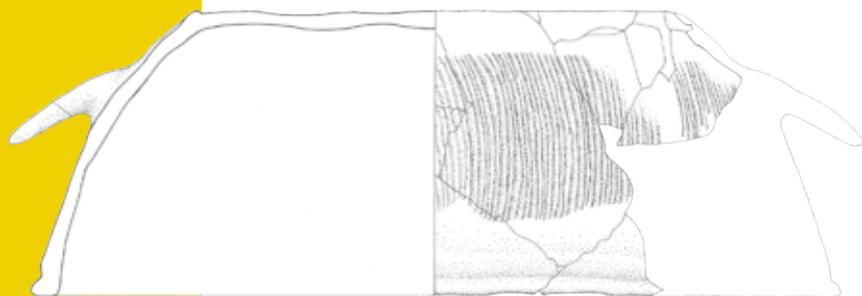




QUADERNI FRIULANI DI ARCHEOLOGIA



ANNO XXXIII - N. 1 - DICEMBRE 2023

QUADERNI FRIULANI DI ARCHEOLOGIA

Pubblicazione annuale della Società Friulana di Archeologia - numero XXXIII - anno 2023
Autorizzazione Tribunale di Udine: Lic. Trib. 30-90 del 09-11-1990

© Società Friulana di Archeologia
Torre di Porta Villalta - via Micesio 2 - 33100 Udine
tel./fax: 0432/26560 - e-mail: sfaud@archeofriuli.it
www.archeofriuli.it

ISSN 1122-7133

Direttore responsabile: *Maurizio Buora*

Comitato scientifico internazionale: *Dott. Angela Borzacconi* (Direttore del Museo Archeologico Nazionale di Cividale del Friuli); *Assoc. Prof. Dr. Dragan Božič* (Institut za arheologijo ZRC SAZU - Ljubljana, Slovenia); *Dr. Christof Flügel* (Oberkonservator Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Landesstelle für die nichtstaatlichen Museen in Bayern, Referat Archäologische und naturwissenschaftliche Museen – München, Germania); *Univ. Doz. Mag. Dr. Stefan Groh* (Stellvertretender Direktor - Fachbereichsleiter Zentraleuropäische Archäologie; Österreichisches Archäologisches Institut - Zentrale Wien, Austria)

Responsabile di redazione: *Stefano Magnani*
Redattore: *Massimo Lavarone*

In copertina: forno per il pane dalla stanza D del castello superiore di Attimis.

Pubblicazione realizzata con il sostegno di



IO SONO FRIULI VENEZIA GIULIA



Le riproduzioni sono pubblicate su concessione del Ministero della cultura, Direzione regionale musei del Friuli Venezia Giulia DRM-FVG, prot. n. 2179 del 22 novembre 2023; è vietata la ulteriore riproduzione o duplicazione con qualsiasi mezzo.

Tutti i diritti riservati.

È vietata la riproduzione del testo e delle illustrazioni senza il permesso scritto dell'editore.

INDICE

SPAZIO URBANO ED EPIGRAFIA AD AQUILEIA

- Francesco Cassini, *Aspetto e carattere degli spazi pubblici di Aquileia repubblicana. Alcune riflessioni tra passato e presente* p. 7
- Lorenzo Cigaina, Susanna Sgoifo, *Le urne su supporto ad Aquileia: ricomposizione dell'iscrizione di Vedia Optata e suo contesto originario* p. 23
- Francesca Beltrame, *Alcuni aggiornamenti sulle iscrizioni funerarie cristiane di Aquileia: ricongiungimenti, confronti e nuovi contesti* p. 35

ANTICHITÀ

- Eva Christof, *Sculture incompiute o rilavorate ad Aquileia* p. 57
- Attila J. Tóth, Máté Bíró, Tamás Weiszbürg, *Una fibula di ottone del tipo Jezerine dai dintorni di Ráckeve, Isola di Csepel (Ungheria)* p. 71
- İclâl Özelce, Ergün Laflı, Maurizio Buora, *Nuovi motivi nella decorazione a stampo di un centro di produzione di ceramica dell'Anatolia occidentale durante il periodo tardo romano* p. 85
- Alessandro Pacini, *Nuovi dati sulla doratura a fuoco dei bronzi antichi* p. 99

DOSSIER ATTIMIS

- Valentina Flapp, *Frammenti di fondi con marchio a rilievo dal Castello superiore di Attimis* p. 113
- Maurizio Buora, *La decorazione a puntini nella ceramica grezza di Attimis* p. 123
- Maurizio Buora, *Forni per pane, contenitori di forma aperta e coperchi in ceramica grezza dal castello di Attimis superiore* p. 129
- Alessandra Marcante, *Il materiale vitreo rinvenuto nello scavo del castello di Attimis ..* p. 153
- Norme redazionali p. 163

NUOVI DATI SULLA DORATURA A FUOCO DEI BRONZI ANTICHI

Alessandro *PACINI*

Riassunto

In questo contributo si riportano i risultati degli esperimenti di doratura a fuoco effettuati su diverse leghe di rame. La riproduzione della tecnica di doratura ha riguardato tutte le fasi: dalla produzione delle leghe alla brunitura della doratura. Per quanto possibile sono stati utilizzati metodi di tipo antico. È stato studiato un caso particolare: la doratura a foglia su amalgama. I risultati degli esperimenti sono stati analizzati mediante microscopia elettronica a scansione (SEM) e microanalisi elettronica a dispersione di energia (EDS).

Parole chiave: archeologia sperimentale; doratura a fuoco; amalgama; foglia d'oro; brunitura; coloritura.

Abstract

New data on fire gilding of ancient bronzes

In this contribution we report the results of fire gilding experiments done on different copper alloys. The reproduction of the gilding technique started from the production of the alloys to the burnishing of the gilding. Ancient methods were used as far as possible. One particular case was studied: leaf gilding on amalgam. The results of the experiments were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive electron microanalysis (EDS).

