



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FERRARA**  
**FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI**  
**Dipartimento di Scienze della Terra**

**Corso di Laurea Magistrale in Scienze Geologiche, Georisorse e  
Territorio**

**ANALISI GEOCHIMICHE E METALLURGICHE DI MONETE ROMANE  
RINVENUTE NEL SETTORE NORD OCCIDENTALE DELLA  
PROVINCIA DI FERRARA**

Relatori:

**Prof.ssa Carmela Vaccaro**

**Prof. Gian Luca Garagnani**

Correlatori:

**Dott.ssa Chiara Soffritti**

**Dott.ssa Lisa Volpe**

Laureanda:

**Elettra Fabbri**

*“In ogni cosa, l'uniformità è sconsigliabile.*

*L'incompletezza in un oggetto lo rende interessante, e dà l'impressione che ci sia la possibilità di perfezionarlo.”*

Kenko, *Momenti d'ozio*

*A Irene*

## Indice

INTRODUZIONE.....	8
STORIA DELLA MONETA ROMANA .....	10
1.1 La monetazione repubblicana .....	10
1.2 La monetazione imperiale .....	11
1.3 Le tematiche monetarie.....	14
1.4 L'estrazione dei metalli e la coniatura delle monete.....	16
INDAGINE PRELIMINARE .....	20
2.1 Luogo di ritrovamento .....	20
2.2 Indagine fotografica .....	21
2.3 Osservazione allo stereomicroscopio.....	23
STUDIO ICONOGRAFICO DELLE MONETE .....	26
3.1 Moneta 1 .....	26
3.2 Moneta 2 .....	28
3.3 Moneta 3 .....	29
3.4 Moneta 4 .....	30
3.5 Moneta 5 .....	31
3.6 Moneta 6 .....	33
3.7 Moneta 7 .....	34
3.8 Moneta 8 .....	36
3.9 Moneta 9 .....	37
3.10 Moneta 10 .....	38
METODOLOGIE SPERIMENTALI UTILIZZATE.....	40
4.1 Tecnica della fluorescenza a raggi X (XRF).....	40
4.2 Osservazione al SEM – Microanalisi EDS .....	43
4.3 Indagine strutturale mediante microscopia ottica .....	44
RISULTATI SPERIMENTALI .....	46
5.1 Analisi eseguite .....	46
5.2 Moneta 1 .....	47
5.3 Moneta 2 .....	54
5.4 Moneta 3 .....	57
5.5 Moneta 4 .....	60
5.6 Moneta 5 .....	61
5.7 Moneta 6 .....	64
5.8 Moneta 7 .....	69
5.9 Moneta 8 .....	71
5.10 Moneta 9 .....	75
5.11 Moneta 10 .....	79
CONCLUSIONI.....	83
RINGRAZIAMENTI.....	87

Bibliografia .....	89
--------------------	----

## INTRODUZIONE

Scopo di questo lavoro è lo studio di dieci monete di epoca romana rinvenute nei pressi di Bondeno (FE), nella zona compresa tra Pilastri, Gavello e Burana, situata nel settore nord-occidentale della provincia di Ferrara.

I reperti sono stati sopposti ad un'indagine approfondita attraverso l'utilizzo di tecniche non distruttive, nel tentativo di ottenere più informazioni possibili sia dal punto di vista storico e iconografico, sia di quello petrografico e metallurgico.

La determinazione della composizione originale e la finezza della lega sono importanti poiché la proporzione degli elementi principali fornisce informazioni preziose riguardo le tecniche di produzione impiegate e sui cambiamenti economici in cui ogni popolo incorre seguendo il progresso.

Tutto questo permette inoltre di aprire una finestra sulle conoscenze in merito alla storia dell'evoluzione delle monete, ma ci dà anche la possibilità di capire i metodi di scambio e di commercio di epoche molto lontane dai giorni nostri.

