

## Analisi metallografica di monete bronzee tardo imperiali scavate ad Aquileia

C. Canovaro, M. Asolati, I. Calliari, J. Bonetto

*In seguito alla riforma di Costantino, avviata nel 309 d.C. e completamente attuata nel 324 d.C., lo Stato romano utilizzò un sistema monetario trimetallico, basato sul primato dell'oro e sulla coesistenza di nominali aurei, argentei e bronzei. L'uso delle monete d'oro e d'argento era limitato ad alcuni settori economici, quali il pagamento delle imposte e grosse transazioni commerciali e per tale motivo era garantito dallo Stato un alto standard di purezza della lega e una stabile continuità ponderale. Al contrario i nominali di bronzo, utilizzati per le necessità quotidiane soprattutto dal popolo, subivano notevoli e continui svilimenti ponderali e di lega, in parte dovuti alle abbondanti produzioni. Inoltre, le costanti aggiunte di piombo in questi ultimi fanno in modo che il termine "bronzo" identifichi, per quest'epoca, una vasta gamma di leghe a base di rame.*

*Nel presente lavoro sono state esaminate 46 monete bronzee di età tardo imperiale (in parte ufficiali e in parte imitazioni d'epoca), chiamate nummi, appartenenti a un gruzzolo monetale di circa 560 esemplari, risalenti al III, IV e soprattutto V sec. d.C., rinvenuto ad Aquileia presso l'area dei fondi ex Cossar (domus di Tito Macro) nel 2011. Tutti gli esemplari sono stati sottoposti a fluorescenza X e a spettroscopia a dispersione di energia su una porzione non alterata del tondello. Uno dei campioni (n. 45), classificato come un'imitazione d'epoca, è stato prescelto per l'indagine metallografica sulla sezione (OM-RL, SEM-EDS), allo scopo di individuarne la tecnologia produttiva. I risultati evidenziano che per tutti gli esemplari è stata impiegata una lega Cu-Sn, con alti tenori di piombo, mentre la struttura metallografica del campione n. 45 indica che la moneta, dopo solidificazione, ha subito una deformazione plastica non spinta; queste indicazioni risultano in linea con dati già noti in letteratura per monete coeve.*

**PAROLE CHIAVE:** METALLOGRAFIA - NUMISMATICA - RAME E BRONZO - MONETAZIONE DI V SECOLO D.C.

### CONTESTO ARCHEOLOGICO

I reperti numismatici, oggetto di questo studio, sono stati rinvenuti ad Aquileia durante gli scavi effettuati nel 2011 presso i fondi ex Cossar. Il recupero è avvenuto in uno degli ambienti della domus romana detta di Tito Macro dal nome del suo

probabile proprietario. Questa domus viene costruita nel corso del I secolo a.C. con un impianto articolato e fastoso che prevedeva un atrio di ingresso, secondo la moda architettonica italica, e un grande cortile circondato da un corridoio chiuso e finestrato. Il proprietario era uno dei ricchi commercianti aquileiesi che faceva dell'attività mercantile la base della sua fortuna. Tale considerazione è supportata dalla scoperta di ricchi pavimenti musivi e dalle decorazioni parietali della casa. La casa inizia a mutare il suo aspetto nel corso del IV secolo d.C., quando affronta profonde ristrutturazioni, e soprattutto durante il V secolo, quando viene progressivamente modificata e gli ambienti subiscono notevoli trasformazioni, anche di carattere funzionale. Inoltre, le stanze ricevono nuovi pavimenti che obliterano le originali superfici musive.

Il gruzzolo monetale è stato scoperto all'interno di uno dei riporti di terreno, che venne a sovrapporsi ai pavimenti più antichi, ed è composto da circa 560 esemplari risalenti al III, IV e soprattutto V sec. d. C. La maggior parte di essi sono imitazioni del V secolo d.C., omogenei per modalità produttive e spesso per tipologia; inoltre, tra le imitazioni, sono documentati anche numerosi legami di conio che confortano l'ipotesi che queste monetine non abbiano avuto una diffusione molto ampia e che la loro fabbrica vada plausibilmente situata nella stessa Aquileia, forse nella stessa domus. Le monete ufficiali si datano

#### C. Canovaro

*Dipartimento di Geoscienze,  
Università di Padova, Via Gradenigo 6,  
35131 Padova*

