
E' POSSIBILE MISURARE IL CONTENUTO DI ARGENTO NELLE MONETE REPUBBLICANE? SONO STATE UTILIZZATE MOLTE TECNICHE MA ORA L'AUTORE PROPONE UNA TECNICA SEMPLICE ED AFFIDABILE BASATA SUL PESO SPECIFICO. ECCONE I RISULTATI.

VARIAZIONI TEMPORALI DI PESO E DI LEGA NELLA MONETAZIONE ARGENTEA DELLA ROMA REPUBBLICANA

PRIMA PARTE

Introduzione e motivazioni

La monetazione argentea nella Roma repubblicana costituisce un argomento di grande interesse per studiosi e collezionisti. Sensibili progressi in questa disciplina sono stati ottenuti negli ultimi decenni, soprattutto in seguito alla pubblicazione dell'opera del Crawford, *Roman Republican Coinage* (RRC) [1], che resta il lavoro di riferimento in questo campo. Tuttavia andando in profondità nell'argomento non può non apparire chiara la necessità di ulteriori studi ed approfondimenti.

Lo scopo di questo lavoro è di indagare sulla possibilità di ricavare nuove o più dettagliate informazioni dallo studio di due importanti proprietà fisiche delle monete argentee coniate negli ultimi due secoli della repubblica romana: il peso ed il titolo dell'argento (anche detto *fino*).

Riguardo il primo parametro si è analizzata una grossa mole di dati e si propongono nuove idee per visualizzarli ed estrarne informazioni utili.

Molto più complesso è analizzare il *fino* in monete antiche. Molte tecniche sono state utilizzate ma nessuna è allo stesso tempo facile da applicare, affidabile, economica ed innocua per le monete da esaminare. Come risultato riscontriamo una carenza di dati riguardanti il *fino* nella monetazione repubblicana. Perciò in questo lavoro viene (ri)proposto il metodo del peso specifico, come tecnica non invasiva ed applicabile da chiunque, ovunque e su ogni tipo di monetazione. I risultati ottenuti mostrano che la metodologia è semplice ed affidabile ed aprono nuove prospettive nel campo della numismatica antica, anche perseguibili da semplici appassionati o collezionisti.

I pesi

Il peso è un parametro essenziale in ogni monetazione in metallo nobile. Alquanto stranamente non si trova in letteratura nessuno studio analitico dei pesi nella monetazione repubblicana. In [1] vengono dati dei valori medi solo per alcuni tipi monetali senza tuttavia nessuna pretesa di sistematicità e di studio analitico.

di Pierluigi Debernardi

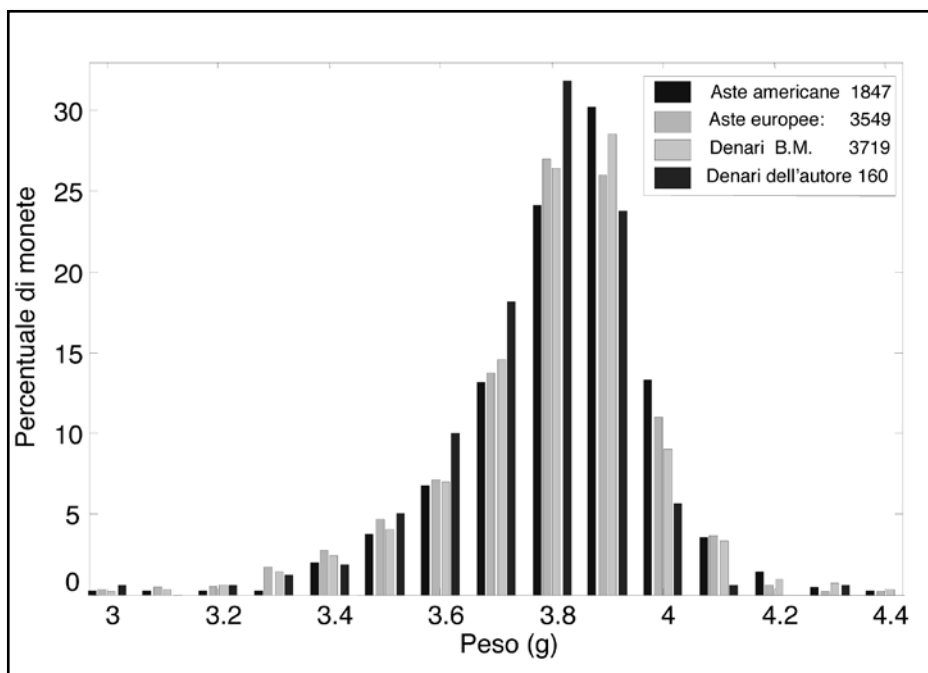


Fig. 1: Confronto della distribuzione dei pesi di denari da varie fonti: aste americane, europee, la raccolta del British Museum e dell'autore. La monetazione legionaria di M. Antonius fino a 3,3g di peso è stata scartata dalle prime due fonti, mentre è scartata del tutto dalle ultime due. I numeri nella legenda si riferiscono al totale di monete contenute in ciascun insieme.

In Fig. 1 si mostrano gli istogrammi (numero di campioni o loro percentuale compresa in intervalli costanti di valori) di tre insiemi di denari repubblicani: quelli dell'autore, quelli presenti nella banca dati online Coinarchives [2] e della collezione del British Museum (BM) [3]. Lo scopo di confrontare insiemi di dati così grandi, contenenti migliaia di pezzi, con la limitata collezione dell'autore (circa 170 pezzi) è soprattutto quello di mostrare che già con insiemi esigui si ottiene un andamento molto simile a quello fornito da insiemi molto più grandi. Questo tornerà utile anche in seguito a proposito dello studio del fino.

È interessante notare che la distribuzione dei pesi dei denari dell'autore si accorda di più alla distribuzione tratta dalle aste europee, più gradualmente digradante

verso i pesi bassi che non in quelle americane. Ciò dà un'indicazione che in ambiente anglosassone si tendano a scartare pezzi con pesi inferiori a 3,4 grammi (g), probabilmente pensando che al di sotto di tale peso si possano facilmente trovare moderne contraffazioni o falsi d'epoca. Invero nell'intervallo basso di peso è probabile si trovino facilmente monete suberate, tuttavia pezzi ufficiali sono possibili anche nell'intervallo 3,0-3,4g. Per esempio, in Fig. 2 vengono mostrati i pezzi dell'autore in tale intervallo di pesi.



Fig. 2: Pezzi di basso peso dalla collezione dell'autore. Il peso estremamente basso della prima moneta è in parte giustificato dalla mancanza di metallo a ore 10, che si può stimare in 0,1g. Gli altri due pezzi sono perfettamente normali, solo leggermente più sottili del solito.