Le analisi effettuate sui campioni sono state varie: le monete sono state osservate prima di tutto attraverso lo stereomicroscopio a luce riflessa per ottenere una migliore risoluzione degli elementi iconografici presenti sul recto e sul verso di ciascuna moneta e per valutare lo stato di conservazione e i prodotti di corrosione superficiali; successivamente è stata effettuata un'analisi in XRF (*X-ray fluorescence*), tecnica che permette di conoscere la composizione elementare del campione attraverso lo studio della radiazione di fluorescenza X.

È stata poi compiuta un'indagine attraverso SEM (*Scanning Electron Microscope*), che permette di caratterizzare le microstrutture, come le microcavità e le inclusioni, e consente di realizzare sull'immagine una mappatura selettiva degli elementi chimici presenti, indagando così la natura, la geometria e la composizione delle anomalie strutturali.

Le analisi appena descritte sono inoltre state un utile strumento per cercare di comprendere i prodotti di corrosione presenti su tutte le monete; tali prodotti derivano, infatti, dall'interazione dei nominali con l'ambiente circostante che comporta dei processi di tipo chimico ed elettrochimico, determinando un'alterazione della superficie dei campioni.

In ultimo, è stato eseguito un esame ottico metallografico che ha permesso di studiare la microstruttura dei manufatti attraverso l'utilizzo della microscopia metallurgica a luce riflessa.

Il lavoro è stato diviso in tre parti: nella prima sono stati studiati gli aspetti iconografici delle monete al fine di ottenere informazioni in merito alla possibile attribuzione delle stesse; inoltre è stato riportato un breve excursus sulla storia della monetazione romana, utile a comprendere i cambiamenti avvenuti nel corso dei secoli delle leghe utilizzate per la coniatura.

La seconda parte si occupa dell'indagine preliminare macroscopica che ha permesso di ottenere informazioni utili allo studio iconografico e di scegliere le zone adatte alle analisi che sono state effettuate successivamente.

Nella terza porzione di questo lavoro, sono trattate le indagini non distruttive che sono state eseguite direttamente sulle monete da cui sono successivamente conseguite delle conclusioni in merito ai risultati ottenuti.

## CAPITOLO 1

### STORIA DELLA MONETA ROMANA

Un capitolo introduttivo riguardante la storia della moneta romana è indispensabile per poter comprendere quelle informazioni preliminari che consentano di venire a conoscenza delle modifiche avvenute nel corso dei secoli riguardo la monetazione romana.

Come si leggerà in seguito, durante il grande dominio dei Romani, la monetazione cambierà spesso, sia dal punto di vista dei nominali coniati, sia per le caratteristiche metallurgiche.

Nel corso dei secoli le composizioni delle leghe, i pesi e le misure delle monete sono state modificate a seguito delle nuove emissioni da parte di ciascun imperatore, sia per motivi economici e che per motivi politici.

Il lento declino dell'impero di Roma si vedrà riflesso nelle emissioni monetali, che procedendo nei secoli saranno caratterizzate da leghe sempre meno preziose e da incisioni sempre meno raffinate, fino alla fine vera e propria di Roma e al conseguente avvento dei regni romano-barbarici.

#### 1.1 La monetazione repubblicana

La moneta com'è intesa da noi moderni, cioè prodotta e garantita da un'entità politica internazionalmente riconosciuta, e un mezzo per assicurare in modo rapido l'acquisizione di beni e la fruizione di servizi all'interno del proprio territorio, fu adottata a Roma piuttosto tardi in confronto alle altre popolazioni del bacino del Mar Mediterraneo.

Fu solo nella seconda metà del IV secolo a.C., infatti, che la moneta vera e propria andò a sostituire nelle transazioni commerciali lo scomodo *aes signatum*, “bronzo contrassegnato”, consistente in lingotti rettangoloidi di metallo marcato. Tali lingotti non erano molto maneggevoli da essere considerati di uso comune o giornaliero; anzi, s'intende pensare che la loro funzione principale fosse quella di tesaurizzazione.

