

## ESTRAZIONE, FUSIONE E LEGHE

### INIZI DELLA LAVORAZIONE DEL METALLO

La scoperta dei metodi per l'estrazione dei metalli portò gradualmente alla fine della cultura neolitica. Per molti secoli, mentre si servivano ancora della pietra, dell'osso e del legno come materiali da utensili, gli uomini fecero uso di qualche metallo allo stato nativo (**oro, argento, rame e ferro meteorico**) per scopi decorativi e per la fabbricazione di piccoli oggetti quali spilli e ami da pesca. Le ampie possibilità offerte dalla lavorazione dei metalli non erano ancora note; la metallurgia vera e propria iniziò solo quando si comprese che, con la **fusione**, il **riscaldamento** e la **colata**, si poteva impartire al metallo una **forma nuova e controllata**, al di là dello scopo delle vecchie tecniche di scheggiamento, spaccatura, taglio, ecc. Soltanto col progredire della conoscenza si poté sfruttare la tipica proprietà plastica dei metalli e raggiungere uno stadio critico in cui si definì chiaramente il nesso tra metalli e minerali, alcuni dei quali erano stati già in precedenza raccolti come pietre semipreziose<sup>1</sup>. Ciò accadde verso la fine del quarto millennio a.C. Il metallo allo stato nativo, salvo l'oro, è raro nel Vicino Oriente, sicché fu soltanto dopo lo sviluppo dei **processi di estrazione** che i metalli vennero a esercitare una notevole influenza sulla tecnologia.

Nel giro di un migliaio d'anni dalla scoperta dei processi di estrazione, l'uomo era riuscito a

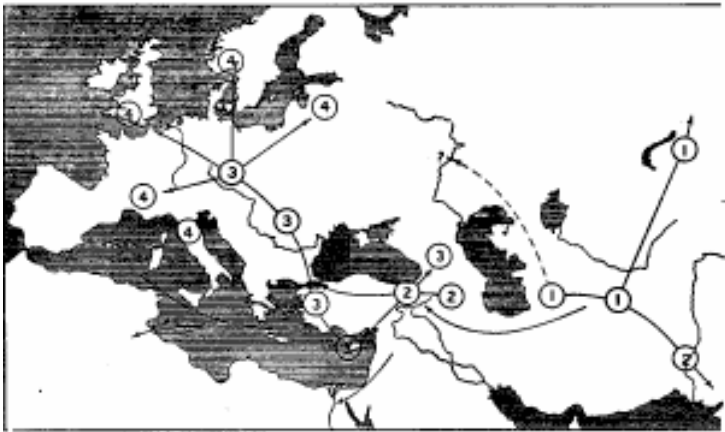


FIGURA 378—Una sequenza cronologica che indica la diffusione della tecnologia del metallo dall'Asia centrale all'Europa in quattro fasi.

padroneggiare la semplice metallurgia dell'oro, dell'argento, del piombo, del rame, dell'antimonio, dello stagno e delle leghe di bronzo e a stabilire la tecnica della fusione. Dubbio che una vera età del rame precedesse quella del bronzo (p. 599). Più probabile invece che in un primo tempo il metallo puro e la lega fossero usati indiscriminatamente e senza una chiara distinzione. L'età del ferro ebbe inizio solo dopo che una lunga serie di esperimenti aveva introdotto un nuovo gruppo di

processi e di utensili. La scorificazione del minerale di ferro, la lavorazione a caldo del metallo e la tecnica della carburazione, della tempra e del rinvenimento dovettero essere tutte acquisite prima di poter produrre l'acciaio, il più utile di tutti i metalli precedentemente conosciuti. Le testimonianze archeologiche indicano che queste scoperte erano state compiute verso il 1400 a.C. (p. 604).

<sup>1</sup> Cfr. il greco metallao. ricercare; donde metalleia, ricerca per i metalli, prospezione, coltivazione e metallon, luogo di ricerca, miniera, cava.

TABELLA III. SCHEMA DELL'EVOLUZIONE DELL'INDUSTRIA MINERARIA, DEGLI UTENSILI, DEI METODI E DEI PRODOTTI RELATIVI

Periodo	Metodi di estrazione	Utensili da miniera	Pietre preziose e semi preziose	Minerali e pietra naturale	Metodi metallurgici
Fine dell'età del ferro (500-50 a.C.)	Drenaggio meccanico, trapozzo e ventilazione	—	Rubino, agata muscata, zircone, opale, acquamarina, schiuma di mare, diamante (?)	Magnetite e siderite, pirriti di ferro (?)	Ottone ricavato da rame e da calamina; forni con tino alto
Prima età del ferro (1200-500 a.C.)	Accessi di drenaggio grandi cave	Gli utensili di ferro sostituiscono gradualmente gli altri	Zaffiro, calcedonio blu, quarzo rosa, spinelli	Ossidi di ferro (limonite, ematite)	Ferro saldato "acciaiato"; tempratura e rinvenimento
Seconda età del metallo (1200-1100 a.C.)	Pozzi rinforzati con armature di legno; drenaggio mediante secchie, ecc.; gallerie più ampie	Gli utensili di rame diventano di uso più comune	Eliotropio, smeraldo, magnesite, topazio, crisoprasto	Quarzo solifero; solfuri di rame	Forni con tino corto; soffietti; arrostimento più generalizzato del zolfo
Prima età del metallo (5000-1200 a.C.)	Sbancamento sistematico degli affioramenti; pozzi con gradini (?); vecchie gallerie riempite con ganga	Uso comune del fuoco per l'abbattimento	Onice, sardonica, azzurrite	Ossidi di rame e carbonati; galena, stibina, casiterite	Argento dalla galena; ossidazione e riduzione mediante tiraggio naturale; primo ferro saldato dalla magnetite; rame in lega con piombo, antimonio e stagno
Egitto predinastico (3500-3000 a.C.)	Sviluppi di pozzi a sezione quadrata e rotondi con gallerie; ventilazione; puntellamento	Primi utensili di rame	Ematite, alabastro, carneliana, berillo, crisocola, malachite, feldspato	Alabastro, marmo, tulgemma; metalli allo stato nativo (oro, argento, ferro meteorico, rame); minerale di rame dai cappellacci	Martellatura, colata, fusione; prima riduzione degli ossidi di rame
Neolitico (fino al 3500 a.C.)	Cave, stiebi di pietra; lavori all'aperto, pozzi inclinati; più tardi gallerie	Picche di pietra, martelli, scalpelli e celte	Ametista, fluorina, nefrite, ambra nera, turchese, lapislazzuli, giada, agata	Granito, diorite, calcare, arenaria	—
Paleolitico	Ricerca di macigni, ecc.; lavori all'aperto, pozzi conici	Foraterra di legno o di osso, picche di corno o di corno di cervo; primi utensili di pietra	Calcedonio, quarzo, cristallo di rocca, serpentinico, ossidiana, diaspro, steatite, ambra, giadeite, calcite	Selce e ossidiana. Più tardi ocra e altri pigmenti naturali, smeriglio	—

Nel primo uso dei metalli allo stato nativo, il materiale era sagomato mediante taglio, piegatura e martellatura con un martello di pietra su un'incudine pure di pietra. In un secondo tempo si usarono i metodi di estrazione per ottenere il metallo dal minerale, ma i procedimenti di lavorazione restarono immutati. I primi costruttori di un oggetto metallico di una certa consistenza debbono aver fatto una delle più importanti osservazioni della metallurgia, ossia che una massa di metallo, man mano che veniva lavorata per foggiarla alla forma desiderata, s'induriva sotto l'azione del martellamento, ma che poteva riprendere la condizione originale dopo un nuovo riscaldamento. Questo processo di ricottura deve essere stato ripetuto a frequenti intervalli se la lavorazione durava a lungo. Quando si usarono le forme per fondere degli arnesi in una finitura grossolana, si eliminò la necessità di una lunga fucinatura, con la conseguenza che gli arnesi potevano essere fabbricati con minore spesa e maggiore rapidità. Ma sia che tali attrezzi fossero prodotti mediante lavorazione a freddo sia che essi fossero prodotti per fusione, le proprietà fisiche dell'oggetto metallico erano essenzialmente determinate dalla composizione, accidentale o controllata, della lega usata piuttosto che dal trattamento eseguito.

Con l'aggiunta del ferro ai metalli utili si venne a creare una situazione più complessa. Prima che nel Medio Evo fosse introdotto l'uso delle fornaci, il prodotto della fusione del ferro era semplicemente ferro saldato che, sebbene molto tenace, è troppo tenero per fornire un oggetto da taglio migliore di quello ottenibile col rame o col bronzo. Col riscaldamento prolungato a contatto col carbone di legna la superficie di un oggetto di ferro saldato viene tuttavia trasformata in acciaio per diffusione del carbonio. Le proprietà dell'acciaio (ferro contenente 0,15-1,5% di carbonio) sono molto diverse da quelle dei metalli non-ferrosi. Così temprando l'acciaio (ossia, portandolo a una temperatura convenientemente elevata e raffreddandolo rapidamente mediante immersione in acqua) lo s'indurisce, mentre il rame o il bronzo sottoposti allo stesso trattamento si raddolciscono. Il grado di durezza e di tenacità dell'acciaio può essere perfettamente controllato col rinvenimento. Questi metodi di post-trattamento sono di grandissima importanza per determinare la qualità dell'oggetto di acciaio.



FIGURA 379—Tipico arnesio di quercia di un operaio metallurgico girovago dell'età del bronzo, proveniente dalla Pomerania.