#### M. Asolati, J. Bonetto

*Dipartimento di Beni Culturali,  
Università di Padova, Piazza Capitaniato 7,  
35139 Padova*

#### I. Calliari

*Dipartimento di Ingegneria Industriale,  
Università di Padova, via Marzolo 9,  
35131 Padova*

entro il 435 d.C., ma numerosi indizi (presenza di numerose monete tostate, andamento ponderale delle imitazioni, alcune tipologie imitative) sono sintomi di fenomeni monetari più tardi e inducono a sospettare che il piccolo tesoro sia stato interrato nei decenni successivi alla conquista della città da parte di Attila (552 d.C.). L'occasione di analizzare parte di queste monete, soprattutto i numerosi esempi di imitazioni, è doppiamente importante, poiché la loro provenienza archeologica unitamente all'eventualità che questi siano frutto di una fabbrica locale offrono la rara opportunità di localizzare puntualmente nello spazio l'impiego di specifiche tecniche produttive.

## MATERIALI E METODI

In questo studio sono state esaminate 46 monete bronzee d'età tardo imperiale, chiamate genericamente nummi; di queste, 12 sono esemplari ufficiali, mentre le rimanenti 34 sono imitazioni d'epoca. Le caratteristiche pedometriche registrate per ciascuna moneta evidenziano un diametro compreso tra 14 e 8 mm e un peso mediamente inferiore a 1 g. Tutti i campioni considerati appaiono leggibili, pur presentando sulla superficie patine di alterazione di diversa morfologia e consistenza.

Inizialmente, tutti i campioni sono stati sottoposti, su entrambe le facce, a indagine superficiale con fluorescenza X (XRF, Spectro X-labPro). Nonostante i suoi limiti, questa tecnica è stata impiegata nella prima fase dell'indagine per preservare il valore storico dei campioni in esame; infatti, era necessario avere una prima indicazione sulla composizione della lega senza causare danneggiamenti. Successivamente, tutti i campioni sono stati sottoposti a una leggera abrasione sul bordo, di circa 1 mm<sup>2</sup>, allo scopo di eliminare gli strati superficiali affetti da corrosione e poter analizzare la lega originaria tramite microscopia elettronica a scansione (SEM, Leica Cambridge Stereoscan 440) in combinazione con un sistema per microanalisi EDS (Edax FALCON FEI). Delle 46 monete messe a disposizione per le indagini, il campione n. 45 (Fig. 1), un'imitazione di AE4 risalente al V sec. d.C., è stato scelto per essere sottoposto ad approfondite indagini microstrutturali.



**Fig. 1** - Foto del dritto e del rovescio dell'esemplare imitativo di V sec. analizzato (Campione n. 45).  
*Obverse and reverse sides of sample n. 45, an imitative nummus of 5<sup>th</sup> century A.D.*

Il campione n. 45 è stato sezionato, inglobato in resina epossidica, lucidato, trattato con attacco chimico, per evidenziare le diversità microstrutturali, ed osservato tramite microscopia ottica in riflessione (RL-OM, microscopio Leica DM 100) e microscopia

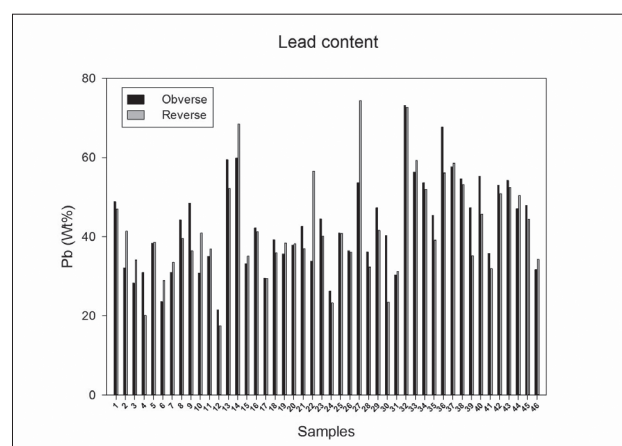
elettronica a scansione. L'analisi morfologica (elettroni retrodiffusi, BSE) e la microanalisi EDS sono state effettuate, come per le monete abrase, con tensione di 25 kV, corrente di 250 pA e distanza di lavoro di mm 22. La composizione chimica (semiquantitativa) è stata ottenuta con correzione ZAF.

