IL CICLO DELLA CERAMICA -

Estrazione dell'argilla - stagionatura.
L'argilla estratta può essere immediatamente lavorata o lasciata stagionare all'aperto per periodi anche lunghi. La stagionatura ha lo scopo di ottenere colloidi più puri, quindi più idratabili e più plastici, mediante la putrefazione di resti organici inglobati e l'eliminazione di materiali estranei.

Depurazione dell'argilla con acqua.
Ha lo scopo di separare i materiali con più alto peso specifico (pietre, sabbia, limo) dalla sospensione acquosa di argilla. Può essere fatta per sedimentazione dell'argilla in vasche periodicamente rimescolate, per levigazione in acqua corrente in vasche disposte a cascata, per setacciatura o alternando i precedenti metodi.
Il risultato è una sospensione più o meno fine di acqua e argilla detta "borbotina" che viene lasciata seccare fino ad avere una consistenza plastica.

L'impasto.
La plasticità ottenuta può non essere comunque quella necessaria alla successiva lavorazione o alle caratteristiche richieste per il prodotto finito: se la plasticità è troppo elevata (argilla grassa), durante la foggiatura il manufatto tenderà ad afflosciarsi o a fessurarsi durante essiccazione e cottura - se la plasticità è scarsa (p. e. eccesso di sabbia) la fognatura sarà difficoltosa e l'essiccazione rapida danneggerà il prodotto. L'argilla troppo plastica (troppo grassa) si può correggere con l'aggiunta di materiali inerti non idratabili detti dimagranti - quali la terracotta macinata (chamotte), la sabbia, la roccia tritata. L'argilla poco plastica andrà miscelata con argille migliori.
L'impasto ottenuto dovrà essere ripetutamente manipolato o battuto per eliminare le bolle d'aria; quindi il vasaio può foggiare l'oggetto aggiungendo la necessaria acqua d'impasto.

Essiccazione.
A foggiatura terminata il vaso dovrà essere messo ad essiccare, così da perdere l'acqua in eccesso e arrivare alla cosiddetta durezza cuoio. L'operazione deve avvenire lentamente e senza sbalzi di temperatura - spesso è attuata all'aperto, in luoghi riparati dal sole, freschi e arieggiati.
Solo a essiccazione avvenuta sono applicati eventuali rivestimenti che si lasciano asciugare prima di passare alla cottura.

Cottura.
Messi i vasi in fornace si avvia la combustione, e si ha in successione l'evaporazione dell'acqua residua in eccesso presente nelle argille e,

nell'intervallo di temperatura tra i 300 e i 600 °C, l'irreversibile evaporazione dell'acqua chimicamente legata all'argilla, che si trasforma definitivamente in corpo solido.

CORPO CERAMICO.

Le caratteristiche del corpo ceramico rilevabili con osservazioni macroscopiche sono colore, durezza,, porosità e presenza di inclusi. Questi ultimi sono spesso un'aggiunta intenzionale con funzione dimagrante.

Il colore può dare notizie relative alle condizioni di cottura e al tipo di argilla impiegata. In condizioni di cottura normali, argille che contengono ossidi di ferro cuociono dando un colore bruno-rossastro o rosso se la temperatura è alta e l'ambiente ossidante; la presenza di calcare ha invece effetto schiarente con variabilità dal giallo al rosato. Minerali argillosi puri cuociono in bianco. Il colore grigio può essere dovuto a più cause, fra cui l'incompleta combustione di sostanze organiche presenti nell'impasto, l'ambiente di cottura riducente che comporta deposizioni di carbonio colloidale, la formazione, ad alte temperature, di ossido di ferro, che ha colore grigio o nero. Tali variazioni possono presentarsi, in uno stesso frammento, solo come alterazioni visibili in frattura e l'esterno essere rossastro.

Durezza e porosità sono caratteri anch'essi dipendenti dalle condizioni di cottura, ma in maggior misura dalle caratteristiche dell'impasto. La durezza, distinguendo quella del dimagrante da quella del corpo ceramico, si può valutare empiricamente rilevando con quale materiale è possibile fare una scalfittura (p. e. con le unghie che hanno durezza 2-2,5, con una punta di rame, 3, con un vetro da finestra, 4,5, con una punta d'acciaio, 6 - scala di Mohs).