È legittimo chiedersi la causa di distribuzioni di peso così larghe e asimmetriche, visto il valore nominale di 1/72 di libbra (325g) per le prime emissioni (4,51g), quasi subito ridotto a 1/84 di libbra (3,87g) [1, pag. 594], valore che verrà mantenuto sino alla riforma neroniana. La spiegazione più semplice per distribuzioni come quelle di Fig. 1 sarebbe quella di attribuirle ai limiti di precisione della zecca. Tuttavia questa spiegazione non regge alla prima analisi critica dei dati. Infatti si nota subito dall'esame di singole serie che la precisione della zecca era molto maggiore. Inoltre tale semplicistica spiegazione non potrebbe dar conto dell'asimmetria della distribuzione dei pesi, che sarebbe simmetrica e gaussiana se risultante da errori casuali intorno ad un valor medio. Invece la forma della distribuzione dei pesi cresce gradualmente a partire da 3g, raggiunge un massimo nell'intervallo 3,8-3,9g e poi bruscamente decresce fino a quasi annullarsi attorno ai 4,2g. Ciò è da attribuirsi in toto alle caratteristiche temporali e intraserie delle emissioni di denari durante la repubblica e si può ben vedere mostrando i dati in maniera del tutto differente. In Fig. 3 si mostra il grafico dei pesi dei denari repubblicani del BM in funzione dell'anno di coniazione secondo la datazione proposta dal Crawford in RRC, che sarà adottata in questo lavoro. Eventuali piccoli errori in questa datazione non sono rilevanti ai fini qui perseguiti e per le serie cui il Crawford attribuisce un intervallo

temporale piuttosto che una data precisa, se ne è adottato il valor medio (es. 180-170aC à 175aC). In cima a tale rappresentazione temporale, si fornisce anche il corrispondente istogramma contenente tutti i pezzi analizzati (circa 4000). Si osserva subito che non ha senso trascurare la variabile temporale in tale indagine. Infatti la distribuzione dei pesi varia fortemente nel tempo, partendo dai tempi più antichi con valori nell'intervallo 3-4.6g, restringendosi all'intervallo 3.8-4g nel periodo 140-120aC, riallargandosi e restringendosi col procedere del tempo. Si è proceduto quindi ad un'analisi per istogrammi suddividendo i pezzi secondo successivi intervalli di tempo, che sono stati scelti in base ad una analisi del grafico per punti di Fig. 3 e dall'esigenza di disporre in ogni periodo di un numero statisticamente significativo di pezzi. Questo porta alla Fig.4, dove si osserva subito che quasi tutti gli istogrammi presentano un doppio picco se non addirittura di più, soprattutto nei tempi più antichi. Cercando di semplificare il problema si è deciso di approssimare tutti gli istogrammi con la somma di due curve gaussiane, rappresentanti stavolta la precisione della zecca. Tale scelta sembra essere accurata, tranne che per il periodo più antico, dove sarebbero necessari molti più dati per poter avere una risoluzione sulle singole serie. Qui c'è ancora molto da studiare e i primi due istogrammi di Fig. 4 ne danno sicuramente lo spunto. Tutti mostrano un picco principale attorno al valore teorico di 3.87g, ma almeno un picco secondario è quasi sempre visibile, a pesi superiori nei primi due istogrammi, inferiori dopo il 170 a.C. Il picco secondario sparisce quasi completamente nel periodo 142-110 a.C. Poichè nel 142/141 viene posta da Crawford la data della ritariffazione del denario, che passa da 10 a 16 assi, si è deciso di meglio evidenziarne la transizione, inserendo un intervallo temporale ridotto, per il periodo 145-140 a.C. Essa presenta una chiara continuità con la distribuzione precedente, mentre una brusca discontinuità è evidente nel periodo successivo.

La presenza in tutta la monetazione repubblicana di più standard di peso appare chiara. È tuttavia più difficile dire se tale caratteristica sia intra- o inter-serie, vale a dire se standard diversi fossero applicati a serie diverse, o fossero presenti all'interno delle singole serie. Purtroppo per le serie più antiche, le

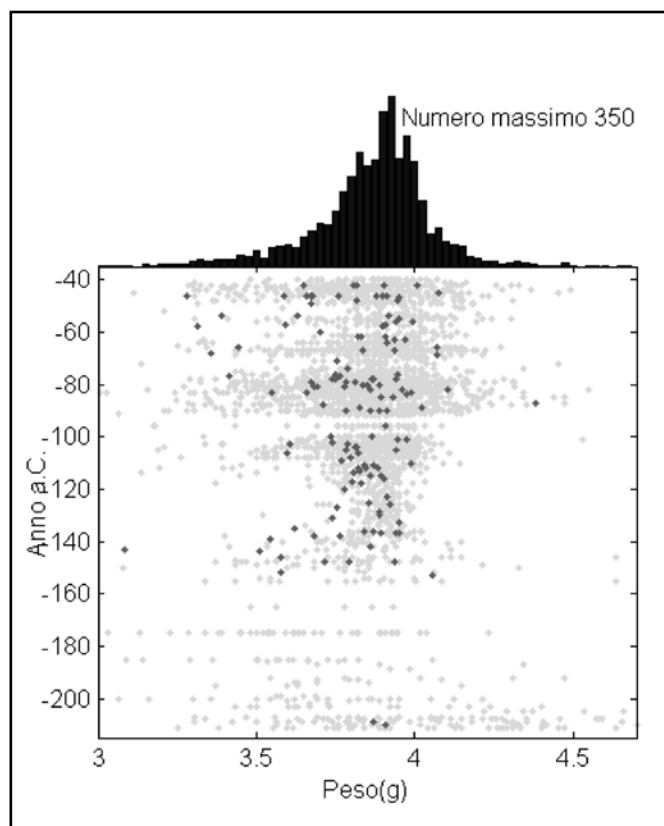


Fig. 3: Diagramma a punti dei pesi in funzione del tempo dei denari repubblicani del BM (punti chiari) e dell'autore (punti scuri). In cima l'istogramma dei pesi dei pezzi del BM, utilizzando come intervallo 25 mg.



