

Dall'analisi chimico-fisica un contributo allo studio delle monete antiche

Abstract

Uno studio comparato e multidisciplinare, che consideri sia l'aspetto storico-archeologico che quello chimico-fisico, può essere facilmente applicato alla numismatica antica poiché la moneta, come oggetto e come documentazione storica, può essere considerata, oltre che dal punto di vista storico e stilistico, anche come un oggetto che racchiude informazioni tecnologiche atte ad essere svelate tramite trattamenti statistici dei dati. Attraverso indagini morfologiche e composizionali è possibile ricavare elementi distintivi che permettono di ottenere classificazioni di dati quali parametri di partenza per una collocazione geo-temporale di reperti monetali.

La misurazione delle caratteristiche della moneta, come il peso e il diametro, ma anche l'esame dei bordi e delle facce (al dritto e al rovescio) e l'analisi composizionale, adeguatamente trattati statisticamente, consente l'ottenimento di importanti informazioni che, oltre alle ovvie risultanze storiche e numismatiche in sé, sono attinenti ai seguenti campi di studio: 1) tecniche di produzione, 2) caratterizzazione (tipo di lega metallica), 3) provenienza, 4) datazione indiretta, 5) autenticità. Il lavoro presentato, fornendo una metodologia che si spera possa diventare uno strumento diagnostico in numismatica, vuole evidenziare come analisi scientifiche sui reperti monetali possano fornire indicazioni in direzioni alternative a quella tipologica e storica. Tre casi-studio descrivono come la moneta abbia fornito indicazioni che implementano le informazioni derivanti dal solo contesto numismatico. Il primo riguarda lo studio di autenticità del prezioso reperto in oro di Imera, la "phiale di Achyris"; la *phiale mesomphalos* (latinopatera umbilicata) è una forma ben attestata nel mondo greco, sia con esemplari in ceramica che metallici della fine del IV e l'inizio del III sec. a.C. Il reperto investigato ha una scritta da cui sono stati tratti importanti suggerimenti per le indagini sulla sua autenticità. Il secondo caso riguarda l'identificazione delle tecniche di coniazione degli Aurei di Sesto Pompeo Magno mentre il terzo riguarda un gruppo di circa 60 monete puniche del tipo testa maschile/cavallo al galoppo, provenienti dalla collezione privata M. Viola, dove le analisi chimico fisiche ed una trattazione statistica delle caratteristiche misurabili delle monete hanno evidenziato particolari interessanti per la loro collocazione storica.

Parole chiave

Morfometria della moneta, statistica, distribuzioni di frequenze, pesi, diametri, SEM-EDS, Numismatica punica, numismatica romana, numismatica greca.

¹ Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati-CNR; ² Istituto di Studi sul Mediterraneo Antico-CNR.

Introduzione

Nell'indagine chimico-fisica di un reperto archeologico in metallo si considera l'oggetto come documento culturale e tecnologico. La tecnologia applicata sull'oggetto antico lascia tracce che possono venire interpretate alla luce di nuovi sistemi diagnostici e della conoscenza delle leggi che governano i processi di trasformazione della materia nel tempo.

L'oggetto *moneta*, tra le varietà molteplici di manufatti archeologici in metallo, presenta caratteristiche peculiari che permettono di inserire questa categoria di reperto tra i più adatti oggetti di studio della chimico-fisica applicata ai beni culturali. Infatti le monete antiche hanno acceso l'interesse scientifico fin dall'inizio dell'archeometria ed in particolare dell'archeometallurgia. Gli studi archeometrici classici dei primi anni '50 hanno infatti mosso i primi passi nel mondo della ricerca scientifica proprio iniziando dallo studio delle monete provenienti da scavo.

La moneta, legata ad un'autorità emittente ben precisa, a sua volta connessa con zecche dislocate sul territorio nelle più importanti aree di influenza, porta di per sé, attraverso la lettura ed interpretazione delle sue facce, un corredo di informazioni cronologiche e di provenienza che forniscono un fondamentale punto di appoggio per ulteriori speculazioni di tipo scientifico. L'applicazione di tecniche analitiche agli studi di numismatica classici permettono il raggiungimento di risultati che riguardano e trascendono la moneta in sé e vanno ad interessare anche altri campi, e cioè la storia, l'archeologia, la statistica e la geofisica. Per quanto concerne la statistica, il grande numero di esemplari, i cosiddetti "gruzzoli" o "tesoretti" sotto la cui forma il ritrovamento numismatico viene in genere fatto, permette l'analisi o la misurazione di una caratteristica su una popolazione numericamente importante di esemplari, e quindi permette l'applicazione di metodi statistici quali lo studio della forma della distribuzione dei valori ottenuti (CANDELLIERI, 1989), test parametrici e non parametrici e correlazioni, fino ad arrivare ai più complessi metodi di analisi multivariata; tale è la Principal Component Analysis (PCA) mediante la quale è possibile studiare sistemi complessi di dati in cui si prendono in considerazione più di tre variabili. La geofisica è stata invece menzionata poiché un interessante sviluppo dell'archeometria applicata alla numismatica riguarda i cosiddetti metodi *isotope-based* che consentono, dal confronto dei rapporti isotopici di elementi caratterizzanti, quali il piombo, il riconoscimento del bacino di estrazione del metallo costituente la moneta. Se per alcune classi di materiali è possibile ottenere una datazione tramite l'applicazione di metodi analitici diretti, come ad esempio il C14 per i reperti di natura organica, oppure la termoluminescenza per i materiali ceramici, per i metalli la determinazione della datazione deve avvenire per metodo indiretto attraverso l'esecuzione di analisi delle abbondanze isotopiche mediante la tecnica della spettrometria di massa, al fine di ricostruire il percorso di produzione a partire dal bacino di estrazione delle materie prime costituenti (la datazione deriva indirettamente dalla valutazione del periodo di sfruttamento della miniera), oppure tramite lo studio delle tecniche di realizzazione, e quindi le tecniche di produzione del tondello, dell'im-

pressione delle facce, l'uso di conii, fusioni, ribattiture (MANFREDI, 1997) ed altro (BARELLO, 2006; FINETTI, 1997).