Il protocollo d'indagine, basato su analisi XRF e SEM-EDS, è stato sviluppato con lo scopo di risolvere questioni inerenti ai processi produttivi che coinvolgono emissioni di monete ufficiali e imitative di V secolo, tenendo, però, in considerazione il grande valore storico-archeologico del ritrovamento. Inoltre, la combinazione di tecniche metallografiche e analisi SEM-EDS ha permesso l'osservazione della microstruttura del campione n. 45 consentendo di verificare se le produzioni imitative impiegassero processi di lavorazione e materiali comparabili a quelli usati nelle zecche ufficiali.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

### Analisi XRF e SEM-EDS.

Le analisi XRF, preliminarmente effettuate sul dritto e sul rovescio di ciascuna moneta, rivelano che tutti i campioni sono costituiti da una lega Cu-Sn, con alti tenori di piombo. Il grafico in Fig. 2 evidenzia percentuali di piombo variabili, ma che mediamente si attestano intorno al 42%. Tali composizioni risultano essere poco attendibili da un punto di vista tecnologico poiché una lega bronzea di questo tipo sarebbe poco lavorabile, estremamente fragile e soggetta a usura.



**Fig. 2** - Istogramma di frequenza della percentuale di piombo (wt.%) rilevata durante le analisi XRF sul dritto e sul rovescio di ciascuna moneta.

*Frequency histogram of Pb-content (wt.%) detected by XRF analysis on obverse and reverse sides of each coin.*

In alcuni casi, ben evidenti in Fig. 2, sono state registrate sostanziali differenze tra il tenore di piombo registrato sul dritto e quello del rovescio di uno stesso campione.

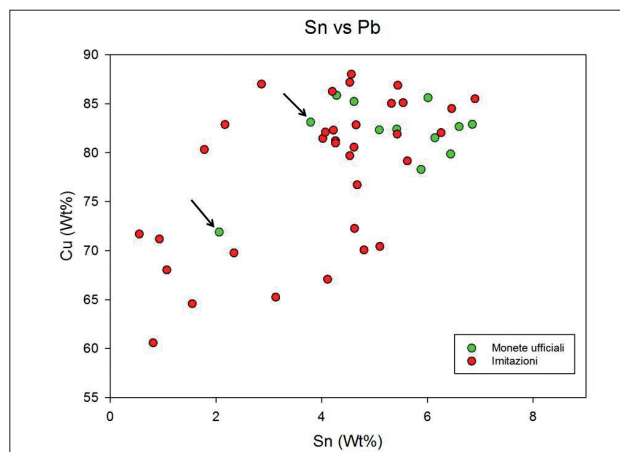
Questa diversità strutturale all'interno della moneta può essere strettamente correlata alla tecnologia produttiva impiegata, in particolare nel tipo di matrice refrattaria utilizzata per la creazione dei tondelli e, di conseguenza, come questi fossero orientati durante la solidificazione [1; 2]. La lunga fase d'interramento, con conseguente esposizione ad ambienti corrosivi, può sicuramente aver contribuito ad accentuare questo fenomeno in dipendenza dalle condizioni di giacitura.

A chiarimento di quanto appena espresso, è opportuno segnalare che recenti studi di carattere numismatico hanno dimostrato che l'analisi con fluorescenza X ha il limite di non poter considerare lo spessore esaminato rappresentativo del bulk, a causa della frequente presenza di patine e di diverse tipologie di degrado, formati durante la deposizione [3; 4]; inoltre, tale tecnica, in aggiunta all'incapacità dell'operatore di determinare a priori quale sia lo spessore delle patine di alterazione, risente di diversi fattori quali l'impossibilità di calcolare la profondità di penetrazione e di emissione dei raggi X. È attestato, infatti, che nel caso di materiali metallici lo spessore che contribuisce all'emissione X va da 5 a 100  $\mu\text{m}$  [5], profondità solitamente compromesse da fenomeni di alterazione [6]. Il vantaggio di questa tecnica, fondamentale nel caso dei beni d'interesse archeologico, è quello di poter individuare il tipo di lega impiegata senza compromettere in alcun modo l'oggetto e con assoluta rapidità di risposta.

In un secondo momento, per ottenere maggiori informazioni sulla composizione della lega, tutti i campioni sono stati sottoposti a una leggera abrasione sul bordo e l'area è stata analizzata tramite EDS. L'asportazione dei primi strati superficiali è stata effettuata con l'intento di effettuare l'analisi su una superficie non più affetta da patina di alterazione e ottenere un rapporto Cu:Sn affidabile e rappresentativo della lega originaria. Tale dato, secondo King et al. [7], è da considerarsi un parametro discriminante per distinguere le emissioni occidentali, con tenori di stagno maggiori del 5%, rispetto all'ambito orientale, dove se ne utilizzavano concentrazioni minori.