TABELLA IV. TABELLA CRONOLOGICA DELLA PRIMA METALLURGIA

	Metodi generali	Oro	Argento e piombo	Rame	Stagno e bronzo	Ferro
d. C.						
a. C.						
1000	Liquazione Coppellazione	Amalgazione Oro raffinato mediante clorurazione o solforazione Separazione dell'oro e dell'argento	Patin-sonaggio Argento puro dalla galena		Lavorazioni del minerale di stagno di filone Produzione dello stagno dal minerale Bronzo dallo stagno e dal rame	Impiego comune del ferro nel mondo antico Ferro temprato (carburato)
1000	Arrostim. dei miner. solforati		Piombo Argento dalla galena	Arrostimento e fusione dei minerali solforati	Esaurimento dei minerali di stagno nel Vicino Oriente; importazione dello stagno dall'Occidente	Fusione sperimentale
3000			Argento allo stato nativo	Scoperta della riduzione dei minerali ossigenati, della colata e della fusione	Bronzo dalla cassiterite e dai minerali ossigenati di rame oppure (più tardi) dalla cassiterite e dal rame grezzo	
4000		Oro allo stato nativo		4200 a. C. circa. Ricottura del rame allo stato nativo 3000 a. C. circa. Primo rame allo stato nativo		Ferro meteorico

L'archeologia e la tradizione classica convergono nell'indicare la Persia nord-orientale come la terra d'origine della più antica metallurgia, donde essa si sarebbe diffusa nel Vicino Oriente fin da tempi remotissimi (fig. 378). Dalla catena montuosa che si estende dal Tauro alle spiagge meridionali del Caspio dove abbondano minerali e combustibili d'ogni genere, la conoscenza della metallurgia si propagò agli altri centri dell'Asia, dell'Africa e dell'Europa. Vi sono validi argomenti a favore della tesi secondo la quale la capacità di lavorare i metalli si diffuse da un unico luogo d'origine; ma non bisogna sottovalutare la diversità delle tecniche e degli attrezzi usati nella produzione del rame dal suo minerale. Sembra più probabile che quest'arte si propagasse per diffusione da un unico centro, evolvendosi quindi con forme distinte in ogni nuovo centro così costituito. I ricercatori di metalli preziosi, i fabbri girovaghi e i commercianti debbono aver avuto ciascuno la propria parte (fig. 379).

La posizione geografica dei centri metallurgici era determinata da due fattori: la disponibilità del minerale (fig. 380) e quella del combustibile. La scarsità del combustibile ostacolò lo sviluppo della lavorazione dei metalli in alcune parti del mondo antico. Gli unici combustibili di pratico valore nella metallurgia erano il **legno** e il **carbone di legna**. Nessuno degli antichi imperi tuttavia era ricco di legname e la produzione di metallo nelle regioni montuose ricoperte di boschi era per lo più al di fuori del loro controllo. Così essi cominciarono ben presto a concentrarsi sull'importazione dei metalli grezzi da questi distanti centri di produzione del metallo. I regnanti delle città-stato avrebbero quindi affidato il materiale grezzo importato ai propri specialisti perché ne facessero **prodotti finiti**.

Per l'efficace estrazione dei metalli dal minerale occorre un qualche tipo di fornace entro cui bisogna talvolta alimentare il fuoco mediante tiraggio. Nelle operazioni più semplici di riduzione i pezzi di minerale vengono mescolati a strati insieme col combustibile, e il metallo viene quindi raccolto in un massello dal focolare. Un'antica forma del più semplice tipo di fornace, ancora usata dai popoli primitivi, era costituita da una cavità praticata nel terreno e rivestita di argilla e di pietre.

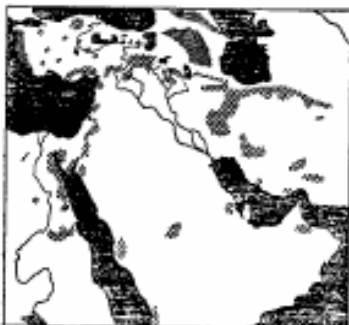


FIGURA 380—Regioni ricche di minerali, conosciute nell'antico Vicino Oriente.

Più tardi questa fornace a coppa fu usata principalmente per il primo arrostitimento, mentre la riduzione vera e propria avveniva in una struttura più elaborata. Per conservare il calore, il bordo superiore della coppa presentava probabilmente una concavità verso l'interno, mentre alla base si praticavano dei fori per spillare il metallo e ottenere il tiraggio. Questo forno a crogiuolo era ancora completamente interrato. Con l'erezione di muri di pietra convergenti a camino attorno alla coppa si ebbe un più perfezionato forno a tino in cui la coppa fungeva da focolare.



FIGURA 382—Mantice primitivo senza valvole, attualmente usato per la fusione del ferro nel Sudan. La posizione degli ugelli nella rosatura della tuyère consente l'immissione di aria fresca in quel punto e il tiraggio sul carbone acceso. Il minerale viene collocato nel crogiuolo.



FIGURA 381—Scalpelli di rame e crogiuoli di terraglia in Egitto, 1300 a.C. circa.

L'arte di costruire i forni a tino in pietra rivestita di argilla refrattaria pervenne in Europa dal Mediterraneo orientale verso la fine dell'età del bronzo. Altri tipi di forno erano stati a lungo usati nel Vicino Oriente per la cottura e la smaltatura del vasellame (pp. 397 sgg.), per la cottura del pane, per la fabbricazione del vetro, ecc., e indubbiamente esistevano delle relazioni evolutive tra i diversi tipi. Tra essi il forno per metalli fu l'ultimo a giungere; invero si è suggerito che la prima osservazione della riduzione del minerale di rame avvenisse mentre si vetrificavano i pigmenti di rame per la smaltatura in una fornace per la cottura del vasellame. Il **minerale di rame** può essere fuso a circa 800°C mentre il **metallo puro** può essere fuso a 1083°C temperature che erano certamente raggiungibili nelle antiche fornaci per vasellame.

Nei forni più grandi, specialmente a tiraggio forzato, i metalli non ferrosi potevano essere non solo **ridotti dai loro minerali**, ma anche fusi, per la colata in getti. Per certi scopi, come l'affinazione dei metalli preziosi o la produzione di getti fini di fusione, è poco consigliabile che il metallo e il combustibile siano a contatto. A evitare ciò, il metallo veniva fuso in un crogiuolo di argilla refrattaria o di argilla e sabbia (figg. 381-83).

In un forno per vasellame o in un forno a coppa veniva raggiunta la temperatura richiesta. La fase successiva sarebbe stata quella di costruire il crogiuolo nella struttura stessa del forno, ma i forni costruiti in modo che il metallo fuso fosse completamente protetto dall'azione del combustibile e dei prodotti della combustione, sembra fossero sconosciuti nell'antichità.

La storia del tiraggio forzato è oscura. Senza di esso non si sarebbe potuto fondere metalli quali l'oro e il rame e non si sarebbe potuto lavorare facilmente il ferro. Per lavorare su piccole quantità di materiale, quali si usano ad esempio nei lavori di oreficeria, occorre un cannello ferruminatorio. Dal soffiare con la bocca all'usare una canna cava non ci corre molto. Questo dispositivo per alimentare il fuoco dev'essere molto antico, forse anche paleolitico. I soffiatoi a canna compaiono in Egitto, come risulta dai dipinti, almeno fin dal 2500 a.C. Gli Egiziani usavano tubi di metallo con punte di argilla o tuyères (fig. 384) che adducevano l'aria nel forno e, probabilmente, anche le canne come facevano i Sumeri e i Babilonesi. Per avere un volume d'aria sufficiente per una fornace di maggiori capacità occorre una specie di pompa; il tipo più antico è costituito da una pelle di animale, con un tubo fissato a una delle zampe della pelle stessa. Tali mantici forse erano



FIGURA 383—Colata di una porta di bronzo. Il bronzo è fuso in un crogiuolo all'aria aperta con un tiraggio forzato provocato da quattro mantici azionati con i piedi. I pezzi di legno incurvato servono a sollevare il crogiuolo all'altezza della forma, che ha una serie di imbuto, posta in centro. Uno degli uomini alla destra porta un lingotto a forma di pelle di bue. Da una tomba a Tebe, 1300 a.C. circa.

usati in serie. Un dispositivo più adatto è il soffiatoio a piatti. Due o più recipienti rigidi sono ricoperti

con un diaframma non tirato di pelle e i tubi uscenti da essi sono inseriti negli ugelli senza bloccaggio in modo da consentire la presa d'aria; i mantici sono adoperati alternativamente (fig. 382). Non si sa ancora se alla fine della XVIII dinastia (1500 a.C. circa) si adoperasse qualche tipo di valvola (fig. 383). Dei resti di *tuyère* sono stati rinvenuti negli antichissimi forni dei Sumeri e degli Assiri. Vi sono altre forme di mantici tuttora usati dai popoli primitivi, ma tali tipi non sono stati rinvenuti nell'Antico Oriente.

Per la manipolazione dei metalli caldi i lavoratori di metalli indigeni dell'Africa adoperano ancora dei pezzi ripiegati di legno verde (fig. 386) del tipo indicato nei rilievi egizi del Nuovo Impero (fig. 383). Questi furono più tardi sostituiti dapprima con tenaglie formate da un pezzo di metallo flessibile ripiegato e in un secondo tempo con molle incernierate.

I lavoratori di metalli furono tra i primi specialisti del lavoro artigiano. I contadini neolitici o le loro donne avevano tessuto e filato, confezionato le proprie scarpe e pentole, estratto le proprie selci; ma l'avvento del lavoratore di metalli aprì una nuova era, durante la quale si svilupparono rapidamente le civiltà urbane delle grandi vallate fluviali. Fu così che i lavoratori di metalli girovaghi si avventurarono in territori barbari in cerca di minerali e diffusero la conoscenza della lavorazione di queste pietre colorate. Il rispetto che incutevano i lavoratori di metalli è rispecchiato in innumerevoli leggende.

## ORO

Contrariamente all'opinione generale degli archeologi, non è affatto certo che l'uso dell'oro precedesse quello del rame nativo nel Vicino Oriente. In Egitto, in particolare, le testimonianze starebbero a indicare che il rame fu adoperato per primo. Tuttavia siccome la metallurgia dell'oro è di gran lunga la più semplice e siccome l'oro occupa un posto speciale tra i metalli, esso verrà esaminato per primo.

I **giacimenti auriferi** erano largamente distribuiti in tutto il mondo antico. Essi erano coltivati in Arabia, India, Persia, nella Caucasia, in Asia Minore e nella Balcania, ma la produzione di codeste regioni non era né grande né continua. In Egitto tuttavia l'estrazione dell'oro era talmente estesa da costituire una specie di monopolio negli antichi tempi. Nel deserto nubiano vi sono residui di più di cento miniere aurifere e molte di esse contengono ancora i resti di tavole di lavaggio e di macine menzionate da Diodoro Siculo. La produzione annuale di oro nella Nubia è stata valutata sull'ordine di **30 kg**, assai maggiore di quella di qualsiasi altra regione. Infatti "**Nubia**" significa "la terra dell'oro" (dall'egizio *nub*).