Da menzionare anche lo studio spaziale della presenza monetale tramite metodi informativi geografici quali in GIS (come spiegato in Manfredi, "Analisi spaziale delle monete puniche rinvenute nell'Europa centrale con il sistema d'informazione territoriale GIS", in questo volume), perché permette di ottenere informazioni sulla presenza e frequenza dei ritrovamenti numismatici su territori ampi.

È necessario ovviamente che il metodo applicato allo studio del reperto numismatico sia non invasivo, non distruttivo o micro-distruttivo, poiché un'analisi che preveda la distruzione di parte o di tutto il campione sarebbe fine a se stessa e in contraddizione con gli scopi della ricerca archeometrica, ossia quelli della valorizzazione e della fruizione più consapevole dell'oggetto. Inoltre è necessario poter garantire, ove possibile, eventuali futuri approfondimenti analitici. Alcuni esempi di casi-studio possono illustrare la propedeuticità delle informazioni in altri settori, ricavate da indagini sulle monete e l'applicazione di nuove metodologie scientifiche a favore degli studi numismatici. Di seguito vengono riportati tre esempi di studi eseguiti con l'ausilio di strumentazione analitica SEM-EDS: la Phiale di Achyris, gli aurei di Sesto Pompeo Magno e lo studio di una collezione di monete puniche testa maschile/cavallo al galoppo (tipologia catalogata in VIOLA 2010; MANFREDI 1990).

Phiale di Achyris

Nei primi anni 2000 sono state svolte indagini in più settori disciplinari, per incarico della Procura Circondariale di Termine Imerese, per l'attribuzione di autenticità di un reperto in oro, la "phiale mesomphalos" (*patera umbicata*, fig. 1) detenuta illegalmente negli Stati Uniti.



Fig. 1 - Phiale di Achyris, diametro = 23 cm, peso = 978 g circa, realizzata per fusione di 115 stateri d'oro greci

La patera è di tipo assai diffuso fin dalla fine del IV a.C. ed usato con frequenza nei secoli III-II a.C. sia nella metallotecnica che nella ceramica. La tipologia della phiale, propria del rito della libagione, è menzionata da Aristotele (*Retorica III*, 44)

che la paragona ad uno scudo. Ha coppa poco profonda, fornita sul fondo di un ombelico (*omphalos*) per essere tenuta “sulla punta delle dita” (Polluce VI, 95). Le decorazioni piene di simbolismi, quali viticci filiformi ed a spirale con pampini e grappoli, ghiande ed api, trovano riscontro nel repertorio decorativo della ceramica siciliota a partire dall’ultimo ventennio del IV sec. a.C. Dalle indagini epigrafiche è stato dedotto che le parole *chrysoi* (oro) e tre lettere - Pbb, sono simboli probabilmente del peso della coppa (115), indicato con un sistema numerale che trova un parallelo significativo nel V decreto di Entella, secondo l’interpretazione e la lettura di Mario Lombardo [Vassallo Spatafora, 2005].

La parola *chrysoi* indicherebbe in tal caso, come precisa G.Manganaro, che uno statere aureo di Filippo II o di Alessandro III di Macedonia, dal peso medio di circa g 8,54, moltiplicato per il numerale, darebbe il peso complessivo della phiale.

Quest’ultima informazione ha permesso di ricavare da dati specifici di peso e composizione una prova di autenticità del reperto in quanto la phiale corrisponde proprio a 115 volte il peso di uno statere, ugualmente corrispondente è la composizione in percentuale in peso (Au 99,1; Cu 0,1 e Ag 0,8) alla moneta (8,589 g) denominata: Filippo II di Macedonia (Collezione Pozzi n. 164) 336 a.C. studiata con metodi della diagnostica scientifica da C. Botrè ed E. Fabrizi (1994, 95).

Gli aurei di Sesto Pompeo Magno

Il secondo esempio che si riporta è uno studio analitico su aurei di Sesto Pompeo Magno:



Fig. 2
Dritto e rovescio di un aureo coniato *Iulius Caesar*.
Dritto: Testa diadematata di Venere, dietro LII.
Rovescio: Trofeo con scudo gallico, Carnyx, casco e ascia, sotto cae-sar.

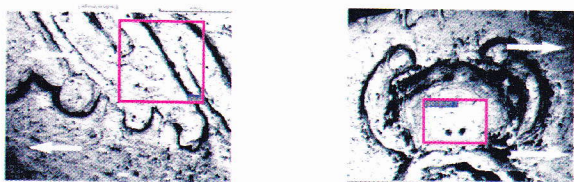


Fig. 3
Immagine SEM di un dettaglio al dritto e rovescio.
Le frecce indicano il lato della pendenza del rilievo.

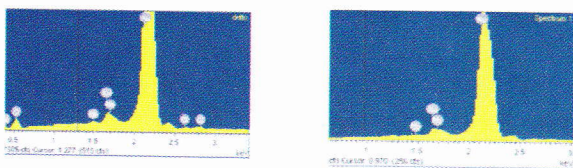


Fig. 4
Spettro EDS delle aree indicate nei riquadri rosa.

Tali monete hanno fornito indicazioni utili per la definizione di parametri strumentali di controllo per l'individuazione di particolari sulla procedura di coniazione. L'immagine SEM (fig. 3) e lo spettro EDS (fig. 4) sono state eseguite sia sul dritto che sul rovescio di questo *aureus*, la cui genuina appartenenza alla emissione fatta da Iulius Caesar (g 8,7) è stata verificata. Questo *aureus* è stato coniato nella Gallia di Cesare, dopo la battaglia di Alesia (52 a.C.), per celebrare la sua vittoria. L'elevata purezza dell'oro (superiore al 99,9 %) è una peculiarità di questa moneta.