L'osservazione del grafico in Fig. 3 permette di notare come le emissioni ufficiali, in verde, siano caratterizzate da un intervallo ristretto di tenori di stagno, compreso tra 2% e 7%, molto probabilmente controllato dalla zecca di emissione. Al contrario, gli esemplari imitativi (in rosso) mostrano una variabilità diffusa nelle percentuali di stagno, con la tendenza al risparmio di tale elemento in favore di un'aggiunta più consistente di piombo.

Il confronto con analisi di monete bronzee di V secolo evidenzia che, per la maggior parte delle emissioni ufficiali in esame, i valori ottenuti ricadono nell'intervallo di distribuzione delle concentrazioni tipiche delle monete di produzione occidentale [7; 8; 9; 10; 11]. Solamente in due casi (campioni n. 2 e n. 3), contrassegnati in Fig. 3 da una freccia, sono stati registrati tenori di stagno ben al di sotto del 5%. Le basse percentuali di Sn (3,8% e 2,1%, rispettivamente) confermano e supportano le ipotesi numismatiche in quanto questi esemplari sono stati classificati come nummi ufficiali conati in una zecca orientale da Teodosio II (425-ca.435 d.C.) [12].



**Fig. 3** - Scatter plot dei valori di Cu-Sn (wt.%), ottenuti tramite analisi EDS su superficie abrasa. In verde sono riportate le monete ufficiali, mentre in rosso le imitazioni.

*Scatter plot of Cu-Sn values (wt.%), obtained by EDS analysis on abraded surface. Green circles show official coins, while red circles are the imitations.*

### Indagini microstrutturali

In Tabella 1 sono riportati i risultati delle analisi cui è stato sottoposto il campione n. 45 (XRF, EDS dopo sola abrasione e EDS sulla sezione), a confronto con la composizione media attestata in letteratura per le emissioni ufficiali occidentali [7; 8; 9; 10; 12; 13]. L'analisi XRF ha evidenziato un tenore di stagno maggiore nello strato superficiale rispetto alle analisi SEM-EDS, sia su superficie abrasa, sia in sezione: questo fenomeno molto probabilmente è dovuto al contatto della moneta con il terreno dove in combinazione con gli acidi e l'acqua si ha una migrazione preferenziale dello stagno verso la superficie, mentre il rame va in soluzione a causa della decuprificazione, ossia della dissoluzione selettiva del rame accompagnata da un processo interno di ossidazione. La stabilità dello strato di alterazione è dovuta alla formazione di una rete di composti di stagno che svolgono una funzione coesiva con migrazione di cationi di rame verso l'esterno e anioni dell'elettrolita verso l'interno [14]. Lo spessore coinvolto è dell'ordine di 50-100  $\mu\text{m}$  e ciò giustifica il fatto che le analisi XRF non possono essere, come si è già detto, rappresentative dell'interno. Inoltre, si osserva che i dati EDS per rame e piombo su superficie abrasa si discostano di qualche punto percentuale da quelli ottenuti con l'analisi dei campioni inglobati. Per avere dati attendibili sulla reale composizione della moneta è opportuno effettuare le analisi SEM-EDS su campioni sezionati e di cui è possibile osservarne la struttura, più o meno eterogenea.

**Tab. 1** - Risultati riguardanti la composizione (wt.%) del campione n. 45 a confronto con la composizione media di monete ufficiali coniate in Occidente.

*Composition (wt.%) of sample n. 45, obtained through different techniques in comparison with the average composition of official coins minted in the West Empire.*

	XRF	SEM (sezione)	SEM (abrasa)	Media Monete occidentali
n.45	Cu	44	54,8	76,3
	Sn	8	2,9	6,1
	Pb	47,9	42,2	27,9