L'oro si trova di solito allo stato nativo, sia nei **reef**<sup>2</sup> auriferi, masse irregolari contenute in filoni o vene di quarzo, che come oro alluvionale o di "placer" (dallo spagnolo **placer**, deposito alluvionale), formato dall'erosione della matrice primaria e dalla successiva concentrazione per azione dell'acqua. Il procedimento di estrazione consiste semplicemente nella separazione del metallo dai depositi alluvionali o dalle rocce frantumate. La setacciatura e l'estrazione dai reef erano praticate almeno fin dal quarto millennio a.C. Diodoro, seguendo le orme di uno scrittore del secolo secondo a.C., descrisse lo scavo e l'estrazione dell'oro dai filoni auriferi dei giacimenti di quarzo in Egitto. I frammenti di roccia venivano sgretolati in pezzi mediante martellatura, pestati in mortai fino alla grossezza di un pisello e infine ridotti in polvere con macine. La polvere era quindi lavata su tavole di legno sotto un leggero flusso d'acqua, che trascinava seco le particelle più leggere, mentre i pezzetti più pesanti di oro si depositavano e venivano raccolti su spugne. Strabone e altri riferiscono che nel Caucaso i depositi alluvionali erano trattati mediante lavaggio sopra uno strato di velli. Le particelle di oro sarebbero rimaste attaccate al grasso della lana, donde l'origine della leggenda del vello d'oro.

---

<sup>2</sup> I reef sono strati costituiti da un conglomerato di ciottoli quarzosi, saldati insieme da cemento siliceo, contenenti piccoli granelli di pirite *aurifera*.



FIGURA 384—Lavoratori di oro egizi. Tubi di soffiaria con estremità di argilla. Sono usati per attirare il fuoco. L'uomo che fa la colata da un crogiuolo si protegge probabilmente le mani con piccole pietre. Quelli a destra battono l'oro con martelli di pietra. Da una tomba a Saqqara, 2400 a.C. circa.

Un'antica mappa egizia delle miniere d'oro segna i pozzi, le strade e le case temporanee (fig. 385). L'oro era principalmente raccolto nel deserto da spedizioni di esperti e da minatori. Questi ultimi erano criminali o prigionieri ed erano sorvegliati da soldati. Lo sfruttamento delle miniere aurifere era fatto da una impresa di stato, e gli orafi

acquistavano il materiale dallo stato oppure lo lavoravano nei templi sotto il controllo dei sacerdoti. Le analisi dei primi oggetti d'oro mostrano che quasi sempre il metallo conteneva impurità di argento, rame e ferro; l'affinazione venne fatta solo più tardi. L'oro allo stato nativo rimane colorato dalla presenza di queste impurità, e i fonditori egizi apprezzavano molto la varietà di tinta che essi sfruttavano abilmente nei loro disegni. Inoltre sia in Egitto che in Mesopotamia si preparavano artificialmente le leghe d'oro. Sembrerebbe che gli antichi ritenessero che queste leghe di diversi colori fossero prodotti distinti che l'orafo poteva trasformare a piacimento l'uno nell'altro. La sua abilità è sufficientemente dimostrata dal fine lavoro descritto altrove (cap. 23).

I processi di affinamento dell'oro, probabilmente derivati dalla metallurgia dell'argento praticata già da parecchi secoli prima, consistevano nella **coppellazione** con cui il **metallo nobile** veniva separato dai metalli di base. Nella coppellazione si aggiunge piombo all'oro grezzo e i metalli sono fusi insieme in un crogiuolo d'argilla porosa o coppella. Il piombo e gli altri metalli di base vengono ossidati da una corrente d'aria. Il risultante **litargirio fuso**, che scioglie anche tutti gli ossidi dei metalli di base, viene in parte soffiato via da un getto d'aria e in parte assorbito dalle pareti della coppella, lasciando un fondo di oro raffinato o, se nel minerale originale vi era dell'argento, di oro legato con argento.

Agararchide (2° secolo d.C.) è citato da Diodoro (III, 14, 3-4) per una sua descrizione della separazione dell'argento e dei metalli di base mediante una modifica del procedimento di coppellazione:

“Gli operai mettono l'oro grezzo in un recipiente di argilla e aggiungono piombo, un po' di sale e di stagno e pula di orzo. Quindi lo chiudono con un coperchio a perfetta tenuta, sigillato con mastice, riscaldandolo per cinque giorni e cinque notti in un forno. Dopo un conveniente periodo di raffreddamento, nessuno degli altri materiali si ritrova nel recipiente, ma solo oro puro.

In ogni caso durante la prima fase di questa operazione che si svolge fuori dal contatto dell'aria, la pula carboniosa dell'orzo agirebbe da agente riduttore. Nel contempo i metalli fonderebbero e l'argento verrebbe trasformato dal sale in cloruro di argento. Dobbiamo supporre che in un secondo tempo s'immettesse aria, forse attraverso delle screpolature: la pula finiva così di bruciare e i metalli di base venivano ossidati e assorbiti dal crogiolo. A questo punto si sarebbe tolto il coperchio e si sarebbe prolungato per qualche tempo il riscaldamento per completare la

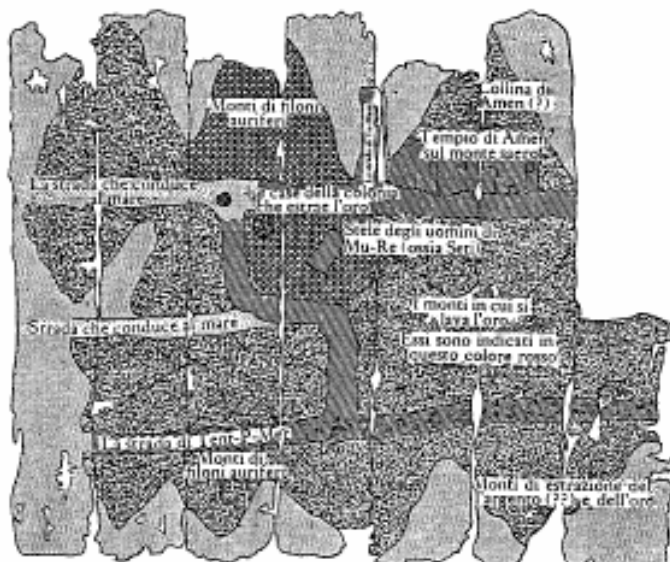


FIGURA 385—Mappa egizia su papiro indicante strade destinate al trasporto di una statua attraverso le miniere di oro dello Uadi di Hammamat nel deserto orientale, con traduzione dei geroglifici. 1300 a.C.

coppellazione.

Con un secondo metodo l'argento veniva separato mediante trasformazione in solfuro. La lega argento-oro era riscaldata con composti solforati, quali la stibina ( $Sb_2S_3$ ), e con carbone di legna. La stibina era un composto ben noto agli antichi e il suo impiego potrebbe giustificare la presenza di antimonio in alcuni oggetti d'oro. L'argento, trasformato in solfuro, poteva essere recuperato mediante coppellazione. L'**amalgamazione**, ossia la **soluzione dell'oro nel mercurio**, seguita dall'evaporazione del mercurio, era praticata dai Romani. Essa era probabilmente sconosciuta in epoca più remota, a meno che il mercurio non sia "l'acqua di separazione" menzionata nella Bibbia (Numeri 31.23).

I metodi di affinamento erano stati probabilmente usati su piccola scala per saggiare l'oro mediante la perdita di peso. L'oro puro rimane brillante allorché è fuso in presenza di aria — la prova del fuoco di cui parla la Bibbia (Zaccaria 13.9). Un saggio rapido e grossolano poteva essere fatto sfregando il campione d'oro su una pietra di paragone (la lidiana o basanos) e confrontando lo striscio col colore di quello ottenuto con oro a titolo noto. Le lettere di Amarna, che risalgono al 1500 a.C. circa, fanno riferimento alla purezza dell'oro e ai metodi di affinazione e di analisi.

L'oro, essendo relativamente tenero e plastico, ha poche applicazioni pratiche, ma è stato sempre altamente pregiato per ragioni estetiche e magiche. Essendo prodotto e lavorato in piccole quantità, esso non risentì mai dei limiti posti alla metallurgia del Vicino Oriente dalla mancanza di combustibile. Gli oggetti d'oro, provenienti da Ur e dall'epoca delle piramidi, non sono stati forse mai superati per eccellenza di lavorazione (cap. 23).

## **ARGENTO E PIOMBO**

Sebbene l'**argento nativo** si trovasse nel Vicino Oriente e sebbene fosse usato dagli antichi, esso non poteva mai costituire un'adeguata fonte di approvvigionamento. È significativo il fatto che argento e piombo compaiano per la prima volta contemporaneamente negli scavi. In Egitto ciò avviene nel periodo predinastico (prima del 3000 a. C.), in Mesopotamia dal periodo di Uruk III (3000 a.C.). Magnifici lavori in argento sono stati rinvenuti a Ur e a Lagash. L'argento e il piombo sono rinvenuti a Creta negli strati del medio minoico 2000-1600 a.C. circa; in altre regioni, come la Palestina, essi diventano comuni soltanto dopo il 1400 a.C. Nell'Europa preistorica, l'argento e il piombo non sono, in genere, anteriori al periodo di La Tène (300 a.C. circa).

L'argento e il piombo erano strettamente collegati, poiché entrambi erano ricavati dallo stesso minerale, la galena. Questo minerale è un **solfuro di piombo**, che di solito contiene una piccola percentuale di argento. La galena è molto diffusa ed è spesso associata ai minerali di rame. La sua lucentezza metallica potrebbe aver attratto l'attenzione dei primi fonditori di rame. I pochi giacimenti di galena nell'antico Egitto erano coltivati soltanto per produrre il bistro; in certi casi il piombo che più tardi venne ottenuto da questi minerali conteneva una piccola quantità di argento. L'Arabia, la Palestina e la Siria sono notoriamente povere di giacimenti sfruttabili di galena; di conseguenza, il piombo e l'argento, essendo prodotti di importazione, compaiono tardi in queste regioni. Dubbio che i ricchi giacimenti dell'India, dell'Afganistan e della Persia occupassero una parte importante nell'antico Vicino Oriente dove si sarebbe data più importanza ai numerosi depositi di galena ricchi di argento esistenti nei monti dell'Armenia e nella parte centrale dell'Asia Minore occidentale. La tradizione classica e le testimonianze archeologiche convergono entrambe a localizzare nell'Asia Minore nord-orientale il luogo d'origine dell'argento. La "terra dei Calibei", così importante come antico centro della metallurgia, era il distretto minerario degli Ittiti, la cui capitale ha infatti il nome derivato dall'ideogramma usato per indicare l'argento. L'Asia Minore deteneva il monopolio quasi assoluto della produzione dell'argento e le città sumeriche e assire inviavano i loro mercanti presso gli Ittiti per acquistare l'argento e il piombo prodotti in quella regione. I primi potentati — come ad esempio Sargon il Grande di Giudea, re di Lagash — inviarono spedizioni per l'acquisto di questi metalli nelle "montagne di argento" dell'Armenia. Le tavolette cappadociane (2000 a.C. circa) mostrano tuttavia che vi erano in quel tempo colonie permanenti di mercanti mesopotamici nella terra degli Ittiti, che acquistavano argento grezzo e affinato, piombo puro e in pani, racchiusi in recipienti sigillati per evitare la manomissione durante il viaggio. Dai resoconti è evidente che se ne producevano diverse qualità. L'argento era usualmente venduto in barre ed era inviato nella madrepatria in quantitativi quattro volte superiori rispetto a quelli del piombo.