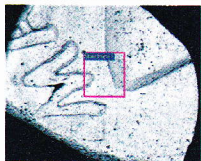
Riferendosi alla direzione perpendicolare sulla piastra della moneta, le frecce indicano le inclinazioni opposte dei rilievi dei due lati di questo *aureus*: sul dritto (verso sinistra) e sul retro (verso destra). La tendenza opposta di queste inclinazioni dimostra che il colpo di mazza non è stato inferto in modo perpendicolare rispetto al tondello dell'*aureus*. È, infatti, praticamente impossibile colpire a "mano" con una mazza nella direzione perpendicolare esatta sul piano di una moneta. Tale osservazione traccia l'indicazione per verificare se il secondo esempio, l'*aureus* di Sesto Pompeo, si tratti di un falso (fig.5). Le immagini SEM registrate in diverse zone della moneta, rivelatasi contraffatta, rendono evidente come la moneta sia stata otte-

nuta per mezzo della tecnica della presso-fusione. La perfetta perpendicolarità sul piano di questa moneta di tutti i rilievi delle immagini e lettere conferma che per coniare la moneta non è stato utilizzato un colpo di mazza. Altra conferma è la morfologia «spugnosa» del suo bordo che riconduce alla tecnica della pressofusione con emissione di gas durante la pressatura. Gli esempi esposti sono stati scelti per indicare come numismatica e analisi scientifiche siano ormai diventate un'unica scienza per affrontare temi sia di carattere storico-archeologico, che per problemi in ambiti lontani, quali quello forense e commerciale.

Per questo è necessario acquisire dati scientifici anche senza dover rispondere a quesiti specifici, ma per creare un insieme di informazioni che possano permettere in futuro di essere aggregate in studi di diversa natura.



Dritto e rovescio di un aureo di Sextus Pompeius



Dritto: immagine SEM del bordo del collo di Sextus Pompeius e la lettera M di MAG(NUS)

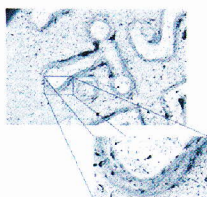
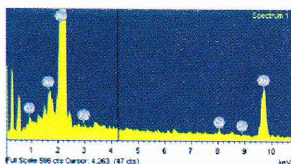
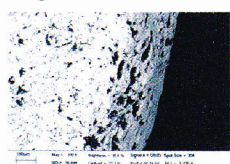


Immagine SEM della lettera T di ET OR(AE). Da notare l'esatta perpendicolarità dei bordi sul piano della moneta



Composizione della lega nel riquadro rosa. Stessa identica composizione è presente anche al rovescio



Bordo della moneta: è chiaramente riscontrabile l'evidenza del processo di presso-fusione

Fig. 5 - Analisi SEM-EDS su aureo Sextus Pompeius prodotto per presso-fusione

È il caso di una collezione di monete puniche che, anche se studiate e classificate dal punto di vista numismatico, possono venire riconsiderate con una diversa chiave di lettura che ne fa emergere aspetti inediti. In questa nuova descrizione le monete della collezione formano un importante punto di riferimento per l'inquadramento di altre monetazioni ormai attestate in letteratura, ma solo dal punto di vista numismatico.

Monete Puniche *testa maschile/cavallo al galoppo*

Non esiste una procedura standardizzata per studi in campo numismatico, infatti, per quanto esposto fino ad ora, ogni problematica inerente alla monetazione deve essere affrontata con una metodologia appropriata. Per questo per lo studio di una particolare collezione di monete puniche è stata preconstituita una specifica procedura atta alla misurazione e quantificazione delle fondamentali caratteristiche materiche della moneta. In dettaglio la procedura è stata applicata allo studio di circa sessanta monete puniche provenienti dalla collezioni numismatica privata M. Viola (ACQUARO *et al.* 1992), tutte appartenenti alla stessa serie *testa maschile/cavallo al galoppo o cavallo impennato* (fig. 6). È stato scelto di studiare questa serie, datata alla metà del IV secolo a.C. e classificata al n. 126 del *Corpus Nummorum Punicorum* (VIOLA, 2010), perché molto diffusa, tanto ampiamente distribuita da permettere di ipotizzare che l'emissione fosse eseguita da più zecche stanziati su un ampio territorio, sotto lo stretto controllo dell'autorità emittente, Cartagine.



Fig. 6 - Monete *testa maschile/cavallo al galoppo* della Collezione M. Viola

Il valore di scambio di questa serie è piuttosto basso ma sembrerebbe che questa fosse la prima emissione in ordine temporale ad essere prodotta direttamente sotto il controllo di Cartagine. Per questo motivo la cronologia della circolazione può essere definita nell'intervallo tra il IV e il III secolo a.C. Si suggerisce inoltre che un'altra zecca emittente fosse in Sicilia. In aggiunta a queste due zecche principali si ipotizza la presenza di altre sotto-zecche in zone commerciali strategiche che possano avere largamente contribuito alla loro emissione. Questo caso di studio nasce proprio da questa ipotesi, ossia si propone di trovare il metodo che permetta la distinzione del macro-gruppo *testa maschile/cavallo al galoppo*, in sottospecie di differente tipologia, probabilmente prodotte in differenti zecche, considerando fattori fisici come la composizione della lega, e metrici come la delineazione delle figure di dritto e rovescio, peso e diametro. Al fine di ottenere informazioni è di fondamentale importanza la conoscenza del contenuto energetico della struttura metallica, o in altre parole, la

te

storia termo-meccanica dell'oggetto. Tale conoscenza evidenzia il miglioramento delle caratteristiche morfologiche e funzionali dei diversi tipi di reperti. Ogni moneta è un oggetto di manifattura dove anche il sistema produttivo più standardizzato diventa un processo univoco per ogni moneta.