La prima moneta romana emessa (circa 335 a.C.) era di bronzo (lega composta da rame e stagno), chiamata *aes grave*, “bronzo pesante”, o “asse librale”.

Questo nominale aveva poi dei sottomultipli chiamati: *semiasse*, *triente* e *quadrante*.

Questa monetazione in bronzo fu, però, accettata con difficoltà in quei territori della Magna Grecia

su cui Roma iniziava a imporre la propria autorità, perché questi popoli erano abituati a strutturare le loro operazioni commerciali sulle monete greche, coniate in argento.

Roma, quindi, dovette differenziare la sua monetazione, destinando *l'aes grave* all'uso interno e le monete d'argento alla circolazione nelle regioni meridionali. A queste si dà il nome di monete "romano-campane", in quanto prodotte da Roma, ma coniate su modelli greci (*dracme* e *didracme*). Dopo qualche decennio, probabilmente fra il 269 e il 268 a.C., Roma aveva ormai accresciuto la sua fama e la sua esperienza in campo monetario che poté affrontare una riforma del sistema di coniazione.

La coniazione in argento strutturata sui modelli romano-campani fu soppressa, e fu dato inizio a una produzione genuinamente romana basata sul nuovo nominale del *denario* (peso di 4,55 gr), con i suoi sottomultipli: il *quinario* e il *sesterzio*, che sarebbe divenuto nei secoli successivi uno dei simboli della potenza romana.

Allo stesso periodo si fa risalire la seconda delle due emissioni repubblicane di aurei (la prima era stata coniata nel 295 a.C., anno della vittoria sui Sanniti). Entrambe però sono da considerare come produzioni straordinarie e di durata molto limitata, dato che fino alla riforma monetaria di Augusto l'oro non entrerà mai nella regolare coniazione di Roma.

## 1.2 La monetazione imperiale

Cesare Ottaviano Augusto, con la sua riforma monetaria iniziata nel 23 a.C. e proseguita per vari anni prima del suo perfezionamento, segna il passaggio dalla monetazione repubblicana a quella imperiale poiché riordinò in profondità sia il sistema monetario che la tipologia dei nominali coniati.

A differenza di quanto era accaduto durante il periodo repubblicano, la produzione monetaria aurea divenne regolare ed entrò a far parte stabilmente del sistema monetario romano, ormai bimetallico; questo era, infatti, basato essenzialmente sull'argento e sull'oro, mentre la monetazione bronzea era utilizzata con un carattere puramente divisionale e di contabilità.

Augusto assegnò la giurisdizione sulla coniazione dell'oro e dell'argento alla figura del *princeps* in virtù della potestà proconsolare da esso detenuta, mentre lasciò al Senato, almeno ufficialmente, quella sul bronzo (le monete bronzee, infatti, recano impressa la leggenda SC, abbreviazione di *Senatus Consulto*).

Inoltre, decise di modificare la lega di coniazione del *sesterzio*, che divenne un nominale di oricalco (lega formata da 4/5 di rame e di 1/5 di zinco, in pratica ottone).

In realtà nella storia della produzione monetaria imperiale si sono sempre verificate, per vari motivi, oscillazioni di peso molto sensibili fra nominali dello stesso tipo e coniate dal medesimo imperatore; l'identico valore nominale e il conseguente potere d'acquisto erano comunque garantiti dallo Stato.

Non è detto, inoltre, che a diversità di peso corrispondesse effettivamente un diverso valore intrinseco: infatti, un *sesterzio* meno pesante di un altro poteva essere stato coniato in una lega migliore, e quindi compensare così la scarsità ponderale. In ogni caso, finché lo Stato romano fu saldo politicamente ed economicamente, tanto da garantire l'identico valore nominale e il potere d'acquisto dello stesso tipo di moneta in ogni parte dell'impero, il problema di quanto pesasse o di quale lega fosse costituita una moneta non ebbe grande importanza.