Dopo la sua introduzione agli inizi del terzo millennio a.C. la produzione di argento e piombo si diffuse gradualmente a occidente dell'Egeo — a Creta e in Europa — e a Oriente dove furono sfruttate prima le miniere che si trovavano a nord della Mesopotamia (nella terra allora denominata Urartu) e nella regione di Elam e della Carmania e, in un secondo tempo, le miniere poste nella regione di Bactria. Nel primo millennio a.C. l'argento e il piombo erano metalli di uso comune in tutto il Vicino Oriente, salvo che in Egitto dove questa fase della metallurgia subì un ritardo di altri 400 anni. I quantitativi di questi metalli prelevati in forma di tributo e di bottino dal re assiro Tukulti Ninurta II (889-884 a.C.) testimoniano l'esistenza di una larga produzione. Un quantitativo compreso tra 400 e 1000 kg di piombo e 100 kg di argento fu la preda bellica di questa spedizione nelle montagne settentrionali, il che sta a denotare che la regione tra il lago Van e il lago Urmia già produceva in quantità questi metalli. In Egitto, invece, sebbene fosse cominciata l'importazione, il valore relativo dell'argento rispetto all'oro si manteneva ancora nel rapporto di 1 a 2 all'epoca dell'occupazione persiana. Il viceré persiano dell'Egitto trasse profitto da questa strana situazione e si arricchì introducendo nel paese la coniatura di monete d'argento. Gli approvvigionamenti di argento divennero abbondanti in Egitto soltanto nel periodo ellenistico, allorché il prezzo dell'argento cadde fino a un tredicesimo di quello dell'oro (cfr. anche p. 596).

La produzione dell'argento e del piombo introdusse nella metallurgia generale i metodi di lavorazione dei solfuri e la coppellazione.

La lavorazione della galena consiste in una desolfurazione parziale mediante arrostimento, seguita dalla riduzione del prodotto ottenuto e cioè del **litargirio** (ossido di piombo). Un semplice forno a suola aperta oppure un fossato inclinato era sufficiente. Il combustibile e il minerale venivano mescolati intimamente oppure accatastati in strati alterni. Un tiraggio naturale o artificiale forniva l'aria necessaria. Parte dello **zolfo** sfuggiva sotto forma di anidride solforosa, ma una parte rimaneva sotto forma di galena non trasformata e di solfato di piombo. Raggiunto il necessario grado di desolfurazione, si aumentava la temperatura e il litargirio, il solfato di piombo e la galena reagivano per formare il piombo che si raccoglieva al fondo del forno, mentre lo zolfo residuo si volatilizzava in forma di anidride solforosa. Il **carbone di legna**, aggiunto come combustibile, impediva la riossidazione. Il prodotto era una lega di piombo-argento più dura del piombo duro; essa conteneva molte impurità, come l'antimonio, il rame, lo stagno e l'arsenico. Questo antico processo riuniva in una le due fasi moderne di arrostimento e di riduzione. Sebbene la tecnica fosse relativamente semplice, le reazioni chimiche erano corrispondentemente complesse e l'antico metallurgo non aveva ancora la conoscenza adatta per controllarle. Il risultato era inevitabilmente una bassa resa. Una delle principali fonti del benessere per Atene erano le miniere del Laurio, anche se è stato calcolato che i cumuli di scorie colà esistenti contenessero più di un terzo dell'argento originariamente contenuto nel minerale. Dette miniere sono state vantaggiosamente ricoltivate a più riprese in tempi successivi.

Nonostante questi metodi rovinosi, si otteneva un **piombo argentifero** certamente abbastanza puro da altri metalli di base, da cui si ricavava l'argento mediante coppellazione. La scoria di litargirio poteva essere usata come tale oppure poteva essere ridotta con carbone di legna a piombo metallico. I reperti di argento puro a Ur, a Troia (sei barre di argento purissimo) e in altre località, oltre che fornirci dei dati storici, ci portano a concludere che la coppellazione fu inventata nell'Asia Minore nord-orientale nella prima metà del terzo millennio a.C. Il crogiolo di affinamento e l'eliminazione dei metalli di base sono frequentemente menzionati nella Bibbia (*Proverbi* 17.3; *Geremia* 6.29 e 30 *Salmi* 12.6). Verso il 600 a.C. la coppellazione era ben conosciuta.

La liquazione, un metodo per estrarre l'oro e l'argento da altre fonti, quali certi tipi di rame grezzo, era forse, in questo stesso periodo, già nota nel Vicino Oriente. Essa consisteva nella preparazione di una lega del metallo grezzo con piombo, che veniva poi fusa lentamente. Il piombo defluiva trascinandosi in soluzione i metalli preziosi e lasciando una miscela porosa dei rimanenti metalli di base. La liquazione era seguita da coppellazione.

Pesi, anelli e barre di rame e piombo furono le prime monete dell'antico Vicino Oriente; essi furono ben presto rimpiazzati dall'argento e dall'oro, che però servivano più sovente soltanto come campioni di confronto, dato che i pagamenti veri e propri erano fatti in rame e piombo. Il rapporto di valore tra argento e oro fornisce un indice interessante della produzione di argento. Esso fu relativamente alto nei periodi più remoti in Mesopotamia (1 :8) e aumentò ancora più (fino a 1:6) nel regno di Hammurabi, forse a causa di disordini in Asia Minore e in Armenia. Subito dopo esso



scese a 1:10 e rimase a tale livello per un lunghissimo periodo. Nei tempi neobabilonesi e persiani il rapporto oscillò tra 1:12 e 1:13.

## **RAME**

La tecnologia del rame, il più antico metallo utile, è di gran lunga più importante di quella dell'oro o dell'argento. Tutte le fasi importanti della metallurgia prima della scoperta del ferro sono presenti nella sua storia.

Il **rame allo stato nativo** si trova in moltissimi luoghi in forma di **particelle**, saltuariamente in **granuli** e molto di rado in grandi masse. Nell'alveo di torrenti montani, dove spesso c'è l'oro, si trovano talvolta dei noduli di color verde-porpora e nero verdastro che, allorché raschiati, mostrano un nucleo di rame allo stato nativo. Essi sono duri da lavorare; il metallo allo stato nativo tuttavia si ritrova anche in sottili lamine e in forme dendritiche che sono molto più lavorabili. Con la scoperta della **ricottura**, che elimina l'infragilimento causato dalla lavorazione a freddo, si poterono utilizzare noduli più duri e così costruire oggetti più grandi. La microstruttura caratteristica del rame allo stato nativo è stata riscontrata in diversi oggetti molto antichi in Egitto, Asia Minore, Mesopotamia, Palestina e nella valle del Danubio.

Nell'antico Vicino Oriente le riserve di rame allo stato nativo si esaurirono ben presto e il minatore dovette ricorrere ai **minerali di rame**<sup>3</sup>. La prima classe di minerali di rame (e cioè **cuprite**, **malachite**, **azzurrite**) comprende carbonati e ossidi. Essi possono facilmente ridursi a metallo mediante riscaldamento con carbone di legna. La seconda classe di minerali (e cioè calcosite, calcopirite, bornite, covellite) consta di composti solforati di rame, talvolta mescolati o combinati con altri metalli o metalloidi, quali il ferro, l'antimonio e l'arsenico. Questa classe è più comune della prima e generalmente la si trova in giacimenti più profondi. I più importanti e più antichi giacimenti di minerali di rame si trovano nel Sinai, in Siria, nel Belucistan e nell'Afganistan, nella Caucasia e nella Transcaucasia, nelle regioni del Tauro, a Cipro, in Macedonia, nella penisola Iberica e nell'Europa centrale. La tabella cronologica (tab. 4) indica il periodo approssimativo in cui sarebbero state usate per la prima volta le varie fonti di estrazione del rame.

La semplice riduzione dei minerali allo stato di ossidi e carbonati, unitamente alla fusione e alla colata del rame, dipende dall'introduzione di forni e crogiuoli nella metallurgia. Questo fu l'inizio di una vera età del metallo. Dapprima i forni erano piuttosto piccoli, appena sufficienti a fornire un'adeguata quantità di metallo per fare dei piccoli arnesi, come le punte di freccia. Solo gradualmente si riuscì a costruire forni dove si accatastavano strati alterni di carbone e di minerale. Ma anche allora le masse spugnose di metallo incompletamente fuso mescolato a scorie e a carbone incombusto, che costituirono i primi prodotti della colata primitiva, non potevano avere un aspetto del tutto incoraggiante. Dalla grandezza dei **lingotti preistorici** (20-25 cm di diametro e cm di spessore) si può concludere che i primi forni metallurgici avessero un diametro di circa 30 cm.

Il trattamento dei solfuri è più complesso, poiché essi contengono generalmente ferro e altre impurità. Per esempio, la **calcopirite**, uno dei più comuni solfuri di rame, ha la formula **CuFeS<sub>2</sub>** e usualmente contiene tracce di arsenico, antimonio e bismuto. Il processo moderno mira dapprima ad ottenere un fuso di solfuro cuproso puro o metallina, e quindi ad ossidarla parzialmente allo stato fuso stesso in modo che il solfuro e l'ossido cuproso reagiscano insieme per formare rame e anidride solforosa. Il minerale viene prima arrostito per eliminare lo zolfo superfluo e la maggior parte dell'arsenico, dell'antimonio e del bismuto come ossidi volatili. Quindi viene fuso con coke e fondenti silicei. Con questa operazione si separa una metallina fusibile di rame costituita essenzialmente da solfuro cuproso e in misura minore da composti di ferro; la maggior parte del ferro originariamente presente passa tuttavia nella scoria sotto forma di silicato ferroso. Nella terza fase si immette una corrente d'aria nella metallina fusa. Il ferro, avendo maggiore affinità del rame per l'ossigeno, è il primo a ossidarsi e a essere assorbito dalla scoria. La corrente d'aria continua finché un dato quantitativo di solfuro cuproso non viene trasformata in ossido; il solfuro e l'ossido reagiscono quindi assieme per dare un rame a circa il 98% di purezza.