La porosità si può stimare al microscopio dal numero, tipo e forma dei pori su una unità di superficie che sia significativa del campione. Le modalità di frattura evidenziano la coesione del materiale, il tipo, la temperatura di cottura: si distinguono fratture concoidi, nette non concoidi, polverose, laminate.

INCLUSI E DIMAGRANTI.

Gli inclusi presenti nel corpo ceramico sono spesso visibili a occhio nudo: il riconoscerli ha il duplice scopo di facilitare il riconoscimento della zona di provenienza del materiale e di accertare se già presenti in natura o se aggiunti dal vasaio. Se aggiunti, possono provenire anche da zone geolitologiche diverse da quelle di provenienza dell'argilla.

Sempre aggiunta è la chamotte, mentre per la sabbia silicea e per altri minerali si deve valutare l'uniformità granulometrica e la presenza di spigoli vivi dovuti a macinazione indicanti aggiunta intenzionale. L'effetto dimagrante può essere ottenuto con l'aggiunta del calcare, facilmente macinabile, che, in cottura, si consuma, passando da carbonato a ossido e determinando porosità e leggerezza.

L'ossido, in seguito, a contatto con acqua o per umidità può idratarsi, rigonfiando e formando anidride carbonica, rendendo butterata da forellini millimetrici la superficie ceramica (vacuolare).

FOGGIATURA.

La foggiatura a mano può aversi partendo da una palla di argilla, da una sfoglia, da cilindri sovrapposti o da tutte queste varianti associate. Sui reperti tali distinzioni non sono quasi mai semplici a causa dei trattamenti superficiali e della cottura.

All'origine dei vari tipo di tornio vi fu certamente l'uso di una base rotante, anche una pietra, che evita al vasaio di girare intorno all'oggetto in lavorazione. Si designa con tornio lento lo strumento formato da un asse verticale che sostiene un disco piatto mosso manualmente dal vasaio o da un aiutante. Tornio veloce, o a pedale, è quello che dispone anche di un volano. La velocità e uniformità di rotazione consentite dal volano fanno la differenza, che non è sempre evidente sui reperti. Solchi di tornitura netti e forme complesse indicano in genere l'uso del tornio veloce.

La modellazione a stampo consente velocità di esecuzione e curati aspetti formali: da un originale, che può anche non essere ceramico, è ricavato lo stampo, generalmente di gesso o terracotta. La terra sigillata di età imperiale presenta spesso superficie esterna con motivi a stampo e interno con tracce di tornitura, essendo state abbinate le due tecniche ponendo la matrice sul tornio, così da associare decorazioni a rilievo e precisione formale in un prodotto seriale.

CONDIZIONI DI COTTURA.

L'evolversi delle fasi di cottura può essere diagrammato in una curva temperatura-tempo i cui punti importanti sono la gradualità del riscaldamento iniziale e del raffreddamento finale, la temperatura massima raggiunta e il tempo di permanenza a tale temperatura.

Con un'abbondante presenza di ossigeno resa possibile da un buon ingresso d'aria, e quindi un buon tiraggio e con un combustibile asciutto, la combustione è completa, la fiamma chiara, l'ambiente privo di fumo (ambiente ossidante). La ceramica avrà i colori più chiari fra quelli consentiti dall'argilla di partenza. Diversamente, se il tiraggio è scarso e il combustibile umido, o se volutamente si bruciano sostanze organiche come paglia e sterco, l'ambiente di cottura sarà riducente e la combustione incompleta provocherà un ambiente fumoso dovuto alle particelle di carbonio incombusto (nerofumo) che possono essere assorbite nei pori del materiale in cottura. L'assorbimento, se avviene solo nella fase centrale della cottura ed è poi seguito da condizioni ossidanti, provocherà all'interno delle pareti la comparsa di uno strato nero di grafite fra due strati esterni ossidati (effetto sandwich). Se l'ambiente riducente sarà presente

anche verso la fine della cottura l'annerimento permarrà anche in superficie. La volontarietà del trattamento, valutabile dai caratteri di costanza e uniformità dei reperti, può essere imputata all'effetto di parziale impermeabilizzazione delle superfici soprattutto quando l'impasto non è calcareo ma di tipo refrattario. Va tenuto presente che, a parità di temperatura, una cottura riducente richiede più combustibile di una ossidante.
Le notevoli variazioni della colorazione superficiale che molte ceramiche presentano su uno stesso oggetto sono effetto di atmosfere di cottura non omogenee, in seguito a cattiva circolazione dell'aria o per effetto di colpi di fiamma a loro volta conseguenti a difetti di infornatura. Tale aspetto può essere una caratteristica diffusa per alcune produzioni o, in altre, un evento casuale su pezzi difettosi.