Quando l'impero cominciò ad attraversare un periodo di crisi profonda (III secolo d.C.) e, quindi, a non dare più la certezza di essere un solido garante per la propria produzione monetaria, i fruitori cominciarono a mostrare più interesse per il valore intrinseco della moneta (innescando un'impennata dei prezzi) e a prediligere per le proprie transazioni commerciali le monete più affidabili, in oro e in argento.

Con Nerone (54-68 d.C.) si registra la prima risistemazione dell'assetto monetario augusteo che consistette in una diminuzione considerevole di peso delle monete e una modifica della composizione metallica, con l'abbassamento della percentuale di argento contenuto nel *denario*.

Da Nerone in poi la situazione rimase sostanzialmente inalterata, anche se il *sesterzio*, soprattutto a partire da Antonino Pio (138-161 d.C.), andò progressivamente riducendosi nel suo peso e il *denario* vide paurosamente ridotta la sua percentuale d'argento, arrivando a una proporzione rispetto al rame del 50%.

La diminuzione d'argento nel *denario* spinse la gente a tesaurizzare le monete di più vecchio conio e, quindi, a rendere insufficiente la quantità di liquido in circolazione, con pesanti conseguenze per i commerci e per i pagamenti.

Per questo motivo Caracalla (211-217 d.C.) creò una nuova moneta d'argento, l'*antoniniano*, la cui produzione andò ad affiancare quella del vecchio e svilito *denario* e che fu più che altro una mossa psicologica.

Con l'introduzione dell'*antoniniano*, infatti, lo stato diede da una parte l'illusione al piccolo risparmiatore di curare i suoi interessi, mentre dall'altra con il raddoppio del valore nominale aumentava di molto il suo attivo.

Purtroppo, la crisi politica, sociale ed economica dell'impero, che si aprì proprio con i Severi (periodo che va dal 211 d.C. al 235 d.C.) e che divenne via via più profonda nel corso del III secolo,

contribuì a minare il precario equilibrio monetario che Caracalla aveva tentato di raggiungere: la scarsità sempre maggiore dei rifornimenti di argento, le continue incursioni dei barbari che rendevano impossibile l'iniziativa e lo sviluppo delle imprese, le ingenti spese per il mantenimento dell'esercito e l'altrettanto enorme bisogno di liquido per retribuirlo e l'instabilità politica troppo spesso sfociante in anarchia, portarono ad un continuo impoverimento di metallo prezioso all'interno della lega dell'*antoniniano*, che sotto Gallieno (253-268 d.C.) si ridusse a una monetina di rame di circa 3 gr bagnata nell'argento.

Tutto ciò comportò l'inevitabile impennata dei prezzi (800% di aumento) e una svalutazione enorme dell'*antoniniano*, che finì per essere considerato moneta spicciola; di conseguenza divenne inutile tenere in vita la monetazione in bronzo, che infatti divenne sempre più rara.

A questo disastroso stato di cose tentò di porre rimedio Aureliano (270-275 d.C.), che con la sua riforma monetaria tolse al Senato la competenza sulla monetazione bronzea, passo che poté compiersi senza problemi sia per il sempre minor potere che l'assemblea aveva sulla vita pubblica, sia per la cessazione della produzione bronzea.

Fra Aureliano e Diocleziano (284-305 d.C.), infatti, cioè fra la vecchia e la nuova produzione in bronzo, vi fu un interregno caratterizzato da sporadiche emissioni sostitutive coniate in lega di piombo, stagno e rame, sulla cui strutturazione gli studi sono ancora molto confusi.

In questo periodo ritorna l'interesse nei confronti dell'aureo che segna il passaggio dell'impero romano al regime monometallico della moneta d'oro, rimasta, grazie al suo contenuto di fino sempre puro, la sola affidabile nei rapporti commerciali e nelle valutazioni patrimoniali. Aureliano diede definitivamente l'addio all'*antoniniano* e al suo posto introdusse una nuova moneta d'argento, convenzionalmente chiamata *argenteo*, costituita da un buon contenuto di metallo prezioso.