Materiali e Metodi

Il collezionista e numismatico Mauro Viola ha messo gentilmente a disposizione 60 monete della sua collezione per l'esecuzione di analisi non distruttive con tecnica SEM-EDS (modello LEO 1450 VP, che permette l'analisi delle monete senza necessità di dover prelevare campioni). I risultati riportati nell'articolo sono relativi a 53 monete provenienti dalla collezione. Le monete sono state inserite nella camera portacampioni del microscopio senza trattamento preliminare di pulitura. Nonostante quanto detto bisogna considerare che lo studio analitico è stato condotto su monete restaurate per micro-pulitura meccanica eseguita con l'ausilio di microscopio ottico. Questo lavoro di pulitura per l'eliminazione di terriccio e lo spesso strato di prodotti di ossidazione, a cui tutte le monete della collezione sono state sottoposte al fine di essere più facilmente leggibili, è stato inoltre utile e necessario anche per l'ottenimento di dati composizionali quanto più realistici sulla moneta. Queste monete sono state analizzate non solo dal punto di vista composizionale, tramite SEM-EDS ma anche dal punto di vista ponderale e dimensionale. Infatti anche se tutte le monete sotto esame sono facenti parte della stessa serie è stato notato che le caratteristiche prese in considerazione presentavano valori anche molto differenti. Uno studio precedente e interessantissimo è stato condotto da V. Candellieri (1989) al fine di distinguere di sottogruppi di detta serie, dall'autore identificata come *testa di Tanit/ cavallo corrente o impennato*. Dagli studi del Candellieri (1989) è emersa una distinzione della tipologia a bordo globulare e bordo tronco-conico. Analizzando e misurando le 53 monete della Collezione Viola è stato possibile eseguire uno studio dei legami di conio analogo che ha permesso di identificare una sottospecie nella serie *testa maschile/cavallo al galoppo*, considerando oltre al peso, anche i diametri e la composizione.

Dritto e rovescio

Come precedentemente detto le monete presentano a volte rese anche molto differenti delle immagini sulle facce (cavallo e testa maschile). Questa discrepanza può essere spiegata partendo dalle tecniche di produzione dei conii mobili e di incudine, prodotti per incisione a mano a partire da un prototipo di dimensioni maggiori a cui l'artigiano incisore si rifaceva. Ovviamente quest'operazione non può essere definita standardizzata, poiché ogni qual volta una zecca doveva produrre un nuovo conio, a causa della distruzione o consunzione del precedente, lo riproduceva inevitabilmente con delle differenze rispetto al precedente. In altre parole ogni zecca batteva monete che presentavano un aspetto fluttuante e il tipo monetale veniva riconosciuto dai commercianti, dagli acquirenti, dai cittadini in generale grazie alle immagini familiari impresse.

Ovviamente, se non è possibile dire che due monete con dritto e rovescio differenti appartengano a zecche differenti, è invece possibile ipotizzare che due monete uguali siano state battute dallo stesso conio di incudine e martello. È in ogni caso importante considerare che anche la forza impressa dal colpo del martello e la direzione con cui è stata eseguita modificano notevolmente la resa finale della moneta. Indubbiamente l'aspetto del dritto e del rovescio è la caratteristica più difficilmente confrontabile poiché è determinata da molteplici aspetti. Nell'intento di definire quindi gruppi di monete simili e dissimili sono state eseguite alcune operazioni quali:

- foto ad alta risoluzione,
- micro rilievi delle due facce eseguiti manualmente,
- misurazioni con il software ImageJ delle dimensioni di alcuni elementi di dritto e rovescio (fig. 7) quali la dimensione della base del collo, inclinazione del naso o l'angolazione collo/mento, mentre il cavallo è stato misurato dall'attacco della coda al petto, l'ampiezza della groppa e l'inclinazione delle zampe posteriori. Questo approccio non ha permesso attualmente una distinzione in gruppi.



Fig. 7 - Elaborazione delle immagini con il software Image J per la misurazione di alcuni elementi delle monete

Una singolarità si riporta per la moneta 594 (fig. 8) le cui facce, il modulo e peso nettamente inferiore fanno pensare che probabilmente fosse un nominale inferiore, la cui sfera di circolazione è ristretta al territorio metropolitano di Cartagine e raramente è testimoniata in altre aree (come indicato da Candellieri, 1989, riguardo agli esemplari da lui studiati).



Ø mm 10,8

Fig. 8 - Moneta n. 594

Data la grande differenza delle caratteristiche misurate, come già detto, il raggruppamento non è risultato di facile esecuzione. Si propone invece una distinzione classica operata da molti autori, tra cavallo al galoppo e cavallo impennato (fig. 9), in relazione all'inclinazione delle zampe anteriori e posteriori e del busto, sebbene questa distinzione sia definita dagli stessi più formale che reale. Infatti la differenza di inclinazione è a volte minima. In ogni caso, per completezza di trattazione, i due gruppi sono così composti (Acquaro *et al.*, 1992):

Cavallo al galoppo: 238, 318, 320, 339, 392, 410, 413, 414, 446, 554, 593, 631, 26, 240, 241, 319, 322, 323, 393, 396, 397, 398, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 407, 408, 409, 411, 549, 552, 553, 590, 591, 592, 594, 595, 596, 598, 608, 632, 633, 634, 641.

Cavallo impennato: 239, 394, 395, 399, 412, 597.

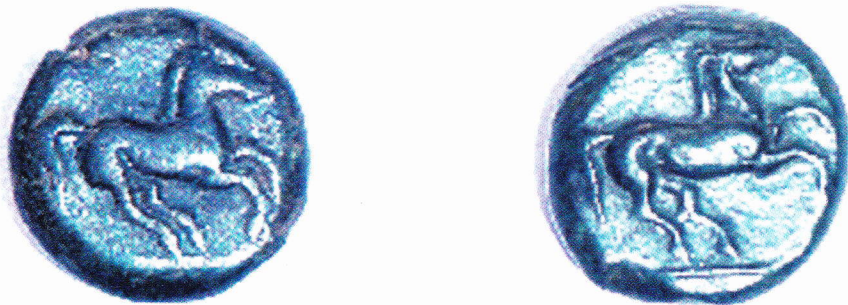


Fig. 9 - Rovescio con cavallo al galoppo ed impennato

Produzione del tondello e differenza tra moneta

Bordo arrotondato e bordo tronco-conico

Tra le varie possibili classificazioni di monete in numismatica è particolarmente significativa la distinzione tra tondello globulare o tronco-conico. Anche nel gruppo di monete in questione è possibile suddividere le 53 totali in due gruppi. Il tondello globulare veniva prodotto usando una matrice bivalve. Questa tecnica consiste nel produrre una serie di piccole nicchie tonde e poco profonde, unite da un canale, su due pietre piatte e speculari fermamente unite tra di loro, che avevano funzione di matrice in cui versare il metallo fuso. Questo produceva tondelli di forma tondeggiante che a seguito della coniazione assumevano un bordo spiccatamente arrotondato (BARELLO, 2006).