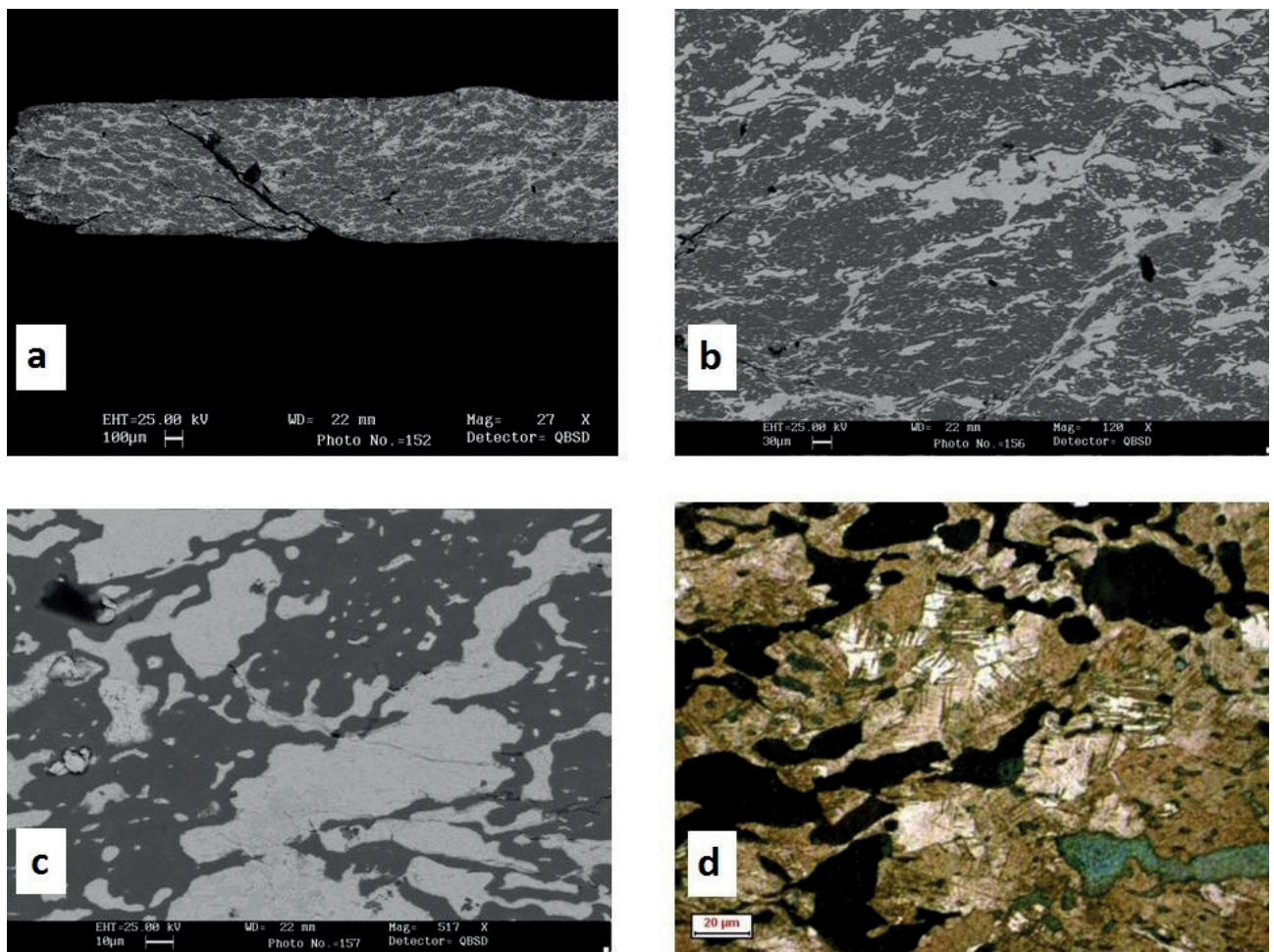
A supporto di quanto espresso, le micrografie delle sezioni del campione indagato hanno evidenziato un'elevata disomogeneità tra diverse aree della moneta (Fig. 4a), motivo per cui l'abrasione superficiale in questo caso è meno attendibile di altri casi circa la rappresentatività della zona analizzata, soprattutto per quanto riguarda il contenuto di piombo.