GIANCARLO GAMBELLI

WILEMATTSTRASSE 39
6210 SURSEE
LUZERN (SWITZERLAND)

TEL / FAX + 41.419204630
CELL +39.3356367905
MOBIL +41.764301320
WWW.NUMISTAR.COM

NUMISTAR



ANGELO BAZZONI

PERITO NUMISMATICO DEL TRIBUNALE DI AOSTA
sigillo professionale n. 25



Regione Pallin, 2 - 11100 AOSTA
Tel. 0165 / 21 62 36 - 336 / 23 68 09

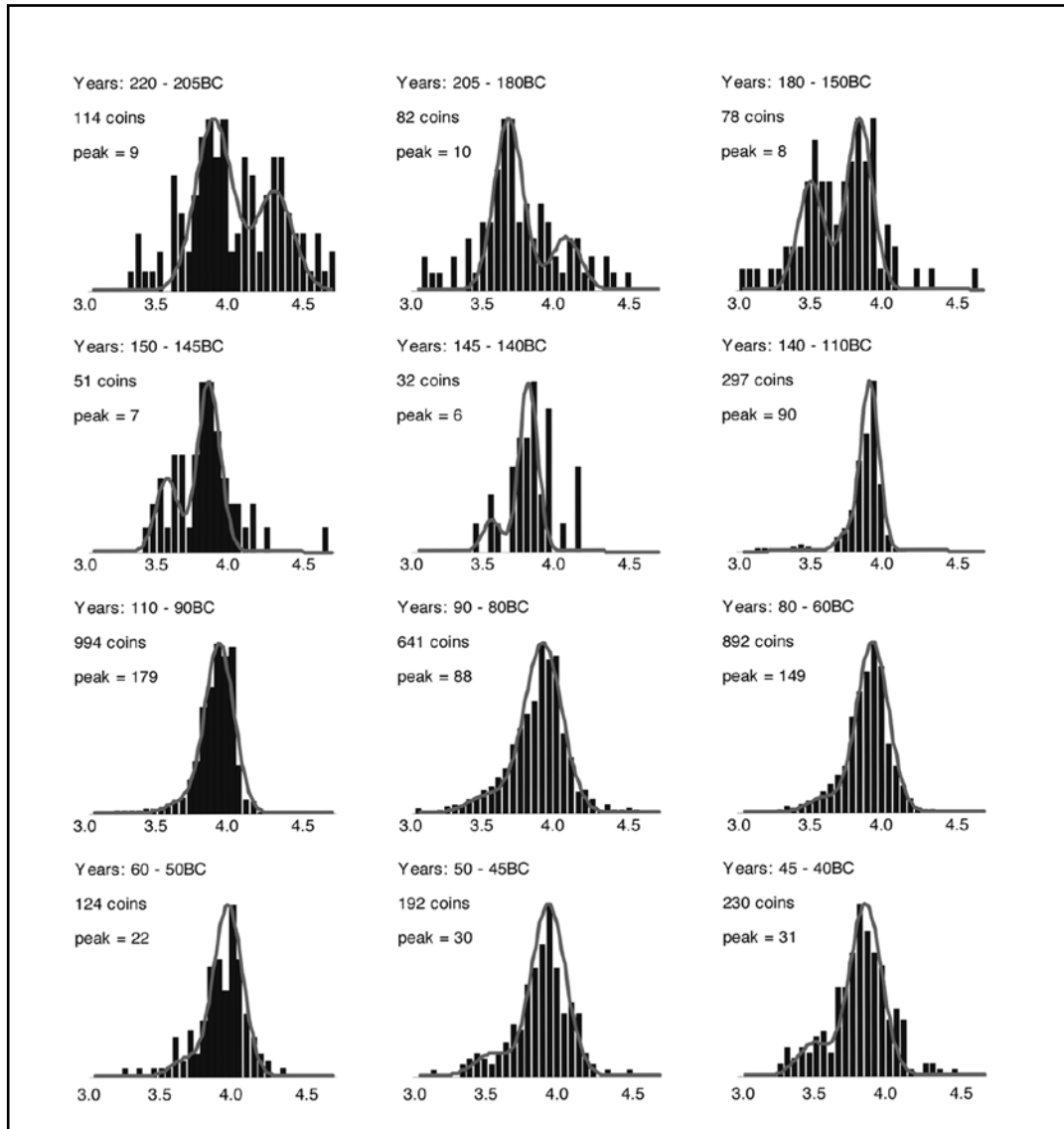


Fig. 4: Istogrammi dei pesi risolti nel tempo delle monete del BM. Per ogni istogramma si fornisce il corrispondente intervallo di tempo (years), il totale delle monete in esso contenute (coins) ed il valore di picco (peak) delle distribuzioni. L'intervallo di pesi analizzato è 3.0-4.7g e la larghezza degli intervalli di 0.05g per tutti gli istogrammi.

anonime, non vi è nella collezione del BM un numero sufficiente di monete. I soli casi in cui si trova un certo numero di pezzi sono: n. 281-284 (anonima senza simboli) e 317-322 (anonima con toro rampante) in [3, Vol.2]. Queste due serie hanno entrambe un peso medio alquanto basso di 3.35g. Questa non può che essere un'indicazione, essendo comunque il numero di pezzi troppo esiguo. In date più vicine alla ritariffazione, presso il BM sono disponibili serie più cospicue, dove si rileva il doppio standard all'interno delle singole serie. Quanto esposto sinora non può che essere lo spunto, il punto di partenza per studi più approfonditi, soprattutto per il periodo più antico. Dalle interpolazioni con curve gaussiane discusse in Fig.4 si possono estrarre interessanti parametri, quali la posizione dei picchi, corrispondente al valor medio, ed al rapporto delle monetazioni nei due standard di peso dal rapporto dei valori di picco delle due gaussiane interpolanti. Si è infatti supposto di utilizzare curve gaussiane di uguale larghezza a parità di periodo, in quanto ipotizzata legata alla precisione della zecca in detto periodo. Perciò il peso di uno standard ponderale, rappresentato dall'area sottesa alla gaussiana, è direttamente proporzionale al valore di picco. Possiamo quindi analizzare questi dati d'insieme al variare del tempo in Fig.5.

Qui ben si vede la posizione di uno dei picchi molto vicina al valore teorico di 3.87g, la maggior deviazione essendo localizzata in epoca antica (3.70g). Invece il picco secondario varia molto di più e si sposta da valori superiori al picco principale nei tempi più antichi, decrescendo rapidamente fino a passare a valori più bassi, intorno a 3.5g, dove resta più o meno costante per tutto il periodo repubblicano. Contemporaneamente all'analisi dei valori medi bisogna sempre tener presente il rapporto dei picchi, che dà ragione della loro entità. Dalla ritariffazione tale rapporto resta piccolo, sotto il 10%, risalendo solo negli ultimi periodi della repubblica fin verso il 20%. Per lo standard alto, attorno a 4.50g, non si può dire molto di più, vista l'esiguità del numero di tali pezzi. Riguardo lo standard basso, nonostante non sia mai stato descritto in precedenza, questo appare molto chiaramente ed è ben rappresentato lungo tutto il periodo repubblicano. Esso assume un ruolo rilevante fino ai tempi della ritariffazione, con un contributo intorno al 50%. Il momento della ritariffazione costituisce una svolta epocale nella monetazione argentea repubblicana. Da quel momento in poi cessa quella che potremmo chiamare "anarchia dei pesi", ben visibile nei primi quattro istogrammi di Fig.3. Da allora dello standard basso resta quella che potremmo definire una traccia, che per molto tempo si manifesta solo come un allargamento della distribuzione principale, riprendendo piena visibilità solo nella tarda repubblica, seppur come effetto secondario. Interessante è anche analizzare l'andamento delle larghezze delle gaussiane (varianza), che ci danno una misura dell'accuratezza con cui venivano preparati i tondelli da coniare. La curva presenta un chiaro minimo dopo la ritariffazione. Si evince in modo netto che l'effetto di una nuova normativa nei tempi antichi era esattamente uguale a ciò che si osserva oggi. Subito dopo l'emanazione della norma, essa viene applicata con diligenza e scrupolo. Con il trascorrere del tempo, i suoi effetti si mitigano. Si può quindi con ragionevole certezza affermare che la ritariffazione sia stata una riforma forte, che stabilì in modo rigoroso i nuovi standard, sia di peso che di tenore di lega. Di conseguenza la larghezza della distribuzione di peso, qui al suo minimo, quasi sicuramente corrisponde al meglio che si potesse fare per la tecnologia del tempo, che si può stimare in circa 0,05g. Infatti nell'intervallo di 0.1g ricade più della metà dei 300 pezzi nella collezione del BM nel periodo 140-110 a.C. Sfruttando tali caratteristiche di standard chiaramente elevato possiamo dedurre interessantissime informazioni, mai rilevate prima d'ora, quali la precisione della zecca, l'effetto dell'usura e la valenza statistica. Il valor medio della distribuzione è di 3.87g, coincidente col valore teorico di 1/84 di libbra, mentre il valore di picco è a 3.91g. Possiamo attribuire parte della differenza di 0.05g all'usura, che tende a produrre una distribuzione più larga verso i pesi bassi e quindi a ridurne il valor medio.