Keywords: experimental archaeology; fire gilding; amalgam; gold leaf; burnishing, coloring.

INTRODUZIONE

Sono passati venti anni dalla pubblicazione dei miei primi esperimenti sulla doratura a fuoco dell'argento¹ e dieci dal lavoro sperimentale sulla doratura a fuoco delle leghe di rame². Ho adesso l'occasione di pubblicare per la Società Friulana di Archeologia un aggiornamento su questa particolare tecnica di doratura. Per la doratura a fuoco si usa l'amalgama di oro; con tale termine si identificano solo le leghe che hanno come componente il mercurio. Nel caso dell'amalgama d'oro la lega assume una particolare consistenza in base al contenuto d'oro nel mercurio che è liquido nel suo stato standard e che assume consistenza via via più pastosa con l'aumentare del contenuto di oro. Nella doratura l'amalgama viene spalmata sul manufatto metallico che si vuole dorare e viene poi riscaldata fino alla temperatura che permette l'evaporazione di gran parte del mercurio. Sulla superficie del manufatto resta un sottile strato di oro opaco che va lucidato con una vigorosa brunitura. Certe volte si fa un

trattamento finale, detto coloritura, il cui scopo è quello di rinforzare il colore giallo della doratura³ e, in certi casi, si può applicare anche un olio o una vernice protettiva. Scopo principale del presente contributo è quello di verificare la tecnologia di questo tipo di doratura su varie leghe di rame, proseguendo i miei primi studi sperimentali di doratura a fuoco dell'argento. All'epoca questo metodo era ormai sconosciuto tra gli artigiani e non molto approfondito tra gli studiosi di archeometallurgia, per cui avevo applicato le indicazioni date da Benvenuto Cellini nel suo *Trattato dell'oreficeria*, cap. XXVI. Quello descritto dal Cellini è un buon sistema, tanto che lo ritroviamo riproposto quasi alla lettera in alcuni manuali artistici moderni⁴ ed è lo stesso che è stato impiegato anche da uno scultore toscano contemporaneo, Enzo Scatragli, per alcune sue creazioni in bronzo. Non avrei approfondito certi passaggi di questa tecnica se non mi fossi trovato nella necessità di dorare alcuni provini, costituiti da tre differenti leghe di rame tipiche dei bronzi rinascimentali, per un confronto con i

manufatti originali. In effetti le leghe di rame, soprattutto se è presente un'alta percentuale di stagno, non ricevono facilmente l'amalgama come invece succede con quelle di argento. Italo Gherzi ⁵ riporta una scala di solubilità nel mercurio di alcuni metalli alla temperatura di 18°C: se per il ferro tale solubilità è pari a 0, per il rame è 0,00001. Osservando il diagramma di fase mercurio-oro, la solubilità del rame nel mercurio è 0.002-0.003 (percentuale in peso) fino a temperature intorno ai 400° C. In ogni caso si tratta di una miscibilità molto difficile. Un altro inconveniente delle leghe di rame in relazione alla doratura a fuoco è la loro facile ossidazione con formazione di cuprite e tenorite in fase di riscaldamento per facilitare l'evaporazione del mercurio. Sfruttando l'alta tensione di vapore del mercurio è stato sperimentato che si ottiene un rapido allontanamento del mercurio a una temperatura superiore almeno a 350°C ⁶, tra 400 e 460°C in base a mie misurazioni con pirometro analogico e termocoppia K, ma già a circa 250°C secondo Anheuser ⁷. Per quanto concerne il problema dell'adesione dell'amalgama sul rame o sulle sue leghe, sono le sostanze acide che possono influire positivamente, come ho potuto constatare durante gli esperimenti pubblicati nel 2013. Tuttavia, in quei primi esperimenti, non fu completata la doratura delle varie leghe di

rame, né furono fatte analisi scientifiche di alcun tipo. In questa occasione si è applicato un approccio sperimentale con il supporto di alcune analisi scientifiche condotte presso Laboratorio Scientifico dell'Opificio delle Pietre Dure di Firenze e il museo MuCiv di Roma.

LA REALIZZAZIONE DEI PROVINI

Sono state scelte dieci diverse leghe di rame per la doratura, alle quali si è poi aggiunto un provino più piccolo di rame puro (tab. 1; fig. 1). La 2 e la 3 sono leghe standard, la 7 è tratta da un manuale ottocentesco, le altre si riferiscono a leghe di reperti archeologici. Le leghe sono state preparate a partire da metalli puri al 99,99% (tranne l'ottone 67/33 procurato già pronto) reperiti presso la ditta Ekisson di Arezzo. Le percentuali dei metalli sono state pesate con bilancia Gibertini modello Europa con precisione al centesimo di grammo. Ciascuna lega è stata fusa in aria in crogiolo di grafite in fornello a resistenza elettrica. Alla temperatura compresa tra 1000 e 1100°C sono stati effettuati i getti in staffa di ferro chiusa tra due blocchi di arenaria refrattaria riscaldata a circa 300°C (fig. 2): le piastre di bronzo così ottenute sono state raffreddate all'aria, da

n. provino	Cu	Sn	Pb	Zn	Sb
1	96	2	2		
2	90	10			
3	67			33	
4	68	4	28		
5	72	28			
6	73	22	5		
7	75			25	
8	83	6	8	1,2	1,8
9	92,2	2,5	1,5	3	0,8
10	75	10	15		
11	100				
Percentuali in peso					

1. Bronzo (tipo Ercole Mastai). Adesione ottima. 2. Bronzo tipico età classica. Adesione buona. 3. Ottone standard moderno. Adesione buona. 4. Bronzo con molto Pb. Adesione buona/discreta. 5. Bronzo campanario (con molto Sn). Adesione pessima. 6. Bronzo (tipo colonna di Hildesheim). Adesione mediocre. 7. Ottone buono per dorare (secondo D'Arcet). Adesione buona. 8. Metallo (tipo porta dei Martiri di Donatello). Adesione buona. 9. Metallo (tipo porta del Paradiso). Adesione buona. 10. Bronzo al piombo romano (tipo Vittoria alata di Brescia). Adesione buona. 11. Rame puro. Adesione ottima.