Prendendo in considerazione i risultati ottenuti sulla sezione del campione n. 45, è possibile affermare che la lega utilizzata è bronzea con elevati tenori di piombo (42%). L'immagine SEM-BSE (Fig. 4b-c) mostra una distribuzione non omogenea del piombo (aree bianche), nella soluzione solida rame e stagno, fenomeno che si verifica in quanto il piombo, non solubile nel rame in fase solida, è il metallo con il punto di fusione più basso tra quelli utilizzati e solidificando per ultimo va a occupare gli spazi intradendritici. La conformazione dei noduli di piombo suggerisce, quindi, la scarsa lavorazione subita dal tondello dopo la preparazione per fusione e la colata in stampo; inoltre, il solo colpo di conio potrebbe essere responsabile delle molteplici crepe evidenti in sezione (Fig. 4a) in quanto una lega così composta è estremamente fragile e una lavorazione per battitura è da

escludere. Infine, la presenza di molteplici porosità testimoniano la fluidità della lega, che, in fase di solidificazione, ha inglobato aria creando così i vuoti che si vedono nell'immagine SEM-BSE (Fig. 4a-b).

In aggiunta alle analisi SEM-EDS, l'osservazione al microscopio ottico della sezione lucida del campione n. 45 ha permesso, grazie all'attacco con cloruro ferrico [15], di ottenere maggiori informazioni sulla microstruttura e, di conseguenza, sulla tecnologia di produzione. A conferma di quanto emerso finora, in Fig. 4d si notano spiccate linee di incrudimento all'interno delle dendriti, identificando un avvenuto processo di deformazione plastica post-fusione, senza ricottura, associabile al solo colpo di conio.

Tramite il confronto con quanto noto in letteratura per le emissioni ufficiali di V secolo di zecche occidentali [6; 10; 12], è possibile affermare che anche la produzione di imitazioni era il frutto di una tecnologia seriale e molto frettolosa, con l'unica differenza dell'impiego di una lega maggiormente ricca di piombo, dovuta probabilmente alla volontà di risparmiare stagno.



**Fig. 4** - Immagini SEM-BSE: (a) panoramica del campione n. 45, (b) immagine a 120X e (c) a 500X. Le aree bianche rispecchiano il piombo. (d) Sezione lucida del campione n. 45 con attacco con cloruro ferrico ( $FeCl_3$ ). Sono evidenti le reminescenze dendritiche e le linee di incrudimento.

*SEM-BSE images: (a) overview of the sample n. 45, (b) image at 120X and (c) at 500X. The white areas correspond to lead. (d) Sample n. 45 cross-section, etched (ferric chloride,  $FeCl_3$ ). Dendritic structure and slip lines are evident.*

## CONCLUSIONI

Il presente caso di studio ha preso in esame campioni provenienti da scavi recenti e ancora oggetto di approfondimento da parte degli archeologi; per questo motivo, dato il valore storico intrinseco dei campioni, non è stato possibile sottoporre i campioni ad analisi distruttive. Solo il campione n. 45 è stato sezionato con l'intento di ottenere informazioni sulla tecnologia di produzione di imitazioni di monete romane imperiali, operando un confronto con quanto noto in letteratura per le emissioni ufficiali.

Il tipo di lega che costituisce le monete analizzate è una lega binaria Cu-Sn, con alti tenori di piombo. Per quanto riguarda le emissioni ufficiali, i valori sono compatibili con la composizione chimica media di esemplari bronzei di V secolo prodotti in Occidente; solo in due casi la percentuale di stagno si attesta sotto al 5%, confermando le ipotesi numismatiche di produzione orientale.

In queste monete, come già affermato, sono presenti percentuali di piombo che porterebbero a supporre che il metallo impiegato derivi da un riciclo di altri oggetti di bronzo, oppure che sia stata utilizzata una lega tipica della grande statuarica [16] perché, per la produzione di tondelli in matrici refrattarie, più o meno articolate, era necessario che la lega avesse un ampio intervallo di solidificazione e fosse molto fluida. È impossibile, comunque, determinare con certezza se le aggiunte di piombo siano dovute a rifusione oppure a un sistema per abbassare la temperatura di fusione o per risparmiare lo stagno, metallo più prezioso del piombo.

Ad ogni modo, le spiccate somiglianze tra le leghe delle monete ufficiali occidentali dei campioni analizzati, oppure note in letteratura, e di molte delle imitazioni esaminate del ripostiglio di Aquileia dimostrano una sostanziale contiguità tra le tecniche impiegate in sedi ufficiali occidentali e in sedi imitative, con un'evidente dipendenza tecnologica delle seconde da manifatture imperiali. Questo risulta particolarmente interessante a livello archeologico, soprattutto in relazione all'eventualità che le imitazioni del gruzzolo (tutte o in larga parte) siano state prodotte localmente. Aquileia fu, infatti, sede di una zecca ufficiale, emittente anche monete bronzee fino al 425 d.C., e non è escluso che le conoscenze tecnologiche qui sviluppate siano rimaste radicate nel territorio per decenni, fino all'attivazione di una fabbrica imitativa.