In Fig.5, coi dati d'insieme ricavati dalla collezione del BM, si riportano quelli dedotti da simili analisi condotte sulla collezione

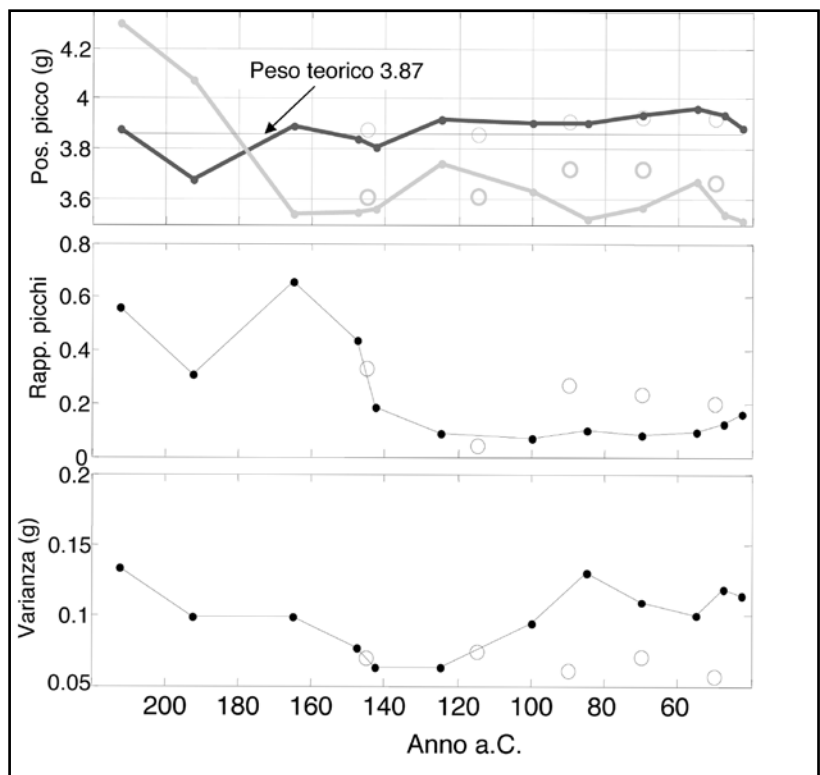


Fig. 5: Parametri estratti dalle interpolazioni degli istogrammi di Fig.4 con la somma di due curve gaussiane. In alto, posizione del picco principale (linea scura) e secondario (linea chiara). Al centro, corrispondente rapporto dei valori di picco, in fondo, varianza delle curve gaussiane interpolanti. I cerchietti corrispondono ai risultati ottenuti dall'analisi della collezione dell'autore. (vedi Fig. 9, parte destra).

dell'autore. Il confronto è buono, anche se non perfetto, per le sue qui ridotte dimensioni inoltre gli intervalli temporali adottati si discostano leggermente dai precedenti, per la necessità di selezionare sottoinsiemi di dimensioni simili su cui si baserà la successiva analisi del titolo dell'argento.

L'utilità degli istogrammi per condurre tali studi è stata rifiutata dal Crawford [1, pag.592], che afferma i valori medi essere parametro più significativo. Forse su ridottissimi insiemi, dell'ordine della decina, questo può essere vero, ma su grandi campioni lascio al lettore il giudizio. Lo stesso Crawford fornisce per alcune serie, quelle più antiche, i valori medi dei pesi rilevati nelle collezioni da lui visionate. Devo ammettere di essere stato disorientato da tali indicazioni che forniscono un valore teorico molto diverso dai valori medi rilevati. Solo a titolo esemplificativo ricordiamo Cr. 57, 58, 59, 60 e 61, dove a fronte di valori teorici di rispettivamente grammi 4.4, 4.4, 4.5, 4.5 vengono rilevati valori medi di grammi 4.03, 3.99, 4.10 e 4.26 su insiemi superiori ai dieci pezzi. Da dove vengano dedotti i valori teorici non viene ben specificato; tuttavia una teoria così lontana dai valori reali manifesta la propria debolezza. I motivi che possono far discostare un pezzo dal valore originario sono o un difetto (o asportazione di parte) del tondello o l'usura. La prima causa occorre raramente e non può influenzare i valori medi, mentre l'usura può provocare riduzioni al massimo di 0.1g, come discusso in precedenza. Probabilmente si tratta invece di serie coniate su due standard diversi, se possiamo ragionevolmente pensare che lo standard teorico fornito da Crawford possa essere stato dedotto dai pezzi di peso maggiore. Ad ogni buon conto questo dimostra almeno che uno studio statistico dei pesi basato solo sui valori medi non ha spesso nessun valore.

Concludendo si può affermare che, preso come riferimento il periodo successivo alla ritariffazione, tutte le rilevanti differenze osservabili nei periodi successivi (allargamento della distribuzione verso valori di peso inferiori e presenza di un picco secondario nella zona bassa) sono da attribuirsi in toto alle politiche della zecca, di cui si discuterà meglio in seguito. Un discorso a parte andrà fatto, dopo i dovuti approfondimenti, per il periodo più antico, dove risulta evidente la compresenza di diverse zecche e diversi standard ponderali.