Tab. 1.



Fig. 1. Serie dei provini in diverse leghe di rame. Mancano il provino n. 10 e il n. 11 realizzati in una successiva fase della sperimentazione. Il n. 1 è quello usato per la prova di applicazione della foglia d'oro sull'amalgama.



Fig. 2. Staffa di ferro e blocchi di arenaria refrattaria.

queste sono poi stati segati a mano i provini (45x13x4 mm). Lo spessore di 4 mm è stato scelto in quanto compreso nella media degli spessori della bronzistica antica. Dopo una leggera martellatura la superficie di una faccia dei provini è stata pareggiata con raschietto, quindi levigata con arenaria e poi con pomice, infine i provini sono stati sciacquati in acqua e asciugati. Durante questa prima fase di lavora-

zione ho potuto verificare le caratteristiche delle leghe: punto di fusione, fluidità durante la colata, capacità di riempire la forma, suscettibilità a inglobare gas con conseguente porosità del getto, durezza e resistenza alla lavorazione meccanica, colore, compattezza e potere riflettente della superficie. Nella scelta della lega destinata alla doratura gli artigiani o gli artisti, sia quelli dell'antichità classica che quelli moderni, devono aver ben considerato le suddette caratteristiche in combinazione con la capacità della lega di ricevere in modo soddisfacente la doratura. D'Arcet discute a lungo della questione, infine consiglia: Cu 82; Zn 18; Sn tra 3 e 1; Pb tra 3 e 1,5 (cap. I, p. 16, percentuali in peso). Sempre D'Arcet riporta la lega usata dai famosi fratelli Keller per produrre e dorare le statue del parco di Versailles, al tempo di Luigi XIV: Cu 91,4; Zn 5,53; Sn 1,7; Pb 1,37 (cap. I, p. 14). Altri autori hanno consigliato composizioni di leghe di rame destinate alla doratura a fuoco⁸, tutte queste leghe hanno in comune l'assenza o la bassa percentuale di stagno e piombo.

LA PREPARAZIONE DELL'AMALGAMA

Mentre negli esperimenti del 2013 avevo seguito le indicazioni di Cellini per la preparazione dell'amalgama a caldo, unendo 1 parte d'oro puro a 8 parti di mercurio, in peso, questa volta ho scelto un sistema a freddo, certamente meno tossico per la salute, unendo pochissimo mercurio a sottili ritagli di oro puro, quel tanto



Figg. 3-6. Fasi di preparazione dell'amalgama con mortaio e pestello di agata.

che bastasse a rivestire completamente i pezzetti di metallo prezioso. Ho messo i ritagli in un mortaio di agata con dei cristalli di allume di potassio e li ho macinati vigorosamente con l'aiuto di poca acqua. I cristalli si sono rivelati molto utili sia per la triturazione dell'oro, sia per il potere disossidante e detergente del potassio rispetto al mercurio. Allorché l'amalgama sembrava pronta, non scricchiolando più sotto il pestello, l'ho lavata ripetutamente con acqua fresca eliminando così i residui di allume e l'ho riposta in un contenitore chiuso. In questo caso non ho impiegato precise proporzioni, ma ho aggiunto il mercurio all'oro quel tanto che fosse sufficiente per ottenere una lega più pastosa possibile (figg. 3-6).

IL TRATTAMENTO DELLE SUPERFICI DEI PROVINI

Gli acidi nitrico e solforico, il cui impiego è sempre consigliato nei manuali europei di

XIX e inizio XX secolo e che sono usati ancora oggi dai doratori a fuoco in Oriente, non potevano essere stati impiegati in età classica. Sembra infatti che la loro distillazione non sia anteriore al XIII secolo⁹, almeno in area mediterranea. Ho dunque sperimentato l'uso di sali e altre sostanze seguendo le indicazioni tratte da testi più o meno antichi. In tutti i casi ho lavorato sulle superfici dei provini rifinite a pomice e ben disossidate. L'amalgama è stata messa sui provini con una spatolina ed è stata distesa con l'aiuto di una piccola 'grattabugia', cioè una spazzolina di sottili fili di ottone. La miscela di una parte di allume, una di sale (cloruro di sodio), due di salnitro (nitrato di potassio) e otto di acqua (in volume) ha funzionato bene e la si è usata per il provino n. 2. Una parte di 'gomma di botte' (bitartrato di potassio impuro color vinaccia che si forma come concrezione nelle vecchie botti di legno per vinificazione) e una parte di sale in soluzione acquosa è stata usata sul provino n. 3, ma

non ha dato buoni risultati: non riuscivo infatti a far aderire in modo uniforme l'amalgama, per cui ho ripulito la superficie del provino con la pomice. Dopo vari tentativi su pezzetti di bronzo 90% Cu e 10% Sn con miscele varie contenenti verderame, aceto, ammonio cloruro (sale ammoniaco), urina, 'misy' (un solfato di ferro impuro) che non hanno funzionato bene, ho usato per tutti i provini, eccetto il n. 2, il succo della piantaggine già sperimentato con successo negli esperimenti del 2013, questa volta filtrato attraverso un panno. Il succo limpido della varietà a foglia larga di questa pianta, raccolta in primavera e subito spremuta, applicato con uno spazzolino morbido sulla superficie dei provini, si è rivelato un ottimo *medium* per far aderire l'amalgama su tutte le leghe di rame.

LA DORATURA

Pochissima amalgama è stata spalmata molto sottilmente sui provini subito dopo la stesura del succo di piantaggine. L'amalgama si è attaccata subito ai fili d'ottone della grattabugia che ho potuto usare per tutti i provini senza doverla ricaricare ogni volta (sembra che frammenti di sottili fili di ottone siano stati trovati nella doratura delle due porte del



Fig. 7. I provini 4 e 10 in cui il piombo ha impedito la doratura.