RIVESTIMENTI.

Gli scopi principali del rivestimento sono il miglioramento estetico e l'impermeabilizzazione delle superfici. Ogni tipo di rivestimento richiede variazioni nel ciclo produttivo e impiego di materiali e strutture altrimenti non necessarie.
Un primo tipo di rivestimento è l'ingobbio, uno strato sottile e continuo di materiale argilloso che, applicato sul vaso a durezza cuoio, non essendo dissimile dall'argilla di impasto ne mantiene i caratteri di opacità, porosità e permeabilità. Spesso ha il compito di nascondere il colore del corpo ceramico a fini decorativi, consentendo anche l'esposizione parziale di zone non ingobbiate. Per la preparazione dell'ingobbio il processo non differisce da quello dell'argilla, se non nell'intensità della depurazione.
I rivestimenti che a seguito di cottura rendono impermeabile il vaso richiedono materiali diversi dalle argille, e in particolare l'uso di silice che, grazie all'aggiunta di fondenti, vetrifica già alle temperature di fornace (mai superiori ai 900-1000° C, contro i 1475 necessari alla fusione del quarzo). I diversi tipi di fondente aggiunti alla silice provocano effetti differenti.
Se il rivestimento vetroso è trasparente (sia incolore che colorato) si designa con il termine "vetrina"; si distinguono vetrine piombifere o alcaline. Il colore della vetrina dipende da fattori quali la presenza di impurità, l'aggiunta di pigmenti intenzionali, le condizioni di cottura. La vetrina può apparire scarsa, bollosa, non uniforme, cavillata. Se bollosa, il tempo di permanenza alla temperatura di fusione è stato insufficiente e non ha consentito l'espulsione di tutti i gas di reazione; se colata, o sparsa o localizzata solo in certi punti, se ne possono ricavare dati sulle tecniche di applicazione, ma anche sulla cura avuta e sulle destinazioni d'uso. La vetrina può essere applicata sia sul vaso appena essiccato sia dopo una prima cottura. Se il rivestimento è impermeabile ma non trasparente, viene detto smalto. Il componente fondamentale è il vetro, al quale

è aggiunto, come opacizzante, biossido di stagno, che in cottura non si scioglie e resta in sospensione impedendo la trasparenza (è coprente).
L'applicazione del rivestimento vetroso avviene per immersione su oggetti piccoli e per aspersione o a pennello su oggetti grandi; è seguita da una ulteriore essiccazione prima della cottura.

IL CICLO DEL VETRO.