Contenuto d'argento

Il secondo parametro considerato in questo lavoro è il peso specifico (PS) delle monete argentee, poichè può essere direttamente correlato alla purezza del metallo utilizzato per coniare il numerario argenteo. Essendo infatti la monetazione in esame basata sul suo valore intrinseco, esso è univocamente determinato dai due parametri qui analizzati: peso e purezza della lega. Tuttavia la misura di tale parametro, soprattutto in monete antiche, non è semplice. Escludiamo subito ogni tecnica distruttiva, come la coppellazione (vedi [1, pag. 570], che richiede la fusione delle monete), l'analisi chimica [4] o l'ablazione tramite laser. Fra le più recenti tecniche non distruttive sviluppate come strumenti di analisi archeometrica distinguiamo quelle di superficie e di volume. Fra le prime ricordiamo la fluorescenza a raggi X (XRF) [5,6] e l'emissione di raggi X tramite bombardamento di particelle (PIXE) [7]; queste sono così dette in quanto sono in grado di dare informazioni elementali fino a profondità di poche decine di micrometri (millesimi di millimetro). Al contrario, tecniche come l'analisi per attivazione da raggi gamma (PGAA) [6] o per attivazione di neutroni veloci (FNAA) sono tecniche che offrono accesso alla totalità del metallo contenuto nella moneta. Tutte le tecniche di volume si basano su una qualche emissione radioattiva dei costituenti il metallo, dietro sua previa eccitazione tramite bombardamenti neutronici ad alta energia, che possono penetrare in tutto il

STEFANO DI VIRGILIO

**FOTOGRAFIA DIGITALE
COLORE - BIANCO/NERO
REDAZIONE CATALOGHI
PER PROFESSIONISTI NUMI-
SMATICI
E PRIVATI COLLEZIONISTI**

Via dello Spalto 19/3 - 40139 Bologna
Tel. 333.106.95.91 - 051.188.99.685
stefano.divirgilio@poste.it

volume della moneta. Le prime invece sfruttano la risposta dell'oggetto a raggi X o a neutroni a più basse energie, che quindi non penetrano in profondità. Potremmo così classificarle come tecniche attive (il metallo emette radiazioni, diverse a seconda del componente) e passive (il metallo risponde in riflessione diversamente, a seconda della sua composizione). Alcune delle tecniche più energetiche, soprattutto in passato, potevano lasciare radioattività residua nelle monete. Altre tecniche interessanti sono state proposte, come quella descritta in [8], basata sull'analisi superficiale delle caratteristiche cristalline del metallo, che variano con la composizione. Uno svantaggio di tale tecnica è che i pezzi devono essere preparati con un'opportuna pulitura/levigatura nell'area dove viene effettuata l'osservazione al microscopio. L'intera procedura, seppur solo parzialmente invasiva, è piuttosto lunga e complessa, come si evince anche dalle sole sei monete studiate in [8].

Tutto quanto esposto in precedenza rende chiari i motivi per cui i dati reperibili in letteratura siano scarsi: tecniche distruttive scoraggiano ovviamente analisi a tappeto, così come quelle troppo sofisticate, che richiedono apparecchiature costose e complesse e di personale altamente specializzato per utilizzarle. In più questo richiede la collaborazione fra due mondi molto distanti fra loro: la numismatica e la fisica. Ciò, benché non impossibile, è accaduto raramente in passato [6,9]. In [6] si analizza però un periodo successivo, il II secolo d.C., molto distante dal periodo qui in esame; tuttavia il lavoro è molto interessante dal punto di vista tecnico, poiché evidenzia i limiti dei metodi superficiali, mettendoli a confronto sullo stesso insieme di monete misurate con un metodo di volume.

Un'indagine estesa a tutto il periodo repubblicano è proposta dal Crawford in [1, pag.570], dove si riporta il fino di circa 50 monete argentee. Si tratta di dati provenienti da diverse fonti, utilizzando metodi diversi, e non distribuiti regolarmente sull'asse dei tempi (vedi Fig.8): essi non si prestano ad un'analisi accurata e sistematica.

Alcuni anni dopo il Walker pubblicò uno studio esteso e sistematico [5] sulla monetazione argentea di Roma repubblica (RR), analizzando tramite il metodo della fluorescenza da raggi x (XRF) circa 2000 pezzi, dalle emissioni Romano-Campane a quelle di M.Antonio. Poiché questo è proprio lo scopo e l'argomento del presente lavoro, diviene doveroso dare un resoconto di quei risultati. Walker trovò caratteristiche di fino molto stabili, in quanto comprese quasi tutte nell'intervallo 92-97%. Per le didracme si ha una media del 94%, del 92% per i quadrigati e solo i vittoriati sono trovati con un fino più basso, dell'83% in media. Invece per il denario si hanno valori quasi sempre attorno al 97%, con leggere flessioni (max 3%) nel periodo 89-87aC e intorno al 92% per le emissioni legionarie di M.Antonio. Anche le emissioni di quinari nel periodo di Mario e Silla (101-87a.C.) sono trovate con un fino ribassato, intorno al 92%. L'enorme mole di materiale studiato relativamente al periodo repubblicano e l'assoluta compressione verso valori sopra il 90% per il fino hanno in qualche modo inibito analoghi studi successivi, anche se è ora ben riconosciuto che lo studio del Walker è pesantemente inficiato dal cosiddetto "silver surface enrichment", ossia l'arricchimento superficiale d'argento. Lo stesso Walker ne era consapevole [5, introduzione] ma non nella sua piena portata e nelle sue misure non è quindi riuscito ad evitarne le deleterie conseguenze. Tale fenomeno è ben studiato e discusso in [10]; durante i vari passi per la produzione delle monete (preparazione dei tondelli, riscaldamento e relativa coniazione), parte dell'argento in una lega omogenea AgCu migra verso la superficie della moneta. Il fenomeno non è completamente compreso in tutti i suoi dettagli e dipende

da molti fattori. Quindi gli autori di [10] hanno correttamente intrapreso una via pratico-sperimentale, ripercorrendo le varie fasi della coniazione a partire da leghe a diverso titolo d'argento. Tali monete dal titolo noto sono poi state misurate tramite tecnica XRF e i risultati possono essere così riassunti: leghe con fino 18-72% danno un valore superficiale del 72%. Nell'intervallo 72-92% in superficie si ottiene il 92% mentre il fenomeno scompare per leghe con fino maggiore del 92%, dove la lettura di superficie corrisponde al valore reale. Questo comportamento spiega facilmente i risultati di Walker che rivelano una chiara tendenza ad addensarsi attorno al valore del 92%, dove altre metodologie [vedi 1, pag.570] avevano già fornito titoli d'argento molto più bassi (nelle emissioni di quadrigati o in quelle legionarie di M. Antonio, ad esempio). Le stesse conclusioni sono raggiunte in [6], dove le tecniche XRF e PGAA (prompt gamma activation analysis), una di superficie e l'altra di volume, forniscono risultati molto diversi sullo stesso campione di monete.