Battistero di Firenze realizzate da Lorenzo Ghiberti). Il succo della pianta e la grattabugia carica di amalgama mi hanno permesso di avere quel film di mercurio perfettamente disteso sulla superficie dei provini per ottenere il quale, altre volte, avevo dovuto usare acido nitrico con un po' di mercurio dissolto. Per uniformare ulteriormente il film di amalgama, portandolo a una lucidatura quasi perfetta, vi si può passare sopra un batuffolo di cotone. È a questo punto che ho notato un'adesione differente dell'amalgama sulle varie leghe: ottima sul rame puro, quasi nulla sul provino n. 5, quello con alta percentuale di stagno. Tale difficoltà era emersa anche negli esperimenti del 2013. Dunque i bronzi cosiddetti campanari, ad alto tenore di stagno, non sono adatti per la doratura a fuoco dal momento che rifiutano in partenza l'applicazione dell'amalgama. Per definire empiricamente in tabella 1 il grado di adesione dell'amalgama ho scelto questa scala: nulla, pessima, cattiva, mediocre, discreta, buona, ottima. Sul film di amalgama ho potuto aggiungere senza problemi altra amalgama, cercando di creare uno strato comunque uniforme. A questo punto ho riscaldato con la fiamma di una torcia a gas propano i provini, eccetto il n. 5, fino al momento in cui si vede l'evaporazione del mercurio e, contemporaneamente, la formazione dello strato giallo d'oro. Il fenomeno avviene in pochissimo tempo e basta insistere pochi secondi in più perché si formi una forte ossidazione che ben presto ingloba la doratura, facendola sparire. A questo punto diventa difficile recuperarla, anche dopo un bagno caldo di acido solforico diluito al 10% capace di dissolvere completamente gli ossidi. In certi provini ho comunque dovuto ripetere la doratura due o tre volte prima di ottenere uno strato soddisfacente. Solamente nel caso dei provini numero 4 e 10 non è stato possibile ottenere la doratura, infatti riscaldando l'amalgama non compare mai il colore giallo dell'oro, si formano invece delle piccole, fitte vesciche grigie (fig. 7).

FINITURA E TRATTAMENTI

Tutti i provini in cui era riuscita la doratura presentavano, dopo il riscaldamento, un'ossidazione più o meno accentuata. Il decapaggio

dei provini è stato fatto immediatamente dopo la comparsa dell'oro con bagno in soluzione molto calda di aceto e sale. Dopo lavaggio in acqua fresca e perfetta asciugatura tutte le dorature sono state portate al lucido con brunitoio di agata e sapone di Marsiglia (fig. 8). I provini n. 2, 6, 7 e 8 sono stati sottoposti a coloritura dopo la lucidatura della doratura stendendo un sottile strato di ossido di ferro puro in sospensione acquosa sulla doratura, scaldando leggermente e sciacquando in acqua. La coloritura ha migliorato poco il tono giallo dell'oro.

DORATURA A FOGLIA SU AMALGAMA

Naturalis historia, XXXIII, 32: questo è il passo del celebre trattato enciclopedico di Plinio il Vecchio che ha suscitato interesse tra gli studiosi di archeometallurgia, in quanto viene descritto un procedimento che sembrerebbe una via di mezzo tra la doratura a foglia e quella a mercurio. A quanto mi risulta solo Anheuser ha tentato una ricostruzione di questo sistema sul bronzo, avvalendosi però di un forno elettrico ad atmosfera controllata non ossidante⁹. Ricordo le parole dell'autore latino: “dunque anche nel caso dei bronzi dorati [il mercurio] fissa tenacemente le foglie [d'oro] spalmate [con esso], in verità svela col pallore se le foglie sono semplici [uniche] o molto sottili” (trad. A. Pacini). Che in questo passo il mercurio fosse usato come collante si capisce anche dalla considerazione successiva, in cui Plinio dichiara che nei falsi la proprietà adesiva del mercurio veniva sostituita con quella

dell'albume. Negli esperimenti del 2002¹⁰ non ero riuscito a ottenere una doratura soddisfacente con il metodo ricordato da Plinio, in quel caso avevo usato una foglia d'oro commerciale il cui spessore è intorno a un millesimo di millimetro (un micron) e anche una quantità minima di mercurio era sufficiente per rovinarla. È necessario a questo punto chiarire la differenza tra foglia e lamina aurea; la differenza certamente dipende dallo spessore, ma non esiste un limite preciso da tutti riconosciuto. Personalmente, sulla base delle caratteristiche legate alla produzione e alla lavorabilità, direi che si può parlare di foglia d'oro quando lo spessore è inferiore a circa 50 micron. In passato avevo già realizzato una foglia d'oro puro a partire da una lamina, tutto il procedimento era stato fatto per martellatura su incudine, sovrapponendo i quadratini di lamina aurea con interposta una laminetta di rame puro, tenendo il tutto all'interno di un sacchetto di budello bovino. In questo modo ero arrivato a ottenere una foglia spessa circa 5 micron. Per questa doratura invece ho preferito usare una foglia spessa 20 micron, ritenendola più resistente al mercurio ma non troppo rigida. L'altra differenza rispetto alle prove del 2013 è stata l'utilizzo dell'amalgama invece del mercurio puro, più efficace allo scopo contenendo già un po' di oro. Per l'esperimento di doratura a foglia su amalgama il provino n. 1 è stato preparato come gli altri, con succo di piantaggine, mentre la foglia d'oro è stata sgrassata in una soluzione calda di acqua e soda al 5%. La stesura dell'amalgama sulla superficie del bronzo è risultata più facile della stesura del mercurio puro, soprattutto per via della sua consistenza



Fig. 8. Serie completa dei provini con doratura finita.