---

<sup>3</sup> Cuprite Cu<sub>2</sub>O; malachite CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>; azzurrite 2CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>; calcosite Cu<sub>2</sub>S; calcopirite CuFeS<sub>2</sub>; bornite Cu<sub>3</sub>FeS<sub>3</sub>; covellite CuS.

Questa è una moderna descrizione del processo, ma le cose non erano naturalmente formulate con altrettanta chiarezza dall'antico metallurgo. Per eseguire una approssimativamente completa estrazione da minerali solforati, egli deve aver fatto ricorso a varie fasi successive di arrostimento, di fusione con carbone e di fusione in corrente d'aria. Come alternativa poteva ricorrere a un processo semplificato, ma di minore efficacia, col quale estraeva soltanto una piccola percentuale di rame. Lasciando da parte lo studio degli attuali metodi primitivi, una notevole luce viene fatta su questi metodi dai residui e dai cumuli di scorie delle fonderie di rame dell'età del bronzo che si trovano nelle Alpi orientali. La produzione in queste regioni può aver avuto inizio fin dal 1700 a.C. (l'epoca degli Hyksos in Egitto); secondo una valutazione sarebbero state prodotte circa 20.000 tonnellate di rame tra il 1300 e l'800 a.C. Per l'arrostimento, che era del tutto distinto dalle altre operazioni, si preparavano cataste di minerale e di combustibile. Seguivano quindi tre fasi di fusione che portavano alla produzione di rame ad una purezza di circa il 95%. Nessuno dei lingotti finora rinvenuti ha una purezza superiore a questa, sicché si può supporre che esso non fosse affinato sul posto ma barattato allo stato grezzo.



FIGURA 386—Colata di una tetta di scorie di rame in una forma aperta. Il crogiuolo viene tenuto con un manico ripiegato.

Una blanda ossidazione è il metodo più semplice per l'affinazione del rame. Se attraverso il metallo fuso si fa passare un getto d'aria, tutte le impurità rimanenti, a parte i metalli nobili, vengono ossidate ed emergono in superficie; ma il processo è delicato, poiché se è troppo spinto, il rame stesso comincia a ossidarsi diventando di conseguenza fragile. Nei tempi più antichi l'affinazione era certamente condotta mediante la fusione del rame grezzo con carbone di legna in un crogiuolo oppure direttamente su un fuoco di carbone di legna e usando una corrente d'aria per l'ossidazione. L'estensione di questo processo, noto col nome di puddellazione<sup>4</sup>, sembra non fosse stato praticato prima dell'epoca romana.

Le varie composizioni dei primi oggetti di rame erano dovute ai metodi rudimentali di fusione e di affinazione, ed essi ci danno talvolta un'indicazione dei minerali usati. Man mano che l'abilità dei metallurghi aumentava, queste differenze scomparivano. Una caratteristica increspatura indica i lingotti di rame prodotti dalla fusione del solfuro. I primi lingotti di rame nero erano usualmente rotti in pezzi di tipica struttura colonnare cristallina. Successivamente nell'Europa occidentale e centrale essi assunsero la forma di pani rotondi, probabilmente raccolti dall'avancrogiuolo del forno fusorio. Nel Mediterraneo orientale erano sagomati a forma di pelli di bue e pesavano circa due talenti (70 kg). Essi servivano probabilmente come moneta, invece delle vere pelli di bue usate in precedenza. Sono stati trovati in Egitto, a Creta, a Cipro, in Anatolia e nella Siria (fig. 383).

Il rame e le sue leghe possono essere induriti soltanto mediante martellatura a freddo lungo i bordi di taglio. Così trattati, tali utensili possono raggiungere la durezza, ma non la resistenza alla rottura dell'acciaio dolce. Impossibile indurire il rame mediante riscaldamento e tempra, come l'acciaio; tale trattamento anzi raddolcisce il metallo. Gli utensili di rame venivano spesso riscaldati e martellati una seconda volta, e talvolta un inaccurato surriscaldamento provocava la formazione di ossido di rame. A causa del risultante infragilimento, l'utensile doveva essere scartato o usato come rottame.

La rarità di reperti delle più antiche fasi della metallurgia del rame può essere in parte giustificata dal fatto che gli utensili logori e rotti venivano adoperati come rottami di seconda fusione. Ammassi di tali rottami sono stati rinvenuti in Asia e in Europa. La scoperta della fusione in getti appartiene probabilmente al periodo Ubaid-Uruk della Mesopotamia (3500 a.C. circa). La colata veniva dapprima fatta in forme aperte (fig. 386) in cui si potevano rapidamente produrre piccoli oggetti piatti. La fusione in tondo fu agevolata facendo la forma in due o più parti. La tecnica più avanzata di fusione con anima e quella della cera persa erano anche conosciute e furono praticate con grande abilità (cap. 23).

## **LEGHE DI RAME**

<sup>4</sup> Poiché esso comportava l'agitazione del rame fuso con pali di legno verde.

Appena dopo l'alba dell'era del metallo, le **leghe di rame** cominciano a fare la loro comparsa nei reperti archeologici. A mano a mano che la conoscenza si allarga, risulta sempre meno probabile che una vera età del rame abbia preceduto quella del bronzo in qualsiasi luogo, salvo che in Egitto dove il bronzo entrò nell'uso comune soltanto verso il 2000 a.C. Ora le leghe di rame prodotte nel Vicino Oriente contengono non solo stagno, ma sovente piombo, antimonio, arsenico e zinco, e questo è vero anche per l'Europa preistorica. In genere prevalevano i bronzi di stagno, sebbene in alcune regioni vi fosse una preferenza per le leghe di antimonio o di arsenico. Nella maggior parte dei bronzi antichi la presenza dell'antimonio è tuttavia accidentale e la sua piccola percentuale non ha quasi alcun effetto sulla qualità del bronzo stesso. In Mesopotamia sono stati rinvenuti alcuni oggetti di antimonio puro. Il metallo proveniva indubbiamente dalla regione del Caucaso dove l'antimonio e il bronzo di antimonio sono abbastanza frequenti, specialmente dal secolo decimo a.C. in poi, attorno a Tiflis e a Kuba.

I minerali di antimonio e di arsenico erano usati per fare bistro, pigmenti e medicinali. I testi antichi fanno sovente confusione tra la stibina (solfuro di antimonio), l'antimonio e i composti del piombo. L'antimonio metallico e il suo composto solforato erano indubbiamente in uso, ma l'antico bistro, noto come stibium, era molto sovente la galena (p. 297).

In Ungheria sono comuni i reperti di antimonio puro e anche di bronzo contenente fino al 20% di antimonio. Si ha ragione di credere che questi erano prodotti nella regione di Velem St. Vid dove si trovano minerali misti di antimonio e rame. La loro fabbricazione può essere avvenuta casualmente; ma più tardi, quando fu isolato l'antimonio, si fabbricarono bronzi artificiali di questo tipo che vennero perfino smerciati nelle abitazioni lacustri svizzere. L'antimonio può essere facilmente preparato dalla stibina mediante fusione e la conoscenza di questo metodo si diffuse assai presto in larghe zone. La sua natura rimase sconosciuta sia nei testi preclassici che in quelli classici. Plinio e Dioscoride ammoniscono i lettori a non portare troppo oltre certe reazioni coi composti di antimonio "a evitare che il residuo si converta in piombo".

Molti **bronzi antichi** contengono alte percentuali di arsenico, inclusi alcuni bronzi provenienti dall'Egitto, dal Caucaso, dalla vallata dell'Indo, dall'Ungheria e dall'Europa centrale. Soltanto in quest'ultimo caso sembra vi sia stata una riuscita intenzionale lavorazione di minerali misti. Nella maggior parte degli altri casi, invece, l'alto tenore di arsenico ha reso i bronzi troppo duri e fragili, anche se particolarmente colabili.

Il **bronzo di stagno** con la sua **maggiore resistenza meccanica**, la sua **più elevata durezza** e le sue **migliori proprietà di colabilità**, era assai più utile del rame non legato. Sfortunatamente nei testi si parla di rado dello stagno, e i più antichi esemplari rinvenuti negli scavi risalgono a qualche millennio dopo il primo impiego dei bronzi di stagno. L'unico minerale di stagno di qualche rilievo è la **cassiterite (SnO<sub>2</sub>)**, che si trova sia allo stato alluvionale che come minerale di filone. Il minerale alluvionale è spesso associato all'oro, come i minatori hanno affermato sin dal tempo di Plinio. Il recupero dell'oro da tali depositi mediante setacciatura o levigazione delle sabbie aurifere avrebbe fornito pesanti noduli di cassiterite nera, oltre alle scintillanti pepite e alla polvere d'oro. Infatti i Romani producevano minerale di stagno nella Spagna con lo stesso metodo di lavaggio usato in quella località per la coltivazione delle miniere d'oro.

A causa del completo esaurimento dei depositi di stagno nell'antico Vicino Oriente è difficile trovare indicazioni precise sulla loro ubicazione. Vi fu un intenso sfruttamento delle miniere di stagno nella Caucasia, come pure in alcune località dell'Asia Minore, della Persia e di altri paesi; l'Egitto tuttavia è totalmente privo di minerale di stagno e questo è probabilmente il motivo per cui il bronzo fu introdotto così tardi in quella regione. I moderni giacimenti esistenti in Africa e nell'Asia erano oltre la portata delle razze mediterranee, ma in Europa diversi importanti giacimenti erano conosciuti e coltivati nell'antichità: nella Spagna (Cantabria), in Francia (Bretagna), nella Britannia (Cornovaglia) e nella Germania centrale.