Perciò per misurare il valore reale del fino in monete antiche si devono utilizzare solo tecniche di volume, capaci di analizzare le monete nella loro interezza. Animati dibattiti sono tuttora in corso fra gli addetti ai lavori su quali siano gli strumenti di analisi più appropriati per lo studio delle monetazioni antiche, come testimoniato da recenti conferenze internazionali su tali tematiche di archeometria [11]. Nel frattempo si (ri)propone qui la tecnica del peso specifico (PS) per misurare il fino di monete d'argento. I suoi vantaggi rispetto a tutte le tecniche proposte e discusse precedentemente sono evidenti ed impareggiabili. Infatti questo richiede un'apparecchiatura semplice ed economica, basata essenzialmente su una bilancina elettronica con precisione del milligrammo ed è una misura intrinsecamente di volume, semplice, veloce e del tutto innocua per le monete. Tale tecnica ha ricevuto in passato poco credito nel campo della numismatica antica, a causa di importanti controindicazioni, quali scarsa riproducibilità ed accuratezza [4,12]. Si dimostra qui per la prima volta che con opportuni accorgimenti e modifiche rispetto allo schema adottato usualmente, esso può venire adottato con profitto, e fornisce precisioni e riproducibilità tali da far intravedere nuovi orizzonti di ricerca nel settore della numismatica antica.

A. Misura del peso specifico

La misura del peso specifico, ovvero il rapporto fra peso e volume di un corpo, richiede la misura di entrambe questi parametri. Senza dubbio il problema di gran lunga più difficile è la misura del volume, che si può ricondurre ad una misura di peso, grazie alla legge fisica che Archimede scoprì quasi 2300 anni fa: "un corpo immerso in un liquido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del liquido spostato". È curioso ricordare qui che Archimede arrivò alla formulazione di questo principio proprio per risolvere il problema della purezza di una corona d'oro, commissionata per il tempio dal suo signore Gerone II. Egli poté dare una risposta sull'onestà dell'orafo sia grazie alla sua scoperta, che per il peso dell'oggetto e la grande differenza di peso specifico fra oro e argento (19.25 contro 10.5).

Supponendo di utilizzare acqua, il cui peso specifico è per definizione unitario, il peso specifico del corpo si ricava da:

$$PS = (\text{peso oggetto in aria})/(\text{peso acqua spostata})$$

Considerando che il PS dell'argento è 10.5g/cm^3 , il volume di un denario repubblicano risulta essere circa $3.87\text{g}/(10.5\text{g/cm}^3) = 0.37\text{cm}^3$. Questo implica di pesare circa 0.37g d'acqua con sufficiente precisione. Ma cosa significa

sufficiente? Per quantificare i parametri in gioco, bisogna considerare anche il PS del rame, che è di 8.9g/cm³. Così ogni possibile lega AgCu avrà PS nell'intervallo 8.9–10.5: questa piccola differenza di PS rende difficile la misura. Nell'ipotesi che la precisione nel pesare il liquido sia l'unica fonte di errore (in realtà conta comunque più del 90%), la relazione fra precisione della bilancia e contenuto d'argento è data da:

$$\varepsilon_{Ag} (\%) = \varepsilon_{bilancia} / W_{liquido} \times PS / (PS_{Ag} - PS_{Cu}) \times 100 = \varepsilon_{bilancia} / W_{liquido} \times 700$$

dove ε indica la precisione e W il peso. Perciò una bilancia con una precisione del centigrammo (0,01g) deve essere subito scartata. Infatti risulterebbe in un errore sul fino del 0,01/0,37x700=20%. Invece una precisione del milligrammo (0,001g) fornisce un miglioramento considerevole, risultando in una precisione del 2%.

A1. Apparato di misura

Da poco tempo bilancine di precisione elettroniche a basso costo sono disponibili sul mercato. Per il presente studio è stata utilizzata una bilancia DIAMOND, PROFESSIONAL-MINI; può pesare fino ad un massimo di 10g con una precisione di 1mg. L'apparato di misura ideato e costruito dall'autore è completamente fatto in casa con materiali ed oggetti comuni. Tuttavia realizza alcuni accorgimenti che si discostano da quanto fatto in passato e che si rivelano fondamentali per le prestazioni finali in termini di praticità e precisione. La procedura standard [12] prevede di pesare la moneta in aria ed in acqua e dedurre il suo volume dalla differenza fra le due misure. La moneta viene solitamente appesa ad un filo e pesata immersa in acqua. Il filo introduce un errore sistematico nella misura, in quanto anch'esso sposta liquido in relazione al suo volume, seppur piccolo. Di tale effetto si può tener conto e può venire pressoché eliminato [12]; tuttavia tale metodologia di misura risulta macchinosa e poco pratica, anche per i problemi di fissaggio della moneta al filo.

Il sistema realizzato dall'autore è molto diverso, in quanto il liquido viene posto in un piccolo contenitore plastico, molto leggero, dalle dimensioni di circa 8x30x40 mm³ fissato al piatto della bilancia. Si è quindi realizzato un cestello in sottile filo di rame capace di contenere la moneta e di entrare nel contenitore senza toccarne le pareti. Tale cestello è solidale con una movimentazione verticale che permette di sollevarlo e reimmergerlo nel liquido alla posizione di partenza. Quando il sistema è posizionato col cestello tutto abbassato ed immerso nel liquido, si utilizza la funzione di tara della bilancia che ne azzerata la lettura. In questo modo il cestello viene automaticamente eliminato dalla misura. Quindi lo si solleva, vi si pone la moneta in posizione verticale (l'unica consentita dalla forma alta e stretta del cestello) e lo si riabbassa alla posizione di partenza dove era stata azzerata la bilancia. La lettura che si ottiene è il peso del liquido spostato dal volume della sola moneta. La posizione verticale impedisce che si possano intrappolare piccole bolle d'aria sulla superficie della moneta.

Inizialmente, come nella procedure standard, si è utilizzata acqua come liquido. Tuttavia si sono subito evidenziati i limiti di tale procedura, che fornisce variazioni nella lettura pari a 5-10mg, rendendo così del tutto superflua la precisione del milligrammo della bilancia. Le ragioni di tale problema alquanto probabilmente risiedono nella forte polarità delle molecole di acqua che, data la complessità della superficie delle monete antiche, in termini di porosità ed ossidazioni, impediscono all'acqua in modo casuale di aderire uniformemente alla moneta e di penetrare in tutte le sue porosità. Seguendo questa ipotesi si è pensato di utilizzare un liquido a polarità minore, quale l'alcool etilico, sostanza

reperibile facilmente e del tutto neutra per le monete. Tale scelta si è dimostrata vincente, in quanto fornisce variazioni dell'ordine di ± 1 mg su una serie ripetuta di misurazioni. Successivamente si è constatato che già in precedenza l'alcool era stato utilizzato a questo scopo e con successo per la misura del volume di rubli di platino [13]. Poiché l'alcool ha un peso specifico minore di 1, si è pensato di non ricorrere al suo PS reperibile in letteratura per ottenere la misura del volume. Si effettua invece una calibrazione dell'apparato prima di ogni serie di misure; in questo modo si può tenere conto anche delle diverse possibili variazioni temporali dell'apparato, di temperatura e del fatto che il sollevamento del liquido con la moneta rimette parzialmente in gioco il cestello di contenimento. La taratura viene infatti effettuata tramite un piccolo cilindretto d'acciaio di forma regolare, di cui si conosce con esattezza il peso specifico ed il volume, scelto circa uguale a quello di un denario. Come verifica si è misurata una serie di cinque monete in rame del Regno d'Italia da 5 centesimi, ottenendo risultati vicini al valore teorico del rame, con uno scarto massimo di 0.04 rispetto ad un valor medio di 8.89.