Fig. 9-13. La testa di bronzo prima, durante e dopo la doratura con foglia su amalgama.

pastosa, meglio controllabile in fase di maneggiamento e stesura. Ho eliminato l'eccesso di amalgama con un piccolo batuffolo di cotone che ha contemporaneamente uniformato e lucidato la superficie. Su questo strato ho fatto aderire la foglia d'oro. Ho notato che, se lasciata in sede per alcuni minuti, l'adesione riesce meglio. Escluderei comunque l'ipotesi di finire a questo punto la doratura, aspettando

che col tempo il mercurio evapori a temperatura ambiente, magari sotto la calura estiva, perché, in una prova fatta lasciando qualche ora sotto al sole un provino di bronzo dorato a foglia con amalgama, ho notato che il mercurio si era completamente diffuso nell'oro, ma chissà quanto tempo ci sarebbe voluto perché questo tornasse ad avere il suo colore naturale. Anche gli esperimenti effettuati da

Anheuser escludono per questa ipotesi di doratura la possibilità di successo a temperatura ambiente ¹¹. Direi che sia tecnicamente che dal punto di vista economico (la scultura dovrebbe rimanere inutilizzata per troppo tempo) non è certo un metodo conveniente per l'artigiano. Dopo l'applicazione della foglia ho riscaldato il provino come avevo fatto per gli altri. In questo caso l'ossidazione del bronzo ha creato ancora maggiori problemi, infatti ha provocato il distacco della foglia. Ripetuta l'operazione alcune volte, sono infine riuscito a limitare molto la formazione di ossidi posizionando sopra il provino dei pezzetti di carbone di legna (quercia) prima di dar fuoco al provino e quindi a far aderire la lamina d'oro. In questo caso la brunitura della doratura ha provocato in certi punti piccoli corrugamenti sulla foglia. Dove non era avvenuta l'adesione sarebbe stato inutile e dannoso insistere con una più vigorosa brunitura, che, incrudendo l'oro, ne avrebbe facilitato il completo distacco dal bronzo. A questo punto della sperimentazione appariva evidente che il problema principale della doratura a fuoco delle leghe di rame, e in special modo della doratura a foglia su amalgama, era l'ossidazione. La prova con i pezzetti di carbone mi aveva dato un buon suggerimento: bisogna creare un ambiente riducente intorno e sopra all'amalgama. Ciò è tanto più importante nel caso si debba dorare un oggetto di medie-grandi dimensioni, per le statue. Ho utilizzato la parte frontale di una testa di bronzo 90% Cu e 10% Sn a grandezza quasi naturale per verificare un'ipotesi di riscaldamento riducente dell'amalgama. La zona interessata è stata pretrattata come al solito, con pomice e succo di piantaggine (fig. 9), quindi ho applicato l'amalgama e la foglia di circa 1,5 cm di lato per 20 micron di spessore (fig. 10). Ho appoggiato sopra la zona da dorare dei ciuffi di seme di canna e alcuni rametti di legna secca e ho dato fuoco (fig. 11). Questo tipo di riscaldamento ha prodotto uno spesso strato nero lucido su tutto il lato della testa, coprendo completamente l'amalgama e la foglia d'oro, che è riemersa, non del tutto priva del mercurio, solo dopo una spazzolata con crine e sapone. Per eliminare i residui di mercurio vi ho appoggiato sopra dei pezzi di carbone e li ho accesi, tenendoli attizzati per circa un minuto. Dopo il raffreddamento in acqua ho notato

che le zone in cui avevo spalmato l'amalgama avevano reso una doratura di un buon colore, priva di ossidazione, ma che era presente solo dove se ne era accumulato un certo spessore. Anche la foglia aveva un bel colore e sembrava aver aderito bene (fig. 12). Restava da togliere lo strato nero di combustione. Per eliminarlo ho dovuto usare una spazzolina fine di ottone con acqua e sapone, purtroppo, durante la pulizia, la foglia si è distaccata, lasciando come un'impronta dorata (fig. 13). Sembra dunque che l'amalgama abbia funzionato solo come collante per la foglia d'oro, la quale non ha compenetrato abbastanza nell'amalgama e quindi non si è legata col bronzo sottostante. Il modo migliore per scaldare l'amalgama senza creare ossidazioni, né depositi catramosi difficili da eliminare, sembra sia quello di usare carbone di legna. Se l'oggetto da dorare può essere maneggiato lo si può posizionare su una forgia a carbone, altrimenti bisognerà creare un sistema di contenimento della brace sulla zona da riscaldare. Lo spessore della foglia d'oro non è determinante, direi che comunque è bene che non sia superiore a poche decine di micron. Un'osservazione si può fare sullo strato catramoso nero che si è formato sul bronzo durante la combustione dei vegetali: l'aspetto di questo deposito era molto uniforme, di un bel colore nero bluastrò, lo strato era tenace e si poteva lucidare con un olio o una cera. Forse il bitume che ricopriva le antiche statue romane ricordato da Plinio (*Naturalis historia*, XXXIV, 9) era invece catrame vegetale applicato sul bronzo bruciando particolari essenze sulla sua superficie.