Altrettanto importante fu, inoltre, il ripristino della monetazione in bronzo per risollevare le classi meno abbienti, strutturata su un nominale-base di importante modulo e peso (10 gr), rivestito d'argento e chiamato *follis*. Questa nuova monetazione, però, è caratterizzata fin dall'inizio da un'assenza di regole costituite e d'informazioni che di solito non ne facilitano lo studio. Pertanto, i tentativi di sistemazione della produzione bronzea diocleziana sono il frutto di moderne ipotesi.

Dal 312 d.C. Costantino (306-337 d.C.) diede inizio a un complessivo riordinamento della monetazione imperiale e pose il nominale aureo al centro della vita economica. Proprio per questo tale riforma rimarrà valida anche dopo la caduta dell'Impero Romano d'Occidente (476 d.C.), come punto di riferimento dei regni romano-barbarici nell'ovest, dell'impero bizantino nell'est e degli Arabi nel sud-est. Anche l'apparato della produzione argentea fu ritoccato: l'*argenteo* cedette il

passo al nuovo nominale, la *siliqua*, cui presto venne affiancata anche la cosiddetta *miliarense*, che ne costituì una sorta di versione più pesante.

La monetazione in bronzo, così difesa da Diocleziano, rimase in sostanza basata sull'apparato diocleziano, ma il peso dei nominale, già scemato in pochi anni, nel 337 d.C. finì per abbassarsi a non più di 3 gr circa.

La riforma costantiniana, se da un lato fu probabilmente necessaria, dall'altro finì per mettere in crisi completamente gli strati più poveri nella popolazione a causa dello svilimento completo della monetazione in bronzo.

A questo stato di cose cercarono di porre rimedio i figli di Costantino, Costante I (337-350 d.C.) e Costanzo II (337-361 d.C.), con la creazione di due nuovi nominali bronzei: la *maiorina* e la cosiddetta *doppia maiorina*.

Al fianco di queste continuò la produzione di piccole monete di bronzo; durante il secolo che intercorse fra la morte di Costanzo II e la fine dell'Impero Romano d'Occidente la monetazione bronzea ufficiale fu in preda a paurose oscillazioni di peso e a un'interferenza da parte delle cosiddette "imitazioni barbariche", tanto che le denominazioni non erano più sicure.

Ancora prima che maiorina e doppia maiorina cessassero di essere coniate con il regno di Onorio (395-423 d.C.), Teodosio (379-395 d.C.) aveva già dato inizio ad un'abbondante produzione di una piccola monetina di un grammo e mezzo, che persistette per tutto il V secolo e che vide la fine dell'Impero d'Occidente e l'avvento dei regni romano-barbarici.

### 1.3 Le tematiche monetarie

Le emissioni monetali romane si caratterizzarono per l'enorme numero di soggetti e di tematiche che si registrano sin dalla prima produzione di *denari* (le emissioni bronziee presentano, invece, una scarsa varietà).

Le motivazioni sono di carattere squisitamente politico: se si considerano le varie città-stato greche, indipendenti l'una dall'altra, che avevano ognuna una zecca, si comprenderà subito la necessità, per non generare confusione e ripercussioni economico-commerciali, di rimanere fedeli a poche tematiche fisse e ripetute nel tempo.

Roma, invece, era uno stato unitario e imperialista ed imponeva alle popolazioni assoggettate la propria produzione monetaria. Inoltre, a causa delle lotte politiche interne fra le varie *gentes* patrizie e plebee, la moneta diventò un veicolo di propaganda e di esaltazione.

Questo cominciò in verità ad avvenire piuttosto tardi (fine II-inizio I secolo a.C.), quando cadde il

divieto assoluto di effigiare sulle monete personaggi viventi.