Le monete con bordo tronco-conico invece, in sezione, presentano un aspetto trapezoidale e testimoniano l'uso di forme trapezoidali e piatte per produrre il tondello (Barello, 2006).

Lo studio del bordo delle 53 monete ha permesso la divisione dei due gruppi:
bordo tronco-conico: 238, 318, 320, 339, 410, 413, 414, 446, 554, 593, 631.
bordo arrotondato: 26, 239, 240, 241, 319, 322, 323, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 407, 408, 409, 411, 412, 549, 552, 553, 590, 591, 592, 594, 595, 596, 597, 598, 608, 632, 633, 634, 641.

Incrociando i raggruppamenti eseguiti per il rovescio *cavallo al galoppo* o *cavallo impennato* con il raggruppamento per bordo è possibile solo notare che le monete tronco-coniche hanno al rovescio il cavallo al galoppo mentre le globulari sono caratterizzate da ambedue le tipologie di rovescio (è comunque da sottolineare che le monete globulari sono in maggioranza).

Peso

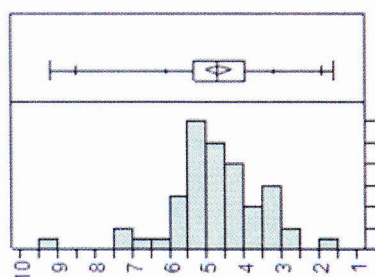
Ogni singola moneta è stata pesata con una bilancia che consente la misurazione fino al milligrammo; il peso è stato in seguito arrotondato per eccesso al centigrammo (M.Viola in Acquaro *et al.*, 1992). Il catalogo completo dei pesi, dei bordi e dei rovesci è riportata nella tabella che segue (tab. 1):

Tabella 1 - Pesi delle monete espressi in grammi

N. inv	Peso	Bordo	Rovescio
239	9,15	R	impennato
633	7,23	R	galoppo
592	7,06	R	galoppo
595	6,54	R	galoppo
407	6,15	R	galoppo
590	5,96	R	galoppo
412	5,92	R	impennato
322	5,92	R	galoppo
241	5,68	R	galoppo
608	5,56	R	galoppo
394	5,49	R	impennato
632	5,40	R	galoppo
397	5,34	R	galoppo
597	5,33	R	impennato
392	5,33	R	galoppo
641	5,32	R	galoppo
399	5,25	R	impennato
401	5,19	R	galoppo

N. inv	Peso	Bordo	Rovescio
549	5,10	R	Galoppo
552	5,09	R	Galoppo
634	5,08	R	Galoppo
26	5,04	R	Galoppo
323	4,89	R	Galoppo
411	4,84	R	Galoppo
409	4,77	R	Galoppo
396	4,75	R	Galoppo
404	4,70	R	Galoppo
403	4,66	R	Galoppo
553	4,61	R	Galoppo
395	4,61	R	impennato
400	4,60	R	Galoppo
405	4,55	R	Galoppo
596	4,49	R	Galoppo
410	4,47	T	Galoppo
240	4,38	R	Galoppo
402	4,30	R	Galoppo

N. inv	Peso	Bordo	Rovescio
413	4,21	T	galoppo
319	4,11	R	galoppo
408	4,06	R	galoppo
393	4,04	R	galoppo
238	3,91	T	galoppo
398	3,88	R	galoppo
591	3,60	R	galoppo
598	3,49	R	galoppo
593	3,46	T	galoppo
414	3,21	T	galoppo
446	3,18	T	galoppo
339	3,18	T	galoppo
554	3,00	T	galoppo
320	2,96	T	galoppo
318	2,52	T	galoppo
594	1,59	R	galoppo
631	3,84	T	galoppo

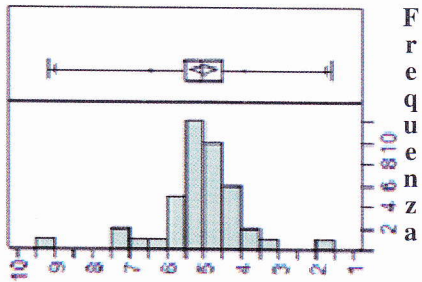


Classi di pesi (g)

Fig. 10 - Distribuzione delle frequenze di peso per la totalità delle monete studiate

F La distribuzione di frequenza dei valori di peso è stata poi elaborata di modo da descriverne i parametri statistici fondamentali:
r peso minimo: 1,59 g
e peso massimo: 9,15 g
q estensione della serie: 7,56 g
u valore medio 4,73 g
e mediana: 4,70 g
n deviazione standard: 1,26 g
z
a

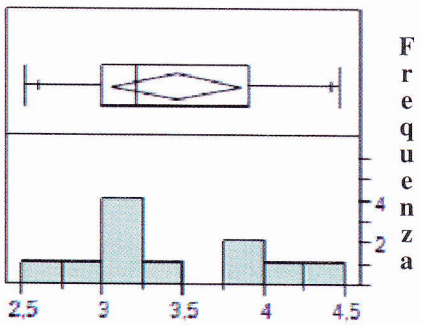
Il diagramma nella parte superiore della distribuzione di frequenza è il Box-Whiskers plot, una rappresentazione grafica utilizzata per descrivere la distribuzione di un campione tramite semplici indici di dispersione e di posizione. Il box-plot viene rappresentato tramite un rettangolo diviso in due parti, da cui escono due segmenti. Il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile, e diviso al suo interno dalla mediana. I segmenti (i "baffi") sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. Come è possibile arguire dal valore della deviazione standard la distribuzione ha valori che fluttuano su un ampio intervallo di pesi. Inoltre dall'osservazione del grafico a barre è possibile definire la distribuzione bimodale con due differenti picchi, una intorno a 5 g e una intorno a 3 g, la distribuzione viene divisa in due gruppi separando le monete più leggere da quelle più pesanti. Poiché i valori inferiori, intorno ai 3 g sono posseduti soprattutto dalle monete tronco-coniche tutti i valori di peso vengono separati in due gruppi per le monete a bordo arrotondato e per le monete tronco-coniche. Analogamente, pesi inferiori per le monete troncoconiche sono stati notati ed interpretati in emissioni distinte dal Candellieri (1989).