Il componente primario del vetro è la silice e quindi sabbie molto elaborate (con almeno il 90% di quarzo) o rocce quarzose da ridurre in polvere (p.e. quarziti e selci). L'identificazione archeologica delle località di approvvigionamento è spesso impossibile dato che la materia prima è facilmente disponibile in qualsiasi area geografica.
Per facilitare la fusione della silice, consentendone anche una successiva lenta solidificazione e quindi un tempo sufficiente per la lavorazione, sono fondamentali le aggiunte di ossidi metallici, o alcali, di sodio, potassio, calcio e magnesio. Le provenienze di questi composti possono essere diverse, essendo noti, ad esempio, casi di sali di sodio ottenuti per evaporazione di acque salate e di sali di potassio dal tartaro depositato nelle botti di vino; più spesso carbonati di sodio e potassio, insieme a cloruri, solfati, carbonati e fosfati di calcio e magnesio erano ottenuti da ceneri vegetali. In questo caso il rapporto tra gli elementi chimici dipende dalla specie vegetale bruciata e dal suolo su cui è cresciuta; in genere, le piante costiere sono ricche di sodio, le altre di potassio. In Provenza, Sicilia e Siria la Salicornia era appositamente coltivata per ricavarne ceneri.
Terminata la mistura di ceneri e sabbia la stessa deve essere posta, sfusa o in crogioli, all'interno di una fornace e riscaldata per ore a una temperatura inferiore a quella di fusione, così da ottenere l'eliminazione delle impurità volatili e separare i residui rocciosi non incorporati.
La miscela così ottenuta era raffreddata in acqua, rotta, lavata e quindi fusa per ottenerne il vetro. La foggiatura era attuata allo stato fuso, a cui seguiva un lento raffreddamento.
Prima della scoperta della soffiatura tutte le lavorazioni erano fatte allo stato pastoso, con il sistema di rivestire un supporto mobile o uno stampo. La scoperta della tecnica della soffiatura, datata alla metà del I° secolo a C., consentì di ottenere contenitori con pareti sottili, risparmio di materiale, libertà di forme; la sua diffusione fu rapidissima a causa del processo di romanizzazione in corso.
Il colore è a volte ottenuto con l'aggiunta di composti metallici (cobalto per il blu, rame e ferro per il verde, antimonio per il giallo), ma spesso è conseguenza del permanere di impurità. La resa finale dipendeva molto dalle condizioni di

fornace e in particolare dalla durata della permanenza e dall'atmosfera (blu: atmosfera molto riducente; verde, ambra e marroncino: atmosfera molto ossidante e quindi buon tiraggio). Questi fattori, che influenzano anche trasparenza e opacità, fanno sì che esista tutto uno sfumare di colori intorno alle principali tonalità a causa di irregolarità in qualche fase del processo.
Le stesse condizioni di giacitura possono poi contribuire a creare patine di alterazione, tanto che vetri sepolti a contatto con carboni risultano spesso definitivamente anneriti. La formazione di patine per contatto con ossidi metallici è un processo relativamente rapido, e quindi la patina da sola non può essere ritenuta indizio di antichità. Con una lente d'ingrandimento è spesso possibile distinguere vari indizi delle condizioni di fabbricazione, tra cui l'omogeneità del materiale, eventuali striature a differente rifrazione, la presenza di inclusi opachi come piccole pietre, il numero, la forma e l'orientazione delle bolle d'aria nel vetro. Tali bolle consentono di distinguere le tecniche di foggiatura dei vetri da finestra, se "centrifugati" o "stesi". Le bolle possono essere distinte in microbollicine (punti appena visibili a occhio nudo), piccolissime (diam. 0,5 mm.), piccole (diam. fino a 1 mm.), grandi (oltre 1 mm.) e bolle eccezionali di cui si può descrivere la forma. Importante anche il numero: poche, molte, moltissime o meglio ancora un dato numerico per unità di superficie - e la diffusione delle bolle: sparse, addensate, diffuse.