Le miniere della Spagna entrarono in funzione dall'inizio dell'età del bronzo e furono continuamente coltivate fino all'epoca romana. Lo stagno era estratto dalle miniere ed esportato in Francia e nel Mediterraneo prima dell'inizio dell'età del ferro. I giacimenti della Bretagna meridionale furono coltivati verso il 500 a.C., ma debbono essere stati abbandonati più tardi a causa della concorrenza spagnola. La produzione stannifera della Cornovaglia entrò nel commercio internazionale verso il 500 a.C. (anche se la produzione locale poteva aver avuto inizio prima) e continuò fino ai tempi di Giulio Cesare. Lo stagno dell'Europa centrale esercitò una grande influenza sulla locale produzione di bronzo; esso pure, insieme con lo stagno spagnolo,

ebbe grande importanza nell'approvvigionamento dell'antico Vicino Oriente. Sfortunatamente non abbiamo testimonianze scritte o archeologiche su questa linea di rifornimento.

Man mano che i giacimenti di stagno del Vicino Oriente si esaurivano, occorreva fare delle importazioni da regioni più lontane, come la Spagna, l'Europa centrale e la Cornovaglia. Ci mancano dati attendibili circa l'entità delle forniture di stagno dal Caucaso.

L'estrazione dello stagno dalla cassiterite era abbastanza semplice. Per il minerale impuro che non poteva essere raccolto a mano, come nel caso dei depositi alluvionali, era probabilmente necessario eseguire un lavaggio e un arrostimento preliminari, ma queste operazioni erano ben conosciute. Il minerale veniva quindi ridotto in polvere e caricato nel forno a strati alterni con carbone di legna. Come era avvenuto con i più antichi metodi di affinazione, si riuscì a ottenere un metallo di purezza sorprendentemente elevata, ma a costo di rilevanti perdite del metallo sotto forma di scorie e, nel caso dello stagno, a causa della volatilizzazione. Strano che non sia stato trovato stagno metallico nei più antichi scarti di fonderia<sup>5</sup>. Esso forse non fu prodotto separatamente su larga scala prima del 1500 a.C., ma venne **fuso insieme col minerale di rame** oppure col **rame grezzo** per la preparazione del bronzo.

Nel considerare l'aggiunta dello stagno al rame sarà bene ricordare la stretta associazione di vene del minerale di stagno a minerali di rame che si ha in alcune località quali Tillek (Turchia), la Cornovaglia, la Boemia e alcune zone della Cina.

Si è spesso avanzata l'ipotesi che la fusione accidentale di minerali misti di rame e stagno abbia condotto alla scoperta del bronzo. E' probabile che tali minerali fossero fusi insieme per ottenere il bronzo, meno viscoso e assai più adatto del rame per leghe da fonderia. E' però difficile immaginare come le impurità del minerale di rame si possano ritenere dovute allo stagno alluvionale, che si trova sempre mescolato a zolle di terra e sabbia. Non vi è alcuna traccia dei primi sfruttamenti della cassiterite di filone, e sembrerebbe che, prima dell'epoca romana, tutto lo stagno fosse ricavato dai depositi alluvionali. E' difficile accertare quale importanza abbiano avuto i minerali misti di rame e stagno naturali nella storia generale del bronzo nell'antichità. Da recenti indagini effettuate sui bronzi preistorici dell'Europa centrale risulterebbe tuttavia che la produzione del bronzo ha avuto inizio dal trattamento dei minerali misti naturali e che solo in un secondo tempo si identificò il minerale di stagno in essi contenuto e si fusero miscele artificiali dei minerali o di rame grezzo con minerale di stagno.

Nell'antico Vicino Oriente sembra che la storia sia stata leggermente diversa. Nell'estrazione dell'oro mediante lavaggio si rinvennero noduli di cassiterite che furono sottoposti a riduzione da operai già specializzati nella produzione dell'oro, dell'argento e del piombo. Il metallo così ottenuto era considerato una varietà di piombo. Piombo e antimonio erano usati per aumentare la colabilità del rame, ma nessuno dei due migliorava le altre qualità, segnatamente la **resistenza meccanica**. Da tentativi effettuati con la nuova varietà di "piombo" si sarebbe appreso che la miscela così ottenuta era migliore sia dal punto di vista della resistenza meccanica che dal punto di vista della colabilità. Si sarebbe appreso anche che non era necessario produrre preventivamente questo nuovo metallo, dato che era sufficiente fondere il rame non affinato con carbone di legna e stagno alluvionale per ottenere un nuovo tipo di "rame", ossia il bronzo, con il quale si potevano fabbricare utensili ed armi di qualità superiore. Nello stesso periodo di tempo furono anche lavorati alcuni minerali misti naturali, e si riscontrò che essi fornivano direttamente "rame" di qualità migliore. Non abbiamo prove che il componente stannifero di questi minerali misti fosse stato mai isolato o identificato. Inoltre durante questa prima fase il tenore di stagno nel bronzo non poteva essere adeguatamente controllato, e perciò esso variava entro limiti abbastanza ampi.

Gradualmente i giacimenti alluvionali di stagno del Vicino Oriente cominciarono a esaurirsi. Noi rinveniamo in Mesopotamia scuri di rame puro martellato, di qualità inferiore, che risalgono al periodo dei Sargonidi, e cioè ad epoca successiva a quella in cui erano stati usati gli eccellenti bronzi di Ur. I cercatori e i commercianti incominciarono a tentare le vie dell'Occidente, nella speranza di trovare nuove fonti di stagno. Senza comportare un contatto diretto, questo lavoro di pionieri spiega la graduale introduzione delle varietà di metalli usate dai Sumeri nelle regioni del Danubio e infine nell'Europa centrale dove si rinvennero ulteriori riserve di stagno, segnatamente

---

<sup>5</sup> Una possibile spiegazione è che, a basse temperature, lo stagno ordinario si trasforma in una modificazione allotropica polverulenta denominata stagno grigio: fatto questo noto, a quanto pare, ad Aristotele.

in Boemia e nella Sassonia. Analogamente, il commercio marittimo portò lo stagno spagnolo nel Mediterraneo orientale. Queste varie importazioni compensarono la scarsità del materiale.

In epoca posteriore, verso il 1500 a.C., si comprese che un bronzo di composizione e qualità più costante poteva essere ottenuto se il minerale alluvionale di stagno fosse stato ridotto con carbone di legna e lo stagno risultante mescolato a parte col rame. Cominciò quindi la produzione di leghe a differente tenore di stagno, adatte in maniera specifica alla fabbricazione di armi, specchi, statue, campane e altri oggetti.



FIGURA 387.—Un tipico mucchio di oggetti di metallo dell'età del bronzo appartenenti probabilmente a un operaio metallurgico. Brandeburgo.

Probabilmente lo stagno proveniva ancora, per la maggior parte, dall'Europa centrale (fig. 387). Le prime esportazioni di stagno dalla Spagna o dalla Gallia non possono essere state molto importanti, tenuto conto della grande scarsità di reliquati della prima età del bronzo in quei paesi. Forse il commercio dello stagno spagnolo aumentò rapidamente soltanto alla fine dell'età del bronzo, spostando quindi lo stagno boemo dal primo posto. Da fonti ittite apprendiamo che il bronzo era trasportato da Cipro dov'è noto che non vi sono minerali di stagno; è dunque logico pensare che esso fosse importato. La strana composizione di alcuni bronzi di questo periodo può lasciar supporre che il bronzo usato provenisse da rifusione e ciò a causa dell'alto costo dello stagno. Questo processo comporta molti pericoli, come la parziale ossidazione dello stagno e

il conseguente abbassamento del suo tenore. Gli archivi di quel periodo indicano che lo stagno era probabilmente smerciato sotto forma di bronzo grezzo, dato che esso veniva lavorato soltanto nei centri di produzione del rame dove vi era importato dall'Occidente. Per un certo periodo si ritenne per certo che i Cretesi portassero direttamente lo stagno in Egitto. In quest'ultimo paese il bronzo fu comunemente usato soltanto verso il 1500 a.C., dopo che vi era stato introdotto circa 400 anni prima. Pare che i supposti "Cretesi", raffigurati su certi monumenti egizi, fossero invece Siriani o Anatolici che portavano lingotti di piombo. La prima barra di stagno trovata in una tomba egizia può essere fatta risalire al 600 a.C. circa, e le forniture di stagno divennero finalmente abbondanti solo nel secolo quinto a.C. La civiltà ellenistica mise a contatto diretto l'Egitto con le regioni produttrici di stagno quali la Spagna e la Cornovaglia.

Nell'Anatolia lo **stagno** fu per lungo tempo scarso e per questo, sebbene i primi bronzi in quella regione risalissero al 3000 a.C. circa, si usava ancora rame puro, e la percentuale di stagno rimase molto bassa fino al 2200 a.C., quando si cominciò ad usare più largamente il bronzo. Nella Caucasia i bronzi risalgono alla stessa epoca di quella dell'Anatolia, e le fonti locali di stagno assicuravano il costante afflusso del metallo. Nella Mesopotamia molti tipi di bronzi di piombo e di antimonio precedettero i bronzi veri e propri. Il primo chiaro riferimento allo stagno lo si ha negli annali assiri che parlano di un "bronzo bianco" prelevato dalle città soggiogate nei monti settentrionali. Riguardo alle fonti di stagno usate dalla civiltà dell'Indo non abbiamo dati attendibili. Esso probabilmente proveniva dai monti occidentali e nord-occidentali.

Lo **zinco**, talvolta rinvenuto negli antichi bronzi, non fu mai aggiunto al rame come tale, poiché esso era completamente sconosciuto nell'antichità. I cosiddetti **ottoni**, rinvenuti in alcuni scavi, sono bronzi con un certo tenore di zinco dovuto unicamente alle impurezze contenute nel particolare minerale usato. La storia dell'ottone appartiene alla metallurgia posteriore e non vi è alcuna testimonianza che gli antichi metallurghi sapessero fabbricarlo.

## FERRO

Che il ferro comparisse piuttosto tardi nella storia della lavorazione dei metalli è indicato nei miti e nelle pratiche rituali di molti popoli dai quali esso era guardato con sospetto. La vera età del ferro non ebbe inizio prima del 1200 a.C., ed il suo sviluppo è legato a una grande emigrazione di popoli, che disturbò quasi tutto l'antico Vicino Oriente, nonché a un temporaneo aumento nei prezzi di molte merci, segnatamente il grano. Ma l'effetto dell'introduzione del ferro doveva gradualmente estendersi e rendere meno costosa la produzione. I **minerali di ferro** sono ampiamente distribuiti e facilmente disponibili; gli utensili di ferro erano più economici e più efficienti di quelli di bronzo. Essi consentirono l'abbattimento di foreste, il prosciugamento di

acquittrini e il miglioramento della coltivazione su una scala assai ampia. Così il ferro fu il metallo più popolare ed esso accrebbe notevolmente le possibilità dell'uomo di dominare le forze della natura.