F peso minimo: 1,59 g
r peso massimo: 9,15 g
e estensione della serie: 7,56 g
q valore medio: 5,07 g
u mediana: 5,06 g
e deviazione standard: 1,17 g
n
z
a

Classi di pesi (g)

Fig. 11 - Distribuzione delle frequenze di peso per le monete a bordo globulare



F Distribuzione dei pesi per le monete a bordo
r tronco-conico:
e peso minimo: 2,52 g
q peso massimo: 4,47 g
u estensione della serie: 1,95 g
e valore medio: 3,44 g
n mediana: 3,21 g
z deviazione standard: 0,59 g
a

Classi di pesi (g)

Fig. 12 - Distribuzione delle frequenze di peso per le monete tronco-coniche

Come si può osservare dai valori delle due separazioni le monete tronco-coniche hanno un peso inferiore e una produzione più standardizzata.

Diametro

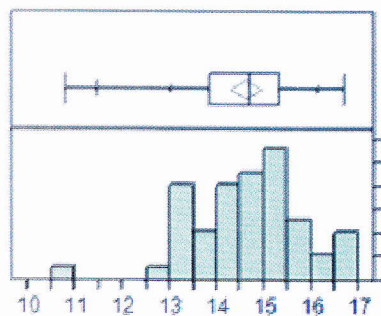
Il diametro è stato misurato con il software Image J tramite confronto con il regolo dimensionale di cui ogni foto è corredata. I valori di diametro sono riportati in tabella 2:

Tabella 2 - Diametri delle monete espressi in mm

N. inv	Diam.	Bordo	Rovescio
239	16,7	R	impennato
409	16,7	R	galoppo
318	16,7	T	galoppo
549	16,6	R	galoppo
322	16,2	R	galoppo
553	16,1	R	galoppo
392	15,9	R	galoppo
608	15,8	R	galoppo
401	15,7	R	galoppo
241	15,6	R	galoppo
595	15,5	R	galoppo
413	15,4	T	galoppo
631	15,4	T	galoppo
405	15,3	R	galoppo
320	15,3	T	galoppo
596	15,3	R	galoppo
394	15,2	R	impennato
641	15,2	R	galoppo

N. inv	Diam.	Bordo	Rovescio
238	15,2	T	galoppo
634	15,0	R	galoppo
414	15,0	T	galoppo
554	15,0	T	galoppo
590	14,8	R	galoppo
597	14,8	R	impennato
633	14,8	R	galoppo
396	14,7	R	galoppo
592	14,7	R	galoppo
410	14,7	T	galoppo
598	14,6	R	galoppo
339	14,6	T	galoppo
403	14,5	R	galoppo
240	14,4	R	galoppo
323	14,3	R	galoppo
552	14,2	R	galoppo
26	14,1	R	galoppo
412	14,1	R	impennato

N. inv	Diam.	Bordo	Rovescio
397	14,0	R	galoppo
393	14,0	R	galoppo
446	14,0	T	galoppo
593	13,9	T	galoppo
400	13,8	R	galoppo
407	13,7	R	galoppo
632	13,5	R	galoppo
411	13,4	R	galoppo
591	13,4	R	galoppo
395	13,3	R	impennato
404	13,3	R	galoppo
408	13,1	R	galoppo
399	13,0	R	impennato
319	13,0	R	galoppo
398	13,0	R	galoppo
402	12,7	R	galoppo
594	10,8	R	galoppo



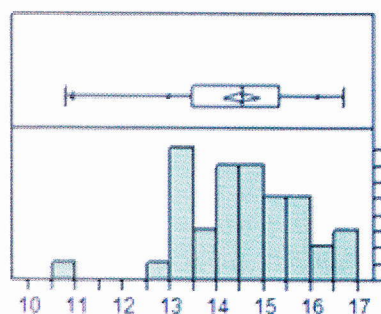
F Anche in questo caso è stata calcolata la di-
r distribuzione di frequenza per i valori di diametro:
e
q
u diametro minimo: 10,8 mm
e diametro massimo: 16,7 mm
n estensione della serie: 5,9 mm
z valore medio: 14,60 mm
a mediana: 14,7 mm
 deviazione standard: 1,17 mm

Classi di diametri (mm)

Fig. 13 - Distribuzione delle frequenze di diametro per la totalità delle monete in esame

Anche in questo caso i valori di diametro sono piuttosto variabili. È stato dunque deciso di dividere la distribuzione per le monete a bordo arrotondato e bordo tronco-conico per vedere come la distribuzione dei diametri si modifica.

Di sotto si riporta la distribuzione per le monete globulari e i fattori statistici (fig. 14):

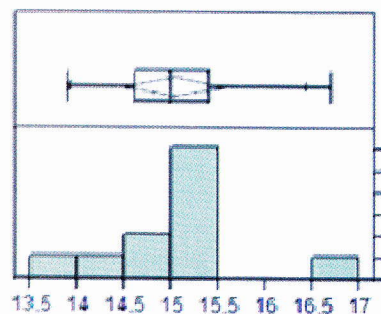


F diametro minimo: 10,8 mm
r diametro massimo: 16,7 mm
e estensione della serie: 5,9 mm
q valore medio: 14,5 mm
u mediana: 14,5 mm
e deviazione standard: 1,24 mm
n
z
a

Classi di diametri (mm)

Fig. 14 - Distribuzione delle frequenze di diametro per le monete globulari

una deviazione standard più bassa e più della metà della popolazione concentrata tra l'intervallo 15-15,5 mm (fig. 15):



F diametro minimo: 13,9 mm
r diametro massimo: 16,7 mm
e estensione della serie: 2,8 mm
q valore medio: 15,02 mm
u mediana: 15,00 mm
e deviazione standard: 0,76 mm
n
z
a

Classi di diametri (mm)

Fig. 15 - Distribuzione delle frequenze di diametro per le monete tronco-coniche

In conclusione dallo studio dei valori di peso e diametro è possibile identificare due sotto-specie monetali, raggruppamento che coincide maggiormente rispetto alla distinzione delle tipologie di rovescio. Incrociando invece i valori di peso e diametro con le tipologie di bordo è possibile ipotizzare che le monete tronco-coniche e le globulari fossero due produzioni distinte.