La microstruttura del campione sezionato (n. 45) è compatibile con l'ipotesi che i tondelli fossero ricavati da globetti di metallo solidificati e rifiniti dal solo colpo di conio per imprimere le immagini di dritto e rovescio sul tondello; infatti, la deformazione plastica cui è soggetto il tondello non poteva essere troppo spinta, poiché il particolare tipo di lega Cu-Sn, ricca in piombo (circa 42%), diveniva fragile e soggetta a rottura. Il processo di martellatura è testimoniato non solo dall'orientazione parallela alle due facce della moneta dei noduli di piombo e dalla loro forma appiattita, memoria di un processo di fusione, ma anche dalla presenza di linee d'incrudimento emerse durante lo studio metallografico.

È opportuno sottolineare che l'impiego di indagini XRF su campioni di questo tipo ha i limiti discussi in precedenza, con il risultato di restituire valori di piombo notevolmente sovrastimati. Il confronto con i dati ottenuti tramite analisi SEM-EDS su sezione consente di concludere che l'analisi XRF offre solo dati indicativi

sulla composizione del materiale, mentre non sono attendibili i dati quantitativi. Tuttavia questo tipo di analisi fornisce preziose informazioni circa il tipo di lega che compone la moneta senza doverla sottoporre ad analisi distruttive; è quindi consigliabile valutare con attenzione i risultati ottenuti tramite la fluorescenza X evitando speculazioni sugli aspetti quantitativi.

L'applicazione di sistemi micro-invasivi, quali l'abrasione superficiale, cui sono stati sottoposti i campioni per poterli osservare con il microscopio elettronico a scansione è un'operazione consigliabile in situazioni analoghe: i risultati ottenuti sono più rappresentativi di quelli con analisi XRF, ma restano meno validi di quelli acquisiti sezionando i campioni, poiché sono influenzati dall'eterogeneità microstrutturale, in questo caso fortemente condizionata dalla presenza di grossi noduli di piombo segregati in fase di solidificazione.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. FINETTI, *Numismatica e tecnologia*, La Nuova Italia Scientifica, Roma (1987).
- [2] G. VELENIS, *A Mint in the Ancient Agora of Thessaloniki*, in *Charakter. Aphieroma ste Manto Oikonomidou*, Athina (1996), pp. 187-193.
- [3] M. MILAZZO, *Analisi XRF nelle applicazioni archeometriche*, in A. CASTELLANO, M. MARTINI, E. SIBILIA (a cura di) *Elementi di Archeometria. Metodi fisici per i beni culturali*, Egea, Milano (2002).
- [4] M. RODRIGUES, M. SCHREINER, M. MELCHER, M. GUERRA, J. SALOMON, M. RADTKE, M. ALRAM, N. SCHIDEL, *X-RaySpectrom.*, vol.41 (2012), pp. 416-424.
- [5] M. COWELL, *Coin Analysis by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*. *Metallurgy in Numismatic*, vol. IV (1998).
- [6] C. CANOVARO, I. CALLIARI, M. ASOLATI, F. GRAZZI, A. SCHERILLO, *Appl. Phys. A*, vol. 113 (4), (2013), pp. 1019-1028.
- [7] E. KING, D.M. METCALF, J.P. NORTHOVER, *Revue Numismatique* (1996), pp. 54-76.
- [8] H. MATTINGLY, *Numismatic Chronicles* (1946), pp. 167-173.
- [9] J. LALLEMAND, *Etudes Numismatiques* (1965), pp. 49-87.
- [10] M. ASOLATI, *Praestantia nummorum. Temi e note di numismatica tardo antica e alto medievale*, Padova (2012), pp. 187-227.
- [11] C. CANOVARO, I. CALLIARI, S. GOTTARDELLO, M. ASOLATI, *La Metallurgia Italiana* n. 2 (2011), pp. 21-25.
- [12] J.P.C. KENT, *The Roman Imperial Coinage, X, The Divided Empire and the fall of the Western Parts (AD 395-491)*, Spink and Son Ltd, London (1994).
- [13] J. LALLEMAND, *Supplement Helinum* (1968), pp. 22-41.
- [14] L. ROBIOLA, R. PORTIER, *Journal of Cultural Heritage*, Vol 7(1), (2006), pp. 1-12.
- [15] D.A. SCOTT, *Metallography and microstructures of ancient and historic metals*, J. Paul Getty Trust, Singapore (1991).
- [16] J. RIEDERER, *La composizione delle leghe dei grandi bronzi romani*, Nuova Immagine Editrice, Siena (1999).