LE ANALISI

Da tutti i provini sono stati tagliati dei campioni da sottoporre ad analisi in microscopia elettronica a scansione (SEM) e microanalisi elettronica a dispersione di energia-(EDS). Il provino n. 1, quello con la doratura a foglia su amalgama, è stato analizzato presso il museo MuCiv di Roma, tutti gli altri dal Laboratorio scientifico dell'Opificio delle Pietre Dure. Di seguito riporto le osservazioni fatte a cura del dott. Simone Porcinai dell'Opificio a seguito delle analisi dei provini dorati solo con amalgama: "Le caratteristiche della doratura

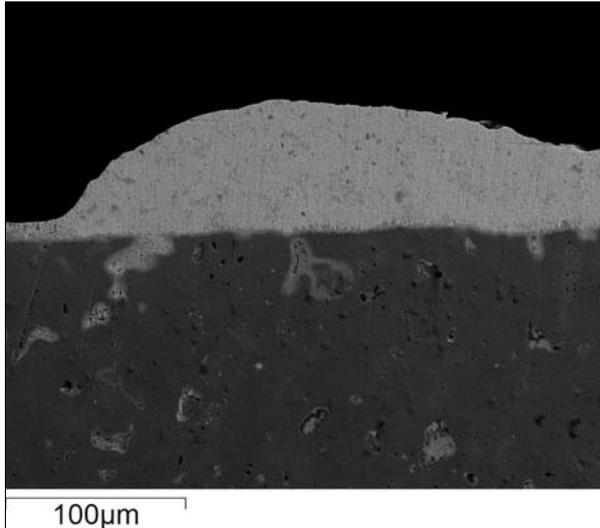


Fig. 14. Immagine al microscopio elettronico a scansione in elettroni retrodiffusi della sezione lucida di un campione di un bronzo contenente il 15% di piombo nella quale si evidenzia la presenza di una fase molto spessa e discontinua sulla superficie del provino caratterizzata da piombo ed oro (OPD).

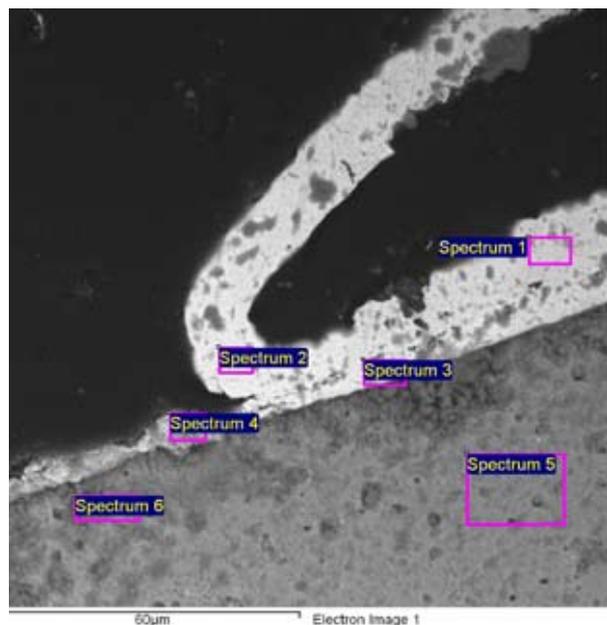


Fig. 15. Immagine al microscopio elettronico a scansione in elettroni retrodiffusi della superficie di un provino in bronzo contenente il 15% di piombo nella quale si evidenzia una superficie molto irregolare e rugosa costituita da una fase molto ricca in piombo ed oro (OPD).

ad amalgama applicate su campioni di leghe metalliche di diversa concentrazione sono state analizzate mediante microscopia elettronica a scansione abbinata alla microanalisi in dispersione di energia (SEM-EDS) con lo scopo di valutare l'eventuale effetto della composizione della lega sulla qualità della doratura. Lo strato di oro è stato osservato ed analizzato sia in sezione stratigrafica su campioni preparati con la tecnica della sezione lucida che direttamente sulla superficie dorata. In generale si è osservato che l'operazione finale di brunitura non ha determinato in nessuno dei provini una completa rimozione della porosità sulla superficie della doratura. Alcune porzioni della superficie, in leggero sottolivello rispetto alle zone circostanti, non sono state raggiunte dal brunitoio di agata e presentano ancora la caratteristica porosità della doratura ad amalgama. La composizione della lega metallica si è dimostrata una caratteristica molto importante del substrato metallico capace di influenzare notevolmente sia l'applicabilità dell'amalgama che la realizzazione di una doratura di buona qualità. In particolare, elevate quantità di piombo (maggiori del 10%) e di stagno come quelle riscontrabili nel bronzo campanario (maggiori del 25%) impediscono la realizzazione di uno

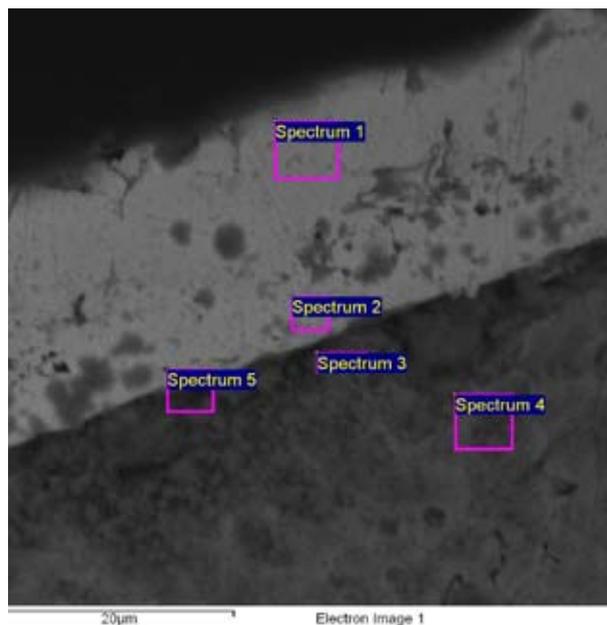
strato di oro, continuo, sottile e adeso alla superficie metallica (figg. 14-15). Nel caso di ottoni, quando lo zinco raggiunge concentrazioni elevate (circa il 30%), come nell'ottone moderno, la doratura presenta una composizione nella quale sono presenti, in alcune zone, elevate concentrazioni sia di rame che di zinco, anomale rispetto a quelle generalmente riscontrate nelle dorature ad amalgama".