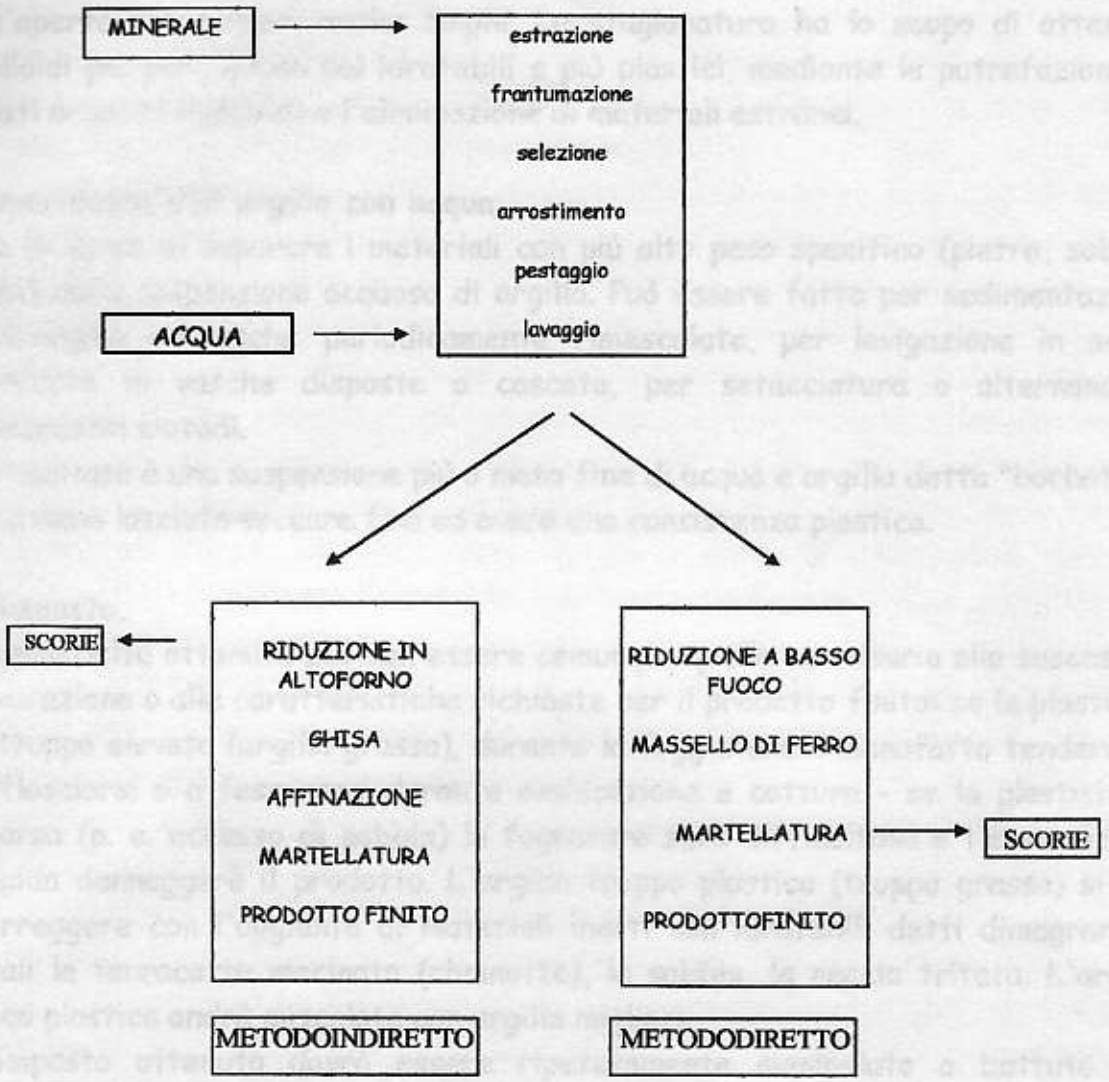
IL CICLO DEL RAME.

Il ciclo della lavorazione del rame dai minerali metallici, e non quindi la semplice purificazione e la lavorazione del rame nativo, comprende una serie di reazioni chimiche da ottenersi in fornace ad una temperatura di circa 1100°C. Il minerale di partenza può essere formato da più composti sia del rame che di altri metalli e contiene quasi sempre impurità inerti e non metalliche che complicano tale sequenza.
I primi minerali che possono essere stati usati nell'antichità e che consentono di semplificare una parte del ciclo sono gli ossidi di rame (cuprite) e il carbonato (malachite), presenti nei depositi superficiali e individuabili grazie ai loro colori, rispettivamente rosso e verde. Questi minerali, se puri, possono essere fusi direttamente secondo la reazione di ossidoriduzione. Tale reazione si attua con la combustione di carbone intimamente mescolato nella fornace al minerale e con la liberazione di anidride carbonica. Il rame liquefatto, a causa del proprio peso specifico, tenderà ad accumularsi sul fondo della fornace mentre verso la superficie della miscela liquida si concentreranno le particelle litiche aggregate sotto forma di scoria leggera da impurità sodiche o potassiche sempre presenti.