Il ferro si trova nelle **meteoriti** (ferro meteorico, con un sensibile tenore di nichel) e in molti minerali, quali la **magnetite** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), l'**ematite** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), la **limonite** ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e la **siderite** ( $\text{FeCO}_3$ ). Questi minerali erano conosciuti assai prima dell'avvento del ferro. Nessuno dei molti giacimenti di ferro esistenti in Egitto e nella Nubia era stato, a quanto si sa, coltivato nella remota antichità. I minerali a est del Giordano e quelli di Edom erano usati localmente, e così pure quelli della Siria settentrionale. Creta non possedeva alcuna miniera di ferro degna di rilievo, ma i pochi giacimenti colà esistenti furono certamente sfruttati sin dai tempi più remoti. Le più importanti miniere di ferro erano quelle dell'Asia Minore, del Tauro e delle catene dell'Armenia e del Caucaso, che, unitamente a quelle della Persia settentrionale, fornirono la maggior parte del ferro usato nel Vicino Oriente. In Europa vi erano giacimenti nelle province alpine orientali (che in tempi successivi dovevano costituire la provincia romana del Noricum), in Etruria, nell'isola d'Elba, nella Gallia, in Britannia e nella Spagna, e molti di essi erano stati sfruttati prima dell'epoca romana.

Può sembrare strano che il ferro entrasse nell'uso generale tanto più tardi del rame, dal momento che la temperatura di riduzione degli ossidi di ferro non è molto diversa da quella richiesta per la riduzione degli ossidi di rame. Tuttavia uno studio delle tecniche di fusione del ferro servirà a dimostrare le difficoltà incontrate. Per più di due millenni la fusione di alcune varietà di pietre colorate in un forno a carbone di legna aveva prodotto un flusso di metallo. Esperimenti con altri tipi di pietre, compresi i minerali di ferro, furono probabilmente fatti; ma da essi non si ebbe quella catena di eventi così ben fissata nella mente del fonditore di bronzo. In base alla prassi da questi normalmente seguita, la fusione del minerale di ferro avrebbe portato a un "bloom", una massa spugnosa di pietra fusa butterata di buchi prodotti da bolle d'aria, con un aspetto che non si sarebbe proprio potuto dire metallico, com'è facile immaginare. I piccoli globuli pastosi di ferro, che solidificano subito dopo la riduzione a causa dell'alto punto di fusione del ferro (1535 °C), sarebbero rimasti nascosti nella massa di scorie. Soltanto con frequenti riscaldamenti e martellamenti si sarebbe potuto espellere la scoria e foggiare le particelle di ferro in un massello di ferro dolce (fig. 388).

I grandi centri di lavorazione del bronzo nell'antico Vicino Oriente, con i loro metodi speciali di fusione e di forgiatura, non offrono né buone occasioni per trattare casualmente il minerale ferroso né le condizioni adatte per un esperimento deliberato. La rarità dei primi oggetti di ferro e il fatto che essi non erano utensili, ma ornamenti, indicano chiaramente che non v'era ancora una tecnica definita per fondere gli abbondanti minerali di ferro.

L'origine meteorica della maggior parte dei primi reperti di ferro è stata accertata oltre ogni dubbio. A causa del suo tenore di nichel, il ferro meteorico presenta delle proprietà piuttosto simili a quelle dell'acciaio; esso poteva essere difficilmente lavorato in grandi quantità dai metallurghi del rame e del bronzo, i quali non disponevano di forni ad alta temperatura. Gli oggetti rinvenuti sono per lo più costituiti da piccoli masselli, laboriosamente foggiati coi metodi usati nella lavorazione della pietra, in anelli, amuleti, immagini e oggetti simili. Il ferro meteorico non poté mai essere un fattore di rilievo nello sviluppo della metallurgia del ferro, poiché, mancando le cognizioni di chimica, il nesso tra esso e i minerali di ferro dev'essere rimasto sconosciuto. D'altro canto, si era già chiaramente compreso che questo ferro era di origine celeste<sup>6</sup>.

Fin dalla prima metà del terzo millennio a.C. pezzi di ferro fabbricati dall'uomo compaiono in Mesopotamia a Tel Asmar, Chagarbazar e Mari; in Asia Minore ad Alaca e probabilmente anche in Egitto. Forse i minerali lucenti, come la magnetite e l'ematite, usati come pietre per sigilli, attirarono dapprima l'attenzione dei primi fonditori. Anche le ocre (limonite) erano ben note come pigmenti. Frammenti di ferro potrebbero essere stati prodotti nell'affinazione dell'oro, poiché della magnetite purissima si trova mescolata con la sabbia nella ghiaia aurifera della Nubia. Se fusa all'antica maniera egizia in un crogiuolo insieme con pula e paglia, una scoria ricca di ferro si sarebbe raccolta sulla sommità della massa nel crogiuolo e, direttamente al di sopra dell'oro, si sarebbe formato uno strato di ferro pastoso, che poteva esser stato forgiato in piccoli oggetti. Ma questo ben difficilmente potrebbe essere denominato un metodo vero e proprio di lavorazione dei

<sup>6</sup> La parola sumerica che designa il ferro significa metallo del cielo; per l'egizio, rame nero del cielo.

minerali di ferro.

È indubbio che l'antico fonditore provasse i minerali di ferro per ottenere il metallo, ma la scoperta che un massello di ferro saldato poteva essere ottenuto mediante martellamento di un bloom scaldato al calor rosso deve essere stata fatta dopo molto tempo. Dapprima il nuovo metallo non rappresentò alcun miglioramento sul rame e sul bronzo già disponibili. Esso era meno agevole da lavorare, richiedeva più combustibile e la lama ottenuta con la martellatura perdeva facilmente il filo. A un certo punto si scoprì che una ripetuta azione di martellamento e di riscaldamento (che portava il metallo a contatto col carbone), seguita dall'immersione in acqua fredda (tempra), conferiva al ferro una durezza maggiore di quella del bronzo. La scoperta di questo processo fu indubbiamente ritardata dal fatto che essa non poteva essere in alcun modo dedotta dalla conoscenza delle proprietà dei metalli già acquisita dall'operaio metallurgo. Il riscaldamento e il martellamento prima della tempra aveva trasformato la superficie del ferro saldato in acciaio a causa della diffusione del carbonio (cementazione), ed è soltanto con questo **ferro carburato**, ottenuto dai montanari dell'Armenia, che ha propriamente inizio l'età del ferro. Durante il periodo che va dal 1900 al 1400 a.C. circa l'uso di ornamenti di ferro fuso e di armi cerimoniali divenne gradualmente più comune.

Le proprietà del ferro dipendono in massima parte dal suo **tenore di carbonio**. Il ferro saldato contiene poco o niente carbonio ed è **tenero e malleabile**. La **ghisa** contiene tra l'1,5 e il 15% di carbonio, è dura e fragile e ha un punto di fusione più basso di quello del ferro saldato. L'**acciaio** è sotto questo aspetto un prodotto intermedio. Il suo tenore di carbonio può variare da 0,15 a 1,5% e le sue proprietà variano di conseguenza.

Nella prima metà del secondo millennio si comprese finalmente il nesso tra il ferro prodotto dall'uomo e il ferro meteorico. "L'acciaiatura" del ferro saldato fu un'invenzione dei Calibeï, così popolari nella tradizione classica; essi erano sudditi dei re Ittiti, i quali per circa 200 anni (verso il 1400-1200 a.C.) dettennero il monopolio di questa fabbricazione. Lentamente i nuovi oggetti di ferro acciaiato presero a diffondersi nell'antico Vicino Oriente. Nel 1200 a.C. la conoscenza della produzione del ferro dai suoi minerali era penetrata nell'Italia meridionale e il metallo stesso era divenuto di uso più comune anche in Egitto. Tuttavia le lettere scambiate tra il re degli Ittiti, Hattusilis III (1281-1260 a.C.) e il suo vicerè nella regione montana del Kizzuwadna indicano che, perfino allora, il ferro era ancora preparato in piccole quantità e unicamente nei monti dell'Armenia.

L'incursione dei popoli Traci e Frigi in Asia Minore e la successiva caduta dell'impero ittita esercitarono un'enorme influenza sulla diffusione della lavorazione del ferro. Molte tribù, compresi i fonditori provenienti dai monti dell'Armenia, furono spinte a est o a sud. I Filistei che lavoravano il ferro s'insediarono nella fascia litoranea del Canaan, i Midianiti presso i giacimenti di ferro di Edom e di Midian. La conoscenza della fusione del ferro e del processo di cementazione fu trasmessa a molti popoli. Tra il 1200 e il 1000 a.C. vi fu un rapido aumento nella lavorazione locale del ferro nell'Iran, nella Transcaucasia, in Siria e in Palestina; e Cipro, la Caucasia e Creta tennero subito dietro. I nuovi processi, che consentivano di produrre l'acciaio, un materiale uguale e persino superiore al bronzo, trovarono in tutti questi paesi la strada aperta in seguito ai precedenti tentativi di fusione del ferro. Ciò spiega il motivo per cui la fusione del ferro si propagò con assai maggiore rapidità di quella del bronzo.

In Europa la conoscenza della fusione del ferro fu trasmessa dall'Italia meridionale agli Umbri che stavano nei dintorni di Bologna. Il contatto degli invasori dell'Asia Minore con i fonditori di ferro fornì anche una via per la trasmissione delle nuove tecniche, attraverso la Grecia e i Balcani, alla regione delle Alpi orientali (Noricum). Ivi la lavorazione della siderite, che non contiene alcuna noiosa impurità quali lo zolfo e il fosforo, ma solo sensibili quantità di manganese, avrebbe fornito una buona lega malleabile nelle fonderie e nei forni primitivi. Sia i Celti che i Romani capirono questo e il Noricum divenne un po' come la Sheffield dell'antichità. Qualche secolo prima (verso il 600 a.C.) l'età del ferro era tuttavia cominciata colà nel periodo Hallstatt della preistoria. Dopo pochi secoli le tribù germaniche dell'Europa centrale impararono a fondere il ferro e i Celti della Gallia appresero tale conoscenza dai popoli del Noricum.