A2. Deduzione del fino dal peso specifico

Per correlare la misura di peso specifico al fino di una moneta bisogna ipotizzare di conoscerne la composizione della lega. Diversi studi precedenti, sia fisici (analisi spettrometriche) che chimici hanno dimostrato che la lega utilizzata è AgCu (argento e rame). Il contributo di altri metalli è del tutto involontario e dovuto ai limiti tecnologici della metallurgia antica. A seconda della provenienza del metallo prezioso o della sua contaminazione per l'utilizzo di crogioli dove erano stati posti altri metalli, si sono rilevate tracce di piombo, ferro, oro o altro, ma per un totale massimo del 2%, che può quindi essere trascurato in questa sede, essendo del resto confrontabile con la precisione della nostra misura. Supponendo quindi una lega pura in AgCu, il fino si ricava da:

$$\text{Ag}\% = (1/\text{PS} - 1/\text{PS}_{\text{Cu}}) / (1/\text{PS}_{\text{Ag}} - 1/\text{PS}_{\text{Cu}}) \times 100$$

dove PS è il peso specifico misurato PS_{Cu} , PS_{Ag} quelli dei componenti la lega. La precedente relazione è sicuramente valida per una lega nuova, appena preparata, mentre in una moneta antica si deve tener conto di varie problematiche che insorgono a causa dei lunghi periodi di sotterramento, in ambienti disparati e della presenza in superficie di incrostazioni ed ossidazioni (patina). L'addizionale possibilità di microporosità non bagnate completamente dal liquido possono anche influire sul risultato della misura.

A3. Considerazioni sulla precisione

Come precedentemente discusso, il milligrammo di precisione della bilancia porta ad un possibile errore nella stima del fino di circa il 3%, tenendo conto del minor peso specifico dell'alcool rispetto all'acqua (circa 0.87). Due domande sorgono quindi spontanee: è una precisione sufficiente? Può essere migliorata? Per la seconda domanda si può rispondere facilmente con un no, per diversi motivi. Infatti aumentando la precisione della bilancia a 0,1mg si andrebbe incontro a varie difficoltà che vanificherebbero i vantaggi di economicità, velocità e facilità di questo apparato di misura. Bisognerebbe utilizzare un sistema più sofisticato con una meccanica di precisione ed un progetto che permettesse di escludere cause di errore quali vibrazioni e correnti d'aria (anche prodotte dallo stesso respiro dell'operatore). Questo tuttavia potrebbe non essere sufficiente. Infatti con una precisione dieci volte maggiore probabilmente si evidenzerebbe la minore, ma pur presente, polarità dell'alcool ed entrerebbero in gioco più prepotentemente le cause di errore dovute a patina, incrostazioni e tracce di

altri metalli nella lega. Tutti questi effetti possono ben produrre variazioni nelle misure dell'ordine del percento, vanificando i vantaggi di una strumentazione con precisione teoricamente più alta. Alla fine questa darebbe solo una falsa aspettativa di precisione maggiore. Secondo [14], la precisione dell'1% è raggiungibile nelle migliori condizioni e con oggetti appena preparati. Anche da ciò, considerando le altre cause di incertezza che possono influire sulla misura di una moneta antica, si può capire come non sia ragionevole chiedere o aspettarsi precisioni maggiori del 2-3% da questa metodologia.

Riguardo la prima domanda, se la precisione stimata sia sufficiente, questa deve essere ovviamente accompagnata dall'informazione su quale sia la variazione di fino che ci si aspetta di dover misurare. Sicuramente se questa fosse dell'ordine di pochi punti percentuali, il 3% non sarebbe sufficiente. Pertanto la risposta a questa domanda necessita l'anticipazione dei risultati, che mostrano valori del fino in un largo intervallo dal 20 al 98%. Quindi possiamo affermare che la precisione dell'apparato di misura è più che sufficiente per studiare le caratteristiche principali della monetazione argentea della repubblica romana.

B. Risultati delle misure sull'intera vita del denario

Come prima analisi si considerano le misure dalle origini fino alla scomparsa del denario, verso la metà del III secolo d.C. Infatti per il periodo imperiale sono disponibili più dati che per quello repubblicano. Ciò è stato possibile grazie alla presenza di una trentina di argenti imperiali nella collezione dell'autore. Indubbiamente un numero troppo esiguo per analisi approfondite o statistiche, ma sufficiente per dare un'idea dell'andamento temporale della svalutazione monetaria ed attuare un confronto con dati precedentemente pubblicati [6,15]. Il contenuto d'argento in funzione del tempo è mostrato in Fig.6; i corrispon-