Più difficili da lavorare sono i solfuri di rame, che si presentano sotto la forma di calcocite e calcoprite; in questi casi necessita un passaggio intermedio, detto arrostimento, che richiede condizioni ossidanti e quindi può attuarsi in un focolare all'aria aperta. L'arrostimento comporta la trasformazione dei solfuri rameici in ossidi rameosi e quindi di questi in rame metallico. Al termine dell'arrostimento (che deve svolgersi lentamente) il processo in realtà non è mai completo, in quanto una parte del rame è ancora sotto forma di ossido, ma deve verificarsi l'eliminazione dei solfuri - che pregiudicherebbero il risultato finale. Il prodotto ottenuto consiste in una mistura di rame e ossidi di rame che può essere trattata in fornace con carbone, come per cuprite e malachite. Siccome i solfuri di rame presentano spesso abbondanti impurità di ferro, già dal IV millennio a.C. per eliminarle si sono messi in atto accorgimenti per separarle: ai solfuri di rame con impurità di ferro viene aggiunta silice, agli ossidi di rame con impurità silicee vengono aggiunti ossidi di ferro, avendosi, al termine di varie reazioni formazione di faialite, che si separa dal rame e può essere scartata.
La fase finale del processo è l'affinazione del rame in crogiolo, dove è possibile rimuovere le impurità residue sfruttando il calore e l'agitazione che le porta a galleggiare evitando di introdurne di nuove e accidentali, come potrebbe accadere in fornace.

IL CICLO DEL FERRO.

I processi di fusione del ferro si differenziano da quelli di altri metalli per l'elevata temperatura necessaria alla fusione. Nelle lavorazioni preindustriali questa temperatura non veniva raggiunta ed erano necessari complicati processi volti a ridurre il minerale e a purificarlo.
I minerali impiegati, al di là del ferro meteoritico, sono i carbonati e soprattutto gli ossidi sotto forma di ematite e limonite.
La prima fase del processo è la separazione del minerale ferroso dalla ganga non metallica, che si può attuare per frantumazione e lavaggio e selezione manuale. A temperature relativamente basse e in condizioni ossidanti, per le quali può bastare un fuoco a legna, il minerale viene poi arrostito, ottenendo l'eliminazione dell'acqua in eccesso e di quella combinata negli ossidi idrati e la disgragazione dei carbonati. Il minerale arrostito diviene quindi poroso e frantumabile. Nelle fornaci da ferro si ottiene poi un'ulteriore separazione fisica del ferro dalla ganga e una separazione chimica dei composti; l'aggiunta di fondenti alla carica della fornace serve ad accrescere la solubilità delle impurità e a separare la ganga dal ferro: se il minerale è basico l'aggiunta è formata da silice, se è acido da calcare.
Le difficoltà sono date dalla necessità di avere temoerature alte, di 1100-1150 °C, con una combustione povera di ossigeno; la massa di ferro prodotta dalla

fornace contiene sempre parti di ganga non separatesi e a questo punto necessita il riscaldamento al calore rosso e la martellatura per espellere dalla massa quelle parti che indebolirebbero il metallo.
Il processo qui descritto è il più antico usato per ottenere il ferro e prende il nome di metodo diretto, o basso fuoco, perchè ottiene la trasformazione diretta dei minerali in ferro con bassissima percentuale di carbonio: del tutto casuale in questo processo poteva essere la trasformazione di ghisa o acciaio.
Nel tardo medioevo viene scoperto un diverso metodo che procede trasformando il minerale in ghisa e poi questa in ferro: tale metodo è chiamato quindi indiretto ed è tipico degli altiforni. Prodotta la ghisa, in fucina viene riscaldata allo stato pastoso in presenza di corrente d'aria ottenendo ferro malleabile. Le successive lavorazioni caratteristiche comprendono lavorazioni a freddo e a caldo - fra queste la battitura per eliminare le scorie e foggiare il materiale (spianatura, curvatura, piegatura, strozzatura, torsione)e procedimenti quali la bollitura e la legatura per collegare pezzi singoli, la brunitura e l'acciaiatura che con sequenze di tempera e rinvenimento mira a modificare le caratteristiche del metallo.Queste fasi richiedono l'uso di utensili appositi come tenaglie, stampi, taglioli, scalpelli, incudini, che non lasciano però residui tali da poterli distinguere nel corso dello scavo di un'officina. Della loro esistenza informano gli stessi prodotti finiti.

SCHEMA DELLA LAVORAZIONE DEL FERRO - METODO DIRETTO (BASSO FUOCO) E INDIRETTO (ALTOFORNO, CANNECCHIO).