La fusione su larga scala dei minerali di ferro dipese dall'invenzione e dalla acquisizione di una



FIGURA 188—Schema di forno primitivo per la produzione di ferro dolce. Esso contiene strati alterni di carbone e di minerale, ammassati su una piattaforma circolare di pietra e ricoperti di argilla. Dei mantici inseriti nella cupola di argilla iniettano aria forata per molte ore. Il ferro si concentra in forma di massa spugnosa sul fondo.



serie di tecniche, utensili e procedimenti nuovi. Dapprima si riuscì ad avere una corretta scorificazione del minerale, variando il fondente in dipendenza della natura della ganga e usando la calce per la ganga silicea. In alcuni casi gli antichi fonditori sacrificarono parte della resa effettuando la fusione senza l'uso di fondente e perdendo nelle scorie buona parte del ferro che fu poi recuperato a più riprese dalle generazioni successive. Quindi si passò alla lavorazione del *bloom*, che doveva essere riscaldato una seconda volta in forni speciali e ripetutamente martellato per eliminare la scoria e per saldare i globuli di ferro. Ciò richiese la creazione di molle e di martelli atti a manipolare queste masse pesanti riscaldate al calor rosso. Infine vi fu la trasformazione del ferro saldato nel più utile acciaio. Le tecniche della **carburazione**, della **tempra** e del **rinvenimento** si svilupparono una dopo l'altra. La prima scoperta fu l'arricchimento di carbonio o cementazione mediante ripetuti riscaldamenti, a contatto con il carbone, e martellatura del lingotto di ferro saldato. Quindi si comprese il concetto della tempra, che consiste nel fissare, mediante raffreddamento rapido, la struttura posseduta dall'acciaio a certe temperature. Infine l'arte di raddolcire l'acciaio mediante riscaldamento a temperatura moderata e lento raffreddamento consentì all'antico fabbro di sacrificare un po' della durezza ottenuta in modo da avere un utensile più duttile e meno fragile. L'adattamento e l'interrelazione di queste tre tecniche determinarono il successo dell'antico fabbro, e siccome egli non disponeva dei moderni metodi per controllare la temperatura non fa meraviglia che spesso fallisse nel suo intento.

Tuttavia è chiaro che solamente la combinazione di queste tre tecniche poteva annunciare l'alba dell'età del ferro. Fu una nuova fase metallurgica, una rivoluzione tecnica vera e propria. Nella precedente età dei metalli l'attenzione si concentrava sulla **composizione** della lega (o sulle impurità del metallo); le proprietà del ferro, per converso, dipendono assai meno dalle sue impurità naturali e assai più dalla sua **lavorazione**, dalla **temperatura** a cui è stato riscaldato, dal sistema e dalla velocità di tempra, dalla durata e dalla temperatura di rinvenimento. L'età del ferro è la vera età del fabbro, che batte il martello sull'incudine e lavora alla forgia, così come noi ce lo raffiguriamo.

Dalle analisi chimiche apprendiamo che in Egitto, dal 1200 a.C. in poi, gli oggetti venivano soltanto carburati; tra il 900 e il 700 a.C. si apprese la tecnica della tempra e ai tempi romani si capì la funzione del rinvenimento. L'età del ferro vera e propria non inizia prima del 600 a.C. in Egitto, sebbene arnesi di metallo di color blu, e cioè di un colore che richiama quello del ferro, siano dipinti dal 2000 a.C. in poi. L'età corrispondente sarebbe, in altre regioni, alquanto più remota.

Nel 700 a.C. nella provincia egizia di Mero◆ nella Nubia ebbe inizio la fusione del ferro che penetrò quindi lentamente verso sud nel Sudan e nel resto dell'Africa. La prima serie di utensili di ferro risale alla dominazione assira in Egitto (670 a.C. circa). L'Egitto perciò non ebbe mai un ruolo importante nella prima storia del ferro<sup>7</sup>.

In Palestina il ferro fu introdotto dai Filistei, e il Vecchio Testamento attesta la superiorità che essi acquistarono in virtù di questo nuovo metallo fino al regno di Saul. Vi era un grande centro metallurgico a Gerar presso il confine egizio; i più antichi utensili e forni risalgono al 5100 a.C. circa. Blooms o barre di ferro, importati dal nord, furono usati per produrre utensili e armi.

---

<sup>7</sup> I più antichi reperti archeologici di ferro in Egitto sono costituiti dai seguenti esemplari:

- a) un pezzo proveniente dalla grande piramide di El-Giza, che si suppone appartenesse alla IV dinastia (2500 a.C. circa).
- b) Vari pezzi di scalpelli provenienti da Saqqara, attribuiti alla V dinastia (2400 a.C. circa).
- c) Diversi pezzi di picconi provenienti da Abusir della VI dinastia (2200 a.C. circa).
- d) Alcuni utensili rotti provenienti da Dahshur della VI dinastia.
- e) Un pezzo arrugginito, forse un cuneo, proveniente da Abido, della VI dinastia.
- f) Una grande punta di lancia proveniente dalla Nubia, della XII dinastia (1900 a.C. circa).

La genuinità della data di tutti i pezzi di questo elenco è dubbia; a) proviene da una fusione, ma è probabile che sia appartenuto a uno degli operai addetti agli scavi; b), c) e d) sono stati tutti segnalati da Maspero (1846-1919). Per il moderno archeologo, le testimonianze non bastano a garantire la data proposta. Il ferro arrugginito e) trovato da Petrie (1853-1941) ad Abido non era di ferro meteorico, ma non vi è alcuna prova che esso facesse parte di un attrezzo o di un'arma, e la sua posizione nella fondazione di un tempio è un mistero. E' difficile accettare la punta di lancia nubiana (f); sebbene il reperto e la data sembrino in ordine, essa appare di tipo moderno ed è poco saggio accettare quest'unico esemplare come testimonianza dell'uso del ferro nella XII dinastia.

Di maggiore importanza è un deposito di ferro trovato su uno scettro di selce nel tempio della vallata di Miccerino a El-Giza, IV dinastia. Il ferro non è di origine meteorica e si suppone che esso avesse un significato magico.



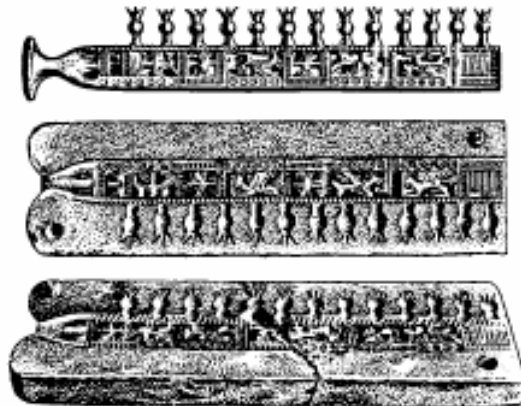
L'India e in un secondo tempo la Persia divennero famose per l'acciaio di crogiuolo, ma è difficile stabilire quando e dove questo processo fosse stato inventato. L'acciaio "serico" degli autori classici era, in realtà, non cinese ma indiano; probabilmente la scoperta fu fatta in India verso la fine del periodo che stiamo esaminando. L'acciaio dei Persiani o dei Parti era ancora una rarità in questo periodo.

La Mesopotamia entrò nell'età del ferro col regno del re assiro Tukulti Ninurta II (889-884 a.C.). D'allora in poi non abbiamo molte testimonianze sul ferro proveniente dalle regioni settentrionali. Sargon II (722-705) usò il ferro senza parsimonia, e quasi **50000 kg** di barre non lavorate furono rinvenuti nel suo palazzo. I documenti di questo periodo parlano sempre di "utilizzatori di mantici" e non di fonditori, il che verrebbe a convalidare la nostra supposizione che gli Assiri non fondevano i loro minerali ma fabbricavano gli utensili e le armi con ferro importato. Lo stato acquistava il ferro e lo forniva ai fabbri, dal magazzino centrale esistente in ogni città, per la costruzione di oggetti specificati nei contratti. Questo ferro proveniva dalla Siria settentrionale e dall'Asia Minore. I resoconti parlano di quantitativi di **4000 kg** e più acquistati o catturati durante le scorrerie. Una volta **18000 kg** di ferro furono inviati dalla città di Mari che lo importava da Damasco.

In Asia Minore il ferro è menzionato nei documenti — ed è stato trovato negli scavi — dagli inizi del secondo millennio a.C.; il nome accadico sembra risalire a una parola non semitica, la cui origine dev'essere ricercata in uno dei diversi linguaggi parlati nell'impero ittita. I più antichi oggetti di ferro imitavano i corrispondenti tipi di bronzo; quindi il bronzo fu usato per adornare gli oggetti di ferro e quest'ultimo per riparare gli oggetti di bronzo. Infine nel 1000 a.C. i fabbri scoprirono la tecnologia specifica per tale metallo. L'apice dell'antica metallurgia del ferro fu raggiunto verso l'800 a.C. Nella Siria settentrionale la fusione su larga scala del ferro si concentrò attorno alla più recente città di Doliche dove, secondo alcuni autori classici, "era nato il ferro". L'industria del ferro a Cipro non ebbe grande importanza e i documenti indicano chiaramente che il metallo e importato dall'entroterra anatolico. Né si può dire che Creta occupi un posto importante nella metallurgia del ferro. Le leggende degli dèi e dei dèmoni che, stando agli autori classici, sarebbero di origine cretese, avrebbero avuto origine nella metallurgia del ferro presso il monte Ida della Frigia, piuttosto che nel monte Ida di Creta.

La Grecia e la Macedonia ebbero molte fonderie primitive che erano soltanto d'importanza locale, la maggior parte del ferro preistorico europeo provenendo dal Noricum dove la produzione ebbe inizio col periodo di Hallsratt (p. 627) continuando quindi attraverso il periodo di La Tène fino ai tempi storici. In tutti gli altri giacimenti di ferro europei il lavoro non uscì mai dalla cerchia locale prima del 300 a.C. circa.

Poco si può dire sull'evoluzione delle fonderie e dei forni con tiraggio. I dati sono scarsi e discordanti, e inoltre occorrono studi più dettagliati. Tuttavia possiamo essere certi che ben difficilmente la ghisa fu ottenuta dai primi metallurghi del ferro, poiché i loro forni erano troppo piccoli e le temperature ottenibili troppo basse. La ghisa, se ottenuta per caso, era buttata via come un prodotto che non si adattava ancora nel modello tecnico.



Forma doppia di un oraso siriano e fusione ottenuta da casa, Ugarit (Rai Shamma). 1300 a.C. circa.