## Metallographic characterization of late roman imperial coins from Aquileia.

**KEYWORDS:** METALLOGRAPHY - ROMAN IMPERIAL COINS - COPPER AND BRONZE.

The monetary system of the Roman Empire underwent a considerable number of changes during the reign of Constantine. A new weight standard was employed for gold and new denominations were added to silver. Even bronze coinage was subjected to major reforms, characterized by a steady decline in size and weight.

In this paper the attention is focused on 46 late Roman Imperial bronze coins, which are part of a wider hoard found in Aquileia, in the archaeological area named "Fondi ex Cossar". Among the coins under investigation, 12 are official issues and 34 are imitations.

First, all samples were analyzed by non-destructive XRF (XRF, SpectroX-labPro) to obtain preliminary information about the alloy; then, using SEM-EDS (Leica Cambridge Stereoscan 440 coupled to Edax FALCON FEI) on a small abraded portion of each coin (1 mm<sup>2</sup>) more detailed microanalyses were performed. In addition, an imitation of AE4 (sample n. 45, Fig. 1) was selected and its metallographic cross-section investigated by light microscopy (Leica DM 100) and by SEM-EDS analyses. This choice was intended to evaluate possible connections with official issues already studied [6; 10; 11]. For EDS compositional acquisition, SEM was set at 25 kV and semi-quantitative determination of element concentration was carried out with the ZAF standardless correction.

The obtained XRF data did not reflect the true composition of the sample but only the surface layer composition of material [4; 5; 6]. The alloy for all samples was identified as a bronze, with high amount of lead on the first layers attributable to Pb preferential migration toward the surface during the solidification process in the mould [1; 2]. Moreover, it is well known that the progressive decuprification occurred during the burial period led to a misrepresentation of the real value of tin in the alloy [14].

On the abraded portion, EDS analysis revealed a reliable Cu:Sn ratio, representative of the original alloy. The Sn content between 2% and 5%, shown in Fig. 3, identified an official western production (green circles) and a quite strict control by the Mint of production [7; 8; 9; 10; 12; 13]. Conversely, the imitative coins (in red) showed a lower tin content and

a widespread variability, phenomenon that testifies a saving of this element in favor of an addition of more lead. Only in two cases (samples n. 2 and 3), marked by an arrow in Fig. 3, amount of tin below 5% were recorded. These low percentages support the classification of the specimens as official nummi coined in an Eastern mint by Theodosius II (425-ca.435 AD), confirming the numismatic hypothesis [12]. In Tab. 1 the bulk and the surface compositions (wt. %), for the sample n. 45, determined by XRF, EDS on abraded portion and EDS on cross-section, are reported. The disagreement between XRF and SEM results are due to thickness and morphology of the corrosion layer, as mentioned above. The values obtained by EDS on the abraded portion and on the cross-section are both reliable to the bulk composition.

Micrographs exhibited large flattened grains, evidences of the original cast microstructure with dendritic segregation; some slip lines were detected, confirming the plastic deformation (Fig. 4d). In Fig. 4b-c, BSE images showed the directional preference of Pb. Comparing these evidences to those highlighted for official coins issued in western mints during the 5th century [6; 10; 11; 12], it is clear that the technology for the imitation production was not different. The hypothesis is that the flans were obtained by solidification in the mould and then hammered to the desired thickness. But, because of the high amount of lead making the bronze brittle, the plastic deformation was necessarily weak. At the same time, the employment of this alloy suggests a possible metal recycling, probably statuary [16], since for the blanks production in refractory moulds it was necessary a very fluid alloy. It is impossible, however, to determine with certainty if lead was due to remelting or if its addition was a method to lower the melting temperature and save the tin.

These considerations are particularly interesting in the archaeological field, extending the possibility of a local production of all imitation coins of the hoard. Up to 425 A.D., Aquileia was an official Mint and it is possible that the technological know-how remained in that area for decades, until the foundation of an imitative factory.