné: (diviso da cellette) la polvere vetrosa viene applicata all'interno di cellette in filo metallico predisposte sull'oggetto. Adoperata già dagli orafi micenei del XV sec. a.C., in ambito greco e magno-greco. Ampiamente utilizzato dagli artisti bizantini tra il VI e il XII sec., questa tecnica venne adoperata in tutto il Mediterraneo sino all'età romanica e oltre;

a plique-à-jour: in questa tecnica manca la base metallica per cui le aperture sono totalmente riempite di smalto trasparente e lucido. Venne utilizzata soprattutto tra il XIV e il XVI sec.;

a champlevé: (scanalato) in questa tecnica la lamina metallica viene incisa, scanalata o intaccata con acidi e tali cavità vengono riempite con smalti sino a livello della parte non incisa che in genere ha un fondo dorato. Utilizzata in età romana, soprattutto in area occidentale per ornamenti bronzei. Ebbe un particolare sviluppo anche nel XII e XIII sec.;

a basse-taille: la base metallica è lavorata a bassissimo rilievo con il cesello. In questo modo le variazioni di profondità delle incisioni, ricoperte da smalto trasparente, producono differenti sfumature cromatiche. Venne soprattutto utilizzata in età gotica in Francia e Italia.

Niello: in questa tecnica al posto dello smalto vetroso si adoperano uno o più solfuri metallici, ottenendo una sostanza nera che veniva colata in cavità predisposte su base metallica generalmente in oro o argento.

Nota già in età micenea, in età classica la si otteneva ponendola nelle cavità sotto forma di polvere, che dopo un leggero riscaldamento diveniva plastica e quindi facilmente lavorabile. Nell'XI sec. la composizione del niello cambiò trasformandosi in una miscela di zolfo, rame, piombo e un poco d'argento.

Intarsio: è la tecnica di inserire in un vano ricavato in un metallo pezzi di materiale differente (pietre dure, conchiglie, coralli ecc.) al fine di ottenere effetti policromici. L'agemina invece, pur appartenendo alla categoria degli intarsi, è prodotta dalla contrapposizione di metalli diversi, cioè è una lamina che si pone negli incavi ricavati su un'altra lamina.

Tecnica già nota in Egitto, nell'Egeo del II millennio, dalle popolazioni micenee sin dal XVI sec. a.C. In età classica nella statuaria e a Roma, in particolare nel vasellame.

Patinatura: è l'alterazione voluta dello strato superficiale del metallo sia con il calore che con agenti chimici. E' difficile capire se in antico gli oggetti in metallo subissero una patinatura dato che di per sé i metalli in natura tendono a ricoprirsi di una patina.

Tecniche erano comunque note in età classica e romana (bronzo A di Riace, frammento bronzeo di Volubilis, bronzo da Salamina) ma anche nel Giappone del XII sec. d.C. Tuttavia era già nota in Egitto dalla XVIII dinastia, nella Grecia del II millennio. In epoca romana andò in voga il "Corinthium aes" una lega affine allo "shakudo" giapponese, di oro e argento. In pratica sulla base delle percentuali dei metalli e della loro quantità si otteneva la patina voluta.

Doratura: si hanno due sistemi: il primo era di battere l'oro in sottili lamine da applicare sull'oggetto; il secondo era l'applicazione a caldo dell'oro tramite il mercurio.

Il primo sistema era già noto in Siria dal 3.000 a.C. ma anche in età classica nella statuaria. A volte i due metalli venivano martellati insieme e poi ricotti (Etruschi). Il secondo sistema invece si applica o spolverando di mercurio la superficie sulla quale poi si metteva la foglia d'oro oppure oro amalgamato col mercurio, spalmato e poi sottoponendo l'oggetto al calore, ottenendo così la doratura per evaporazione del mercurio. Questa tecnica sembra apparire già nel IV sec. a.C. in Grecia (Vergina), in età ellenistica, e diviene comune nel II-III d.C. In Cina appare nel IV-III a.C.

TECNICHE ORAFE

Godronatura: tecnica che consisteva nel porre i fili sotto una piastra scanalata e farli rotolare sul piano, ottenendo così le scanalature. Queste potevano dar luogo a vari tipi di ornato.

Nota già dalla metà del II millennio in Anatolia, si sviluppò e perfezionò in Egitto dal Nuovo Regno, Cipro micenea e nel VI a.C. in Etruria, Tracia e Iran. Trovò impiego nell'oreficeria classica ed ellenistica della Grecia e in misura minore a Roma. Intorno al X sec. d.C. con l'introduzione delle filiere questa tecnica decadde.

Filigrana: tecnica basata sulla saldatura di fili metallici (anche ritorti) sopra una superficie preziosa, per ottenere un motivo decorativo, a volte associato alla granulazione.

I primi esempi si hanno a Ur dalla metà del III millennio. Ebbe un notevole sviluppo in Etruria e a Roma. Ottenne un notevole successo nel Medioevo.

Granulazione: consiste nel saldare su una superficie metallica delle sfere di diametro variabile, in genere pochi mm. I grani, in oro ma con esempi anche in argento, venivano disposti su file dritte o curvilinee in modo da realizzare complessi disegni.

Le prime attestazioni risalgono alla metà del III millennio (Ur, 2.500 a.C.); da qui si espande tramite la Siria e l'Anatolia verso Troia (metà e III quarto del III millennio a.C.). Gioielli a granulazione si sono rinvenuti anche in tombe del Medio Regno in Egitto. Nell'Egeo si ritrovano a Micene nel circolo A delle Tombe (metà XVI sec. a.C.) ma soprattutto nel XV sec.

I fenicio-punici ne fecero un ampio uso diffondendolo nelle colonie occidentali (VII sec. a.C.) e in Etruria sin dalla metà dell'VIII sec. a.C. ove si diffuse la "granulazione a pulviscolo" cioè minutissimi grani applicati sulla superficie metallica. Diffusa in età ellenistica decadde in età romana sia come produzione che come raffinatezza.

Si ritrova nell'Islam del VII sec. d.C. e nell'Europa medievale del IX e del X.

Con l'età moderna cadde in disuso e venne riscoperta solo nel 1920.

Le sferette si ricavano da ritagli di metallo o frammenti di filo fusi in modo da assumere la forma sferica per la tensione superficiale. Tramite collanti organici (gelatine di pesce o vegetali) misti a sali di rame venivano posti sulla superficie realizzando il disegno e lasciando l'oggetto ad asciugare. Posto poi sul fuoco di carbone di legno il collante si scioglieva lasciando che i sali di rame mutassero in una lega bassofondente (890°) di oro e rame. I sali impiegati erano per lo più la malachite, l'azzurrite, la cuprite, il solfato di rame. L'antica tecnica della "chrysocolle" (colla d'oro) indicava sia la malachite che il verderame.

BIBLIOGRAFIA

L. Mugnani “Manuale pratico di fonderia” (Milano, 1928)

ICCROM “Ancient metals – Metaux anciens” (Roma, 1980)

AA.VV. “Catalogo del deposito di Brolio in Val di Chiana” Museo Archeologico di Firenze (Roma, 1981)

AA.VV. “L’Etruria mineraria” catalogo della mostra (Milano, 1985)

AA.VV. “Avant les Celtes – L’Europe a L’age du Bronze. 2500-800 A.C.” (Daoulas-Brest, 1988)

G. Giorgerini “Da Matapan al Golfo Persico – La Marina militare italiana dal fascismo alla repubblica” (Milano, 1989)

C. Giardino “I metalli nel mondo antico” (Bari, 1998)