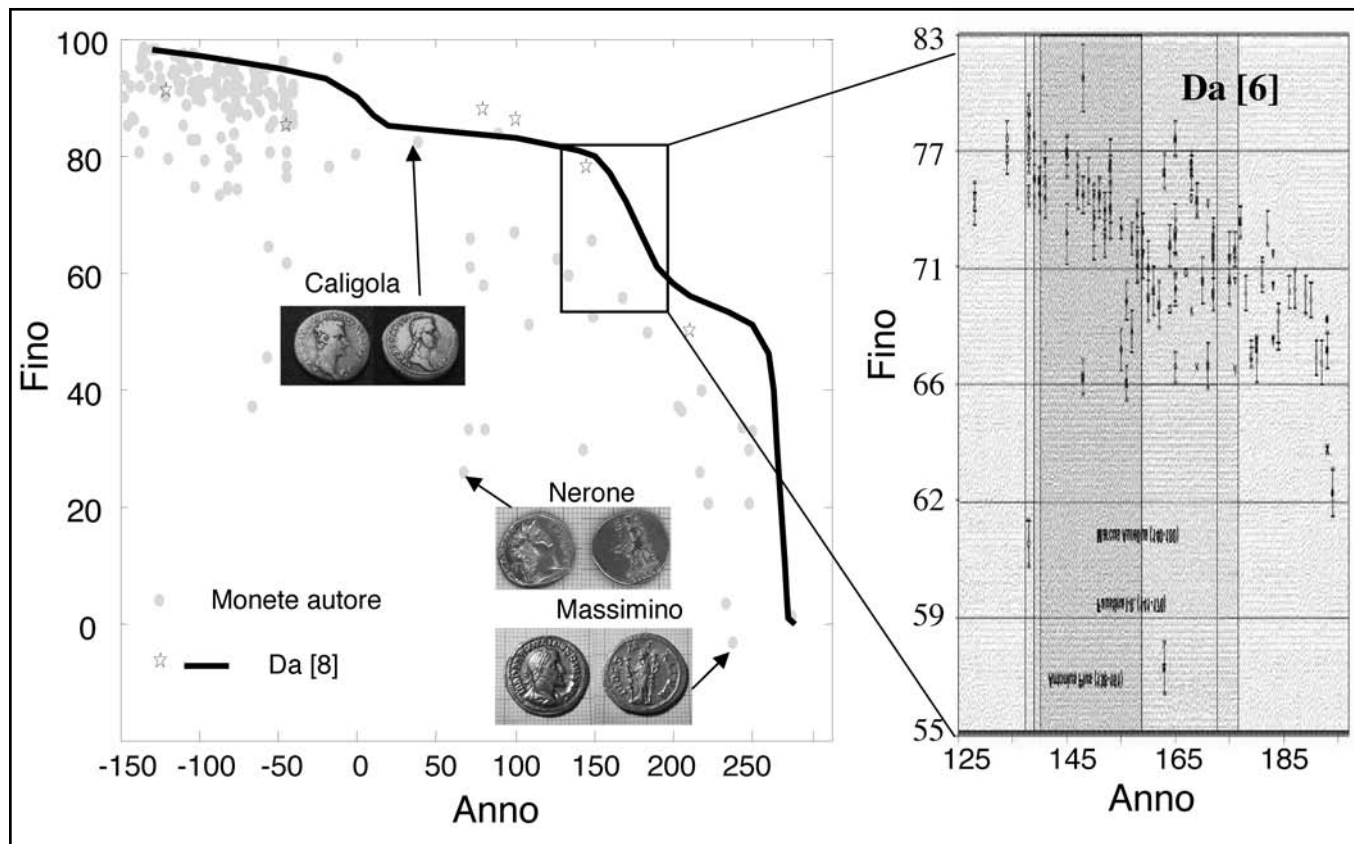


Fig. 6: Confronto del fino al variare nel tempo fra le presenti misure e dati ottenuti da fonti diverse.

denti dati sono forniti in Tabella I e II per il periodo imperiale e repubblicano rispettivamente. Si rileva un buon accordo per i tempi repubblicani, dove anche i dati pubblicati in [8] mostrano un fino un po' più basso rispetto a precedenti valutazioni. Il periodo finale del denario, diciamo a partire dal 180 d.C., mostra una riduzione inarrestabile del fino, come recita il fortunato titolo di [8]. Nell'ultimo periodo si trovano valori vicini allo zero ed addirittura negativi per un denario di Massimino. Questo risultato assurdo indica semplicemente che l'ipotesi di partenza di lega binaria AgCu non è più verificata. In questo periodo terminale infatti si utilizzano leghe più complesse al fine di dare alle monete un aspetto argenteo senza quasi utilizzare metallo nobile. Per cui, oltre al rame, si introdussero nella lega altri metalli bianchi, quali lo stagno, il cui peso specifico di 7,2 giustifica pesi specifici delle monete anche al di sotto di quello del rame puro (8,9). Un altro fenomeno che può concorrere a ridurre il peso specifico può essere la perdita di rame sotto forma di ossidi di vario tipo dalla moneta, in seguito al secolare seppellimento in particolari terreni e condizioni ambientali. La combinazione di questi due fattori può spiegare i valori più bassi di un 10-20% delle presenti misure rispetto ad altri metodi, insensibili a tali effetti. Tuttavia tutte le caratteristiche dell'andamento temporale del fino sono ben riprodotte. I due appiattimenti della curva nei periodi 50-150 e 200-250 d.C. sono ben visibili e confrontabili con la curva tratta da altre misure [8]. L'incremento del fino ai tempi di Filippo l'Arabo e Traiano Decio rispetto a quello degli ultimi Severi (vedi Tabella I) hanno riscontri sia storici che in altre misure.

Bibliografia

- [1] M.H. Crawford, (1974). *Roman Republican Coinage*, Cambridge University Press, 1982 reprint.
- [2] <http://www.coinarchives.com/a/>
- [3] H.A. Grueber, *A catalogue of the Roman coins in the British Museum*, 1970 reprint.
- [4] E. R. Caley: *Notes on the chemical composition of parthian coins with special reference to the drachms of Orodes I*, The Ohio Journal of Science, Vol. 50, n.3, 1950, pp.107-120
- [5] D.R.Walker, *The silver contents of the Roman Republican coinage*, in Metallurgy in Numismatics I (1980) pp.55-72
- [6] Zs. Kasztovszky, E. Panczyk, W. Fedorowicz and Zs. Révay, *Comparative archaeometrical study of Roman silver coins by prompt gamma activation analysis and SEM-EDX*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 265, Number 2, pp. 193 – 199, 2005
- [7] R. Bugoi, B. Constantinescu, F. Constantin, D. Catana, D. Plostinaru, A. Sasianu, *Archaeometrical studies of Greek and Roman silver coins*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol 242, n.3, pp. 777- 781, 1999 <http://www.arheomet.ro/pdf/JRNC-1999.pdf>
- [8] A.W. Pense, *The decline and fall of the roman denarius*, Materials Characterization, V. 29, Issue 2, September, pp. 213-222, 1992 www.lehigh.edu/~inarcmet/papers/pense%201992.pdf
- [9] P.Serafin Petrillo, *Analisi volumetriche di monete antiche: metodologia ed applicazioni pratiche*, Memorie dell'Accademia Italiana di studi filatelici e numismatici, Vol.II, fs.1-2, pag.141-143, 1982-83
- [10] L. Beck,, S. Bosonnet, S. Réveillon, D. Eliot, F. Pilon, *Silver surface enrichment of silver-copper alloys: a limitation for the analysis of ancient silver coins by surface techniques*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 226 (2004) 153–162
- [11] Symposium *Ancient and Medieval Monetary Technologies and Metrology - The Contribution of the Atomic and Nuclear Analyses*, Bucharest, Romania, May 3rd-6th 2007
- [12] B.Prause, *Die Messung der Dichte der Silbermuenzen*, in Metallanalytische Untersuchungen an Muenzen der Roemisches Republik, W.Hollsteing Ed., Cebr. Mannverlag, Berlin 2000
- [13] D.B. Willey and A.S. Pratt, *The Minting of Platinum Roubles: PART III: the platinum roubles of Johnson Matthey*, Platinum Metals Rev., 2004, 48, (3), pp. 134-138
- [14] E. R. Caley, *Validity of the Specific Gravity Method for the Determination of the Fineness of Gold Objects*, The Ohio Journal of Science. v49 n2 (March, 1949), 73-81
- [15] D.R.Walker, *The metrology of the roman silver coinage*, Oxford 1976,77,78