La discussione procede ora con la composizione delle monete, in modo da poter vedere se questa suddivisione viene ulteriormente riscontrata nel tipo di lega.

Composizione

A questo punto del lavoro tutte le monete sono state analizzate con SEM-EDS, eseguendo l'analisi a bassi ingrandimenti di modo da ottenere un dato composizionale medio delle monete.

Dal momento che non è stato possibile pulire la superficie della moneta si deve considerare un aumento dei valori di stagno e piombo, che si ossidano preferenzialmente formando parte della patina. È comunque importante ricordare che le monete sono state tutte restaurate quindi questo aumento è minimizzato dall'asportazione della patina in fase di pulitura meccanica. In ogni caso i dati riportati in tabella sono considerati per una distinzione qualitativa delle monete in macrogruppi composizionali. I valori espressi per gli elementi maggioritari sono i seguenti (tab. 3):

Tabella 3 - Tabella delle composizione espresse in % in peso

N. inv	Cu	Sn	Pb
26	90,5	9,5	0,0
238	32,5	63,5	4,1
239	61,3	38,5	0,1
240	58,5	10,9	30,6
241	96,3	3,7	0,0
318	80,9	19,0	0,0
319	48,5	43,8	7,7
320	52,5	47,4	0,0
322	48,8	10,2	40,9
323	43,9	18,4	37,7
339	74,0	25,9	0,0
392	80,8	19,2	0,0
393	41,7	48,7	9,7
394	46,7	16,7	36,6
395	48,2	51,8	0,0
396	100,0	0,0	0,0
397	45,1	47,9	6,9
398	77,1	22,9	0,0

N. inv	Cu	Sn	Pb
399	73,5	26,5	0,0
400	68,9	31,1	0,0
401	87,4	12,6	0,0
402	13,9	15,6	70,5
403	78,6	21,4	0,0
404	80,9	7,8	12,6
405	24,5	17,5	58,0
407	86,1	13,9	0,0
408	44,1	47,9	8,1
409	76,9	23,0	0,0
410	59,9	40,4	0,0
411	60,9	39,1	0,0
412	34,4	58,2	7,4
413	82,5	17,5	0,0
414	53,9	43,7	2,3
446	53,8	46,2	0,0
549	60,7	25,2	14,0
552	78,0	21,9	0,0

N. inv	Cu	Sn	Pb
553	59,7	30,9	9,4
554	63,9	20,3	15,8
590	78,2	21,8	0,0
591	94,1	5,9	0,0
592	86,0	13,9	0,0
593	81,4	18,6	0,0
594	64,4	35,6	0,0
595	86,5	10,5	1,0
596	82,3	4,8	12,9
597	59,4	40,6	0,0
598	80,4	19,6	0,0
608	87,3	12,7	0,0
631	82,5	17,5	0,0
632	86,9	13,1	0,0
633	83,1	16,9	0,0
634	90,8	6,6	2,6
641	76,3	21,5	2,2

Si è deciso di considerare bronzi ternari le leghe in cui il piombo è presente con valori maggiori di 6-8 %. Dai dati in tabella si possono distinguere due gruppi fondamentali di lega binaria e ternaria. Anche in questo caso si è deciso di considerare come le tronco-coniche e le globulari si comportano in relazione alla composizione della lega. Tutti i dati sottolineati in giallo provengono dall'analisi di monete tronco-coniche e come si può facilmente osservare queste sembrano essere per più del 90% composte da bronzo binario Cu-Sn. Le monete con bordo globulare invece sembrano avere una composizione più varia sia di monete in lega ternaria che in lega binaria (diagramma ternario in fig. 16), suggerendo anche in questo

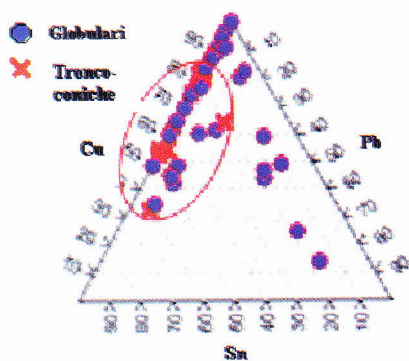


Fig. 16 - Triplot delle monete (Cu-Sn-Pb)

Il risultato è analogo al triplot. L'operazione matematica alla base di questa procedura è una trasformazione ortogonale che converte un set di osservazioni di variabili,

caso che la produzione *en chapelet* fosse meno standardizzata anche dal punto di vista composizionale.

I dati composizionali sono stati anche plottati con il metodo statistico di analisi multivariata PCA (fig. 17) al fine di verificare ulteriormente l'andamento composizionale delle monete a bordo globulare e tronco-conico.

L'applicazione del metodo statistico PCA è di grande utilità per visualizzare facilmente la suddivisione in macro-gruppi di monete. Essendo il sistema costituito da tre componenti il risultato è analogo al triplot. L'operazione matematica alla base di questa procedura è una trasformazione ortogonale che converte un set di osservazioni di variabili,