Dalle analisi SEM-EDS effettuate al MuCiv (figg. 16-19) è risultato che la stesura di amalgama è servita solo come adesivo, dato che non è emersa alcuna compenetrazione tra la foglia d'oro e l'amalgama stessa, il mercurio si è comunque diffuso in parte sia nella foglia aurea che nel bronzo sottostante. Il carbone che era stato posizionato sopra il provino, a diretto contatto con la doratura, è stato trovato in una zona interstiziale tra la foglia e l'oro rimasto dopo l'evaporazione dell'amalgama. In relazione alla fig. 14 si consideri che i punti in falsi colori indicano solo la presenza o l'assenza dell'elemento, non la sua quantità nel provino. In figura 11 il mercurio è stato trovato solo nello spettro 3, probabilmente a seguito dell'attacco con acido nitrico al 10% a cui avevo sottoposto la sezione lucida del campione, che deve aver



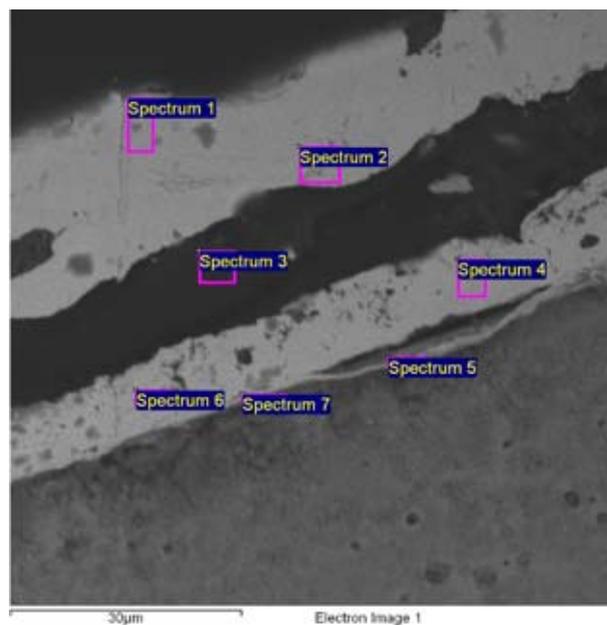
Spectrum	In stats.	Cu	Sn	Au	Hg	Pb
Spectrum 1	Yes	4.9	0.0	95.1	0.0	0.0
Spectrum 2	Yes	2.6	0.0	97.4	0.0	0.0
Spectrum 3	Yes	19.0	0.0	69.9	11.1	0.0
Spectrum 4	Yes	62.2	0.0	37.8	0.0	0.0
Spectrum 5	Yes	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Spectrum 6	Yes	96.4	3.6	0.0	0.0	0.0

All results in weight% ± 0.2



Spectrum	In stats.	O	Cu	Sn	Au	Hg
Spectrum 1	Yes	7.9	4.4		87.7	
Spectrum 2	Yes	13.2	8.2		69.5	9.1
Spectrum 3	Yes	24.6	68.6		6.7	
Spectrum 4	Yes	26.8	71.9	1.4		
Spectrum 5	Yes	22.4	37.8		39.7	

All results in weight% ± 0.2



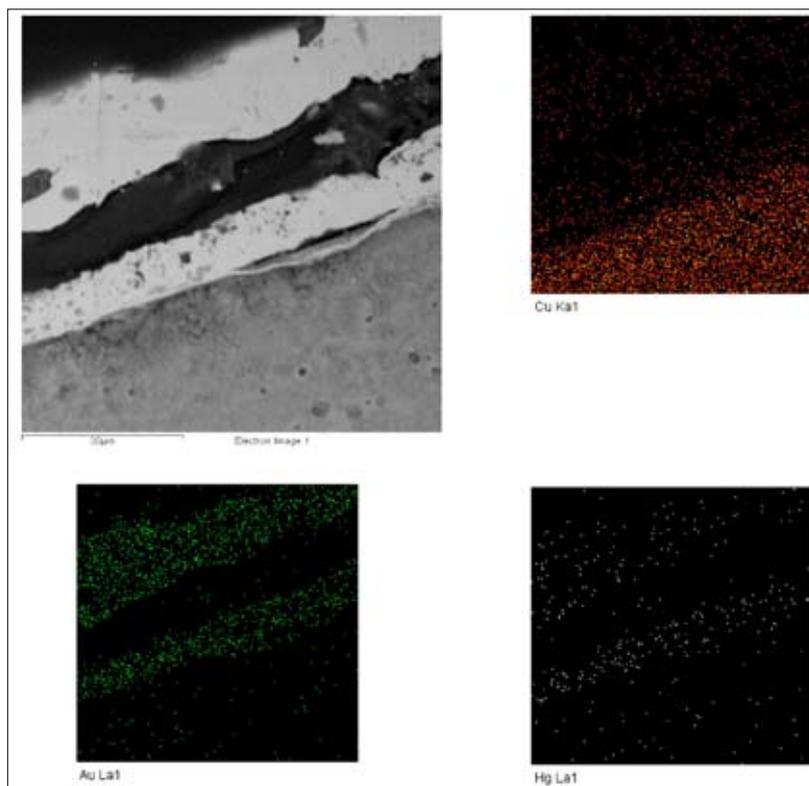
Processing option : All elements analysed (Normalised)

Spectrum	In stats.	C	O	Cu	Sn	Au	Hg	Pb
Spectrum 1	Yes	0.0	0.0	4.0	0.0	96.0	0.0	0.0
Spectrum 2	Yes	0.0	0.0	4.3	0.0	95.7	0.0	0.0
Spectrum 3	Yes	60.1	35.6	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Spectrum 4	Yes	0.0	5.1	5.1	0.0	89.8	0.0	0.0
Spectrum 5	Yes	0.0	15.4	39.4	0.0	45.2	0.0	0.0
Spectrum 6	Yes	0.0	17.8	5.8	0.0	65.0	11.4	0.0
Spectrum 7	Yes	0.0	17.6	40.2	0.0	42.2	0.0	0.0

All results in weight% ± 0.2

Fig. 16-18. Immagini al SEM e analisi EDS del provino n. 1 (MuCiv).

Fig. 19. Immagine SEM della sezione del provino n. 1 con, a falsi colori, la presenza degli elementi rame (rosso), oro (verde) e mercurio (grigio) (MuCiv).



dissolto e allontanato parte del mercurio contenuto in amalgama.