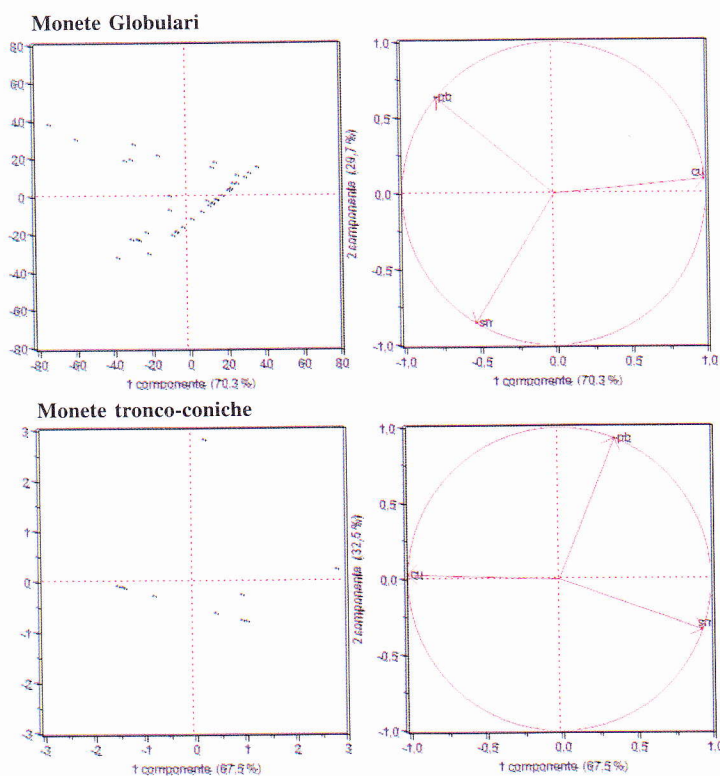


Fig. 17 - PCA per le monete globulari e tronco-coniche

probabilmente correlate, in un set di valori di variabili linearmente non correlate chiamate componenti principali. In questo modo è possibile avere un raggruppamento lineare e bidimensionale di un sistema multivariato. I plot in figura hanno il pregio di essere facilmente leggibili, grazie anche alla localizzazione delle variabili originarie (Cu, Sn, Pb) nel grafico a fianco ad ogni plot (grafico dei loadings). La nuvola

di punti avrà una trend che si posiziona verso l'elemento che la caratterizza maggiormente e che ne spiega maggiormente la varianza. Quindi anche in questo caso è possibile vedere come per le monete globulari i valori composizionali siano distribuiti sia verso lo stagno che verso il piombo, mentre per le troncoconiche ci sia un andamento maggiormente distribuito verso lo stagno e solo un puntino, relativo alla moneta numero 554, è posizionato nell'area del diagramma degli score che è descritta da elevati valori di piombo.

Le monete con bordo arrotondato sono dunque caratterizzate da un ampio range composizionale e di peso-diametro: il peso medio è di circa 5,07 g con una deviazione standard di 1,17 g e il diametro medio di 14,5 mm con deviazione standard di 1,24 mm, mentre la composizione è indistintamente in bronzo binario e ternario. Queste sono le caratteristiche di una produzione poco standardizzata. Al contrario le monete con bordo tronco-conico hanno un campo composizionale più stretto così come i valori di peso e diametro. La composizione inoltre è contraddistinta da una netta maggioranza di lega binaria, il peso medio si attesta su un valore inferiore pari a di 3,44 g con una deviazione standard di 0,59 g, mentre il diametro medio è 15,02 mm con deviazione standard pari a 0,76 mm. In questo caso si suppone che la produzione fosse contraddistinta da parametri di controllo superiori. Dal momento che la standardizzazione caratterizza anche la composizione delle monete si può suggerire che le monete tronco-coniche costituiscano una sottospecie del gruppo generico *testa maschile/cavallo al galoppo* la cui tecnica produttiva fosse più controllata e, in via di ipotesi, relativamente più recente e/o basata su un miglioramento delle tecniche produttive. Poiché le monete tronco-coniche sono più leggere rispetto alle globulari, tale diminuzione (fisicamente spiegabile per un'assenza del piombo in lega) può altresì essere connessa ad un cambio nel sistema ponderale o ad una svalutazione del tipo monetale. È infatti da tenere in conto che le monete di circa 5 g e le monete di circa 3 g seguivano differenti sistemi ponderali. Questo cambio di sistema ipotizzato può essere ad esempio indizio di un cambio di influenza dell'autorità emittente. Si può dire con buona probabilità che questo tipo monetale abbia subito un'evoluzione nella lunga durata della sua emissione e si può ipotizzare che alla sua emissione abbiano contribuito più emittenti nel territorio di circolazione. D'altro canto, poiché l'assenza di piombo in lega causa una diminuzione in peso a parità di diametro, si può ipotizzare che questo cambiamento sia dovuto alla sua precisa caratteristica composizionale, dettata da un miglioramento produttivo. Infatti la presenza di piombo avrebbe causato un aumento di fragilità in fase di battitura, rendendo necessario un riscaldamento sensibile del tondello prima della coniazione. Da questo ultimo punto di vista le tronco-coniche sono state prodotte attraverso una migliore tecnica produttiva, che può essere considerate una evoluzione, che si potrebbe posizionare in un periodo cronologico più recente o in una differente area produttiva.

In conclusione generale, studiando tutte le caratteristiche misurabili di un alto numero di monete, è possibile distinguere sottospecie monetali, che sono quelle che danno le informazioni più interessanti che possono essere usate ed interpretate alla luce dell'archeologia, storia e numismatica.

Conclusione

Questi tre casi di studio vengono quindi riportati per illustrare come e quanto l'interpretazione incrociata dei risultati ottenuti dagli studi numismatici e della ricerca analitica abbia permesso l'ottenimento di risultati che aprono nuovi spunti di discussione. L'intento è dunque quello di proseguire nell'esecuzione di ricerche multidisciplinari al fine di supportare la numismatica e produrre risultati utili anche nel campo degli studi archeologici e storici.

Bibliografia

- E. ACQUARO, L.I. MANFREDI, S. AMATA e M.R. VIOLA, *Monete puniche nelle collezioni italiane*, Bollettino di Numismatica, parte II, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 1992.
- F. BARELLO, *Archeologia della moneta, produzione e utilizzo nell'antichità*, Carocci, 2006.
- C. BOTRÉ, E. FABRIZI; *Rivista Italiana di Numismatica*, 96, (1994/95) 37-4.
- V. CANDELLIERI, *Monetazione Punica: Il tipo testa di divinità/ cavallino corrente od impennato*, Quaderni di Numismatica 1, Ivrea (Torino) 1989.
- A. FINETTI, *Numismatica e tecnologia, Produzione e valutazione della moneta nella società del passato*, Collana La Nuova Italia Scientifica, Ed. Carocci, 1987.
- L.I. MANFREDI, *Monete puniche. Repertorio epigrafico e numismatico delle leggende puniche*, collana Bollettino di numismatica, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 1997.
- L.I. MANFREDI, *Riconiazione ed errori di conio nel mondo punico*, in Supplemento della rivista di studi Fenici XVIII, 1990.
- M.R. VIOLA, *Corpus Nummorum Punicorum*, Roma 2010.
- F. SPATAFORA-S. VASSALLO, "La 'Phiale aurea' di Caltavuturo", Palermo 2005, pp. 13 ff. 11.