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La sperimentazione sui provini in lega di rame ha confermato che leghe di rame con alti tenori di stagno e/o di piombo non sono adatte per la doratura a fuoco, permettendo inoltre di precisare che nel caso della lega ricca di stagno (oltre al 10%) è quasi impossibile fare aderire l'amalgama, mentre in quelle con molto piombo (oltre al 10%) ciò è possibile, anzi abbastanza facile, ma è impossibile poi ottenere la doratura a causa del riscaldamento. Nel primo caso si tratta di leghe poco usate in antichità, se non per gli specchi, sui quali non ho notizia che siano mai state effettuate dorature a fuoco. Il secondo caso corrisponde a un tipo di lega che fu ampiamente usata nell'antica Roma per la grande e piccola bronzistica, ma di tali manufatti, quelli dorati a partire dal II secolo d.C, cioè da quando la tecnica a fuoco viene usata anche nell'Impero romano, sono sempre dorati a foglia d'oro. Diversamente dalla doratura a fuoco dell'argento le leghe di rame presentano il grave inconveniente dell'ossidazione durante

il riscaldamento necessario per l'evaporazione del mercurio. Questo problema è maggiore nel caso si debba dorare un oggetto di medie-grandi dimensioni, come sono in genere le statue. L'inconveniente è particolarmente fastidioso nel caso della doratura a foglia su amalgama, una tecnica ricordata da Plinio che, grazie alle indagini diagnostiche, potrebbe rivelarsi molto più impiegata di quanto si pensi per i bronzi dorati dell'antica Roma. In antichità si deve aver risolto il problema dell'ossidazione grazie ad un sistema perfezionato di riscaldamento con fuoco di carbone. Un'ulteriore considerazione sulla tecnica di doratura a fuoco, con o senza foglia, si può fare riguardo al fatto che le statue antiche erano costituite da pezzi fusi separatamente e poi assemblati insieme, normalmente con saldatura autogena. Mi chiedo se non convenga dorare i singoli pezzi prima di unirli, ma per rispondere a questa domanda sono necessari nuovi esperimenti; intanto, durante le indagini diagnostiche sui reperti dorati, si può tenerne conto e quindi considerare e annotare ogni indizio utile a chiarire anche questa possibilità. Nel caso in cui si trovi, su reperti archeologici in metallo, una doratura a foglia su amalgama o mercurio, bisogna prendere in considerazione anche la possibilità che la

foglia sia stata applicata in tempi successivi alla prima doratura a fuoco. L'applicazione potrebbe essere stata necessaria già poco tempo dopo la realizzazione dell'oggetto, come riparazione di zone che per qualche motivo si erano sdorate. Oppure potrebbe trattarsi di una vera e propria ridoratura, magari effettuata a seguito di restauri moderni¹².

NOTE

¹ PACINI 2002.

² PACINI 2013.

³ Per un approfondimento sulle coloriture si veda PAPPOT 2014.

⁴ D'ARCET 1818; DE FONTENELLE 1832; DEUTSCH 1838.

⁵ GHERSI 1911, p. 150.

⁶ GHERSI 1911, p. 150.

⁷ ANHEUSER 1996, p. 68.

⁸ Si veda PACINI 2013.

⁹ MARCHINI *et alii* 2022, p. 4.

¹⁰ PACINI 2002, pp. 71-73.

¹¹ ANHEUSER 1996, p. 70.

¹² A questo proposito cito il seguente passo tratto da HERVÉ 1839, p. 340: "I cavalli di Corinto, che abbiamo avuto per qualche tempo a Parigi, dei quali il sig. M. Vauquelin ha anche esaminato la materia e gli è parso che fossero stati dorati con delle foglie d'oro applicate sul mercurio, sono stati ridorati durante il loro soggiorno a Parigi senza l'utilizzo di tale metallo".

BIBLIOGRAFIA

CELLINI B. 1994 - *I Trattati dell'oreficeria e della scultura*, ristampa dell'edizione Le Monnier del 1857 per i tipi di Armando Paoletti, Firenze.

D'ARCET M. 1818 - *Mémoire sur l'art de dorer le bronze*, Paris, Veuve Agasse.

DE FONTENELLE J. 1832 - *Manuel complet du bijoutier, du joaillier, de l'orfèvre...*, Paris, Roret.

DEUTSCH G. 1838 - *Manuale dell'oreficeria*, Venezia, Merlo.

GHERSI I. 1911 - *Leghe metalliche ed amalgame*, Milano.

HERVÉ A. 1865 - *Alliages métalliques*, Paris, Encyclopédie Roret.

MARCHINI M. *et alii* 2022 - M. MARCHINI, M. GANDOLFI, L. MAINI, L. RAGGETTI, M. MARTELLI, *Exploring the ancient chemistry of mercury*, PNAS, Arizona State University.

PACINI A. 2002 - *Studi ed esperimenti sui preziosi policromi antichi*, Montepulciano.

PACINI A. 2013 - *Dorature sui bronzi artistici antichi*, "Archeologia uomo territorio", 32, pp. 1-9.

PAPPOT A. 2014 - *Mis en couleur: the colouring of gilt bronze*, in M. VASQUES DIAS, S. EBENIST (eds.), *Furniture Finishes: Past, Present and Future of Transparent Wood Coatings*. Twelfth International Symposium on Wood and Furniture Conservation, Proceedings: Amsterdam, 14-15 November 2014, Amsterdam, pp. 30-39.

C. PLINIO SECONDO, *Naturalis historia*, ed. Giardini, Pisa, 1984.

ROBCIS D. *et alii* 2017 - D. ROBCIS, S. DESCAMPS-LESQUIME, N. PINGAUD, B. MILLE, *Dorure et redorure de la statuaire antique en bronze: une nouvelle lecture de l'Apollon de Lillebonne*, "Techne", 45, pp. 101-113.