Le prime emissioni, infatti, presentavano fra recto e verso immagini piuttosto ripetitive di divinità, come la testa laureata di Giove, i Dioscuri al galoppo (sono Castore e Polluce, personaggi della mitologia greca e romana), la testa elmata della dea Roma, o di simboli, come la Vittoria.

Con l'autorizzazione data (probabilmente fra il 289 e il 269 a.C.) ai magistrati addetti alla coniazione monetaria, i *Tresviri Monetales*, di poter riprodurre le effigi degli antenati meritori verso lo Stato o, anche le rappresentazioni degli eventi per i quali si erano resi illustri, ecco che le monete della tarda repubblica ci permettono di cogliere molti momenti della storia.

Con l'avvento di Giulio Cesare (49-44 a.C.) si assiste a un periodo vorticoso che vide intensificarsi ed esasperarsi i conflitti politici e quelli armati. Di conseguenza il carattere propagandistico delle tematiche monetarie si accentuò, a tal punto che finì per avere per soggetto non più la *gens* o il partito politico, ma personaggi viventi che ne guidavano le sorti.

Erano ormai maturi i tempi per il passaggio da un governo oligarchico, quello repubblicano, a un governo monarchico, quello imperiale. Il predominio assoluto di una sola persona su tutto lo stato romano, infatti, permetteva di esaltare fino all'eccesso la funzione propagandistica della moneta.

Ecco perciò che già con Augusto (27 a.C. - 14 d.C.), ma in modo drastico solo con Tiberio (14-37 d.C.), il recto di tutti i nominali emessi dalle zecche imperiali fu destinato, tranne rarissime eccezioni, a riportare il profilo del principe in carica (o quello dei membri della famiglia imperiale cui si estendeva temporaneamente il diritto d'immagine), profilo che con la diffusione della moneta andava a raggiungere i più remoti angoli dell'impero e, quindi, a portare ovunque il suo effetto propagandistico.

Scorrendo elenchi e testi compilativi delle monete imperiali ci troviamo sommersi dalle tematiche più disparate e dalle loro realizzazioni più eclettiche: divinità classiche del pantheon romano o quelle di provenienza provinciale (Giove, Marte, Apollo oppure Serapide e Iside); allegorie di entità astratte (queste innumerevoli, dalle figure della Vittoria, fino alla dea Roma, alla Felicità, alla Salute e al Valore) tutte sempre in connessione con la figura imperiale; personificazioni di luoghi geografici (fiumi, provincie); eventi militari o politici condotti dall'imperatore, compresi atti di liberalità (remissione di tasse, costruzione di edifici pubblici).

L'iconografia è accompagnata da leggende sia sul recto che sul verso: quelle su recto, sviluppate intorno al profilo dell'imperatore o del personaggio della famiglia imperiale, riportano sempre la formula onomastica e spesso l'indicazione dei poteri di cui era in possesso, delle cariche che rivestiva, degli epitetti onorifici di cui era stato onorato. La leggenda del verso, invece, illustra il soggetto raffigurato, ma qualche volta può continuare l'elenco dei titoli e degli onori svolto nella

leggenda del recto.

Il periodo d'oro della numismatica imperiale dura tre secoli e mezzo: dalla metà del IV secolo d.C., infatti, lo studio tematico della produzione monetaria romana comincia a perdere completamente di interesse, poiché i soggetti tendono a cristallizzarsi e la funzione propagandistica della moneta si impoverisce.

Questa parabola discendente troverà la sua completezza a partire da Valentiniano I (364-375 d.C.), quando la funzione propagandistica che mirava agli occhi e al cuore dei fruitori della moneta verrà svolta con distacco, con fredda e povera monotonia, rispecchiando fin troppo bene l'evoluzione politica che dal *princeps*, “il più autorevole (fra molti)”, portava al *dominus*, “il signore, il padrone”. Neanche le sempre più rare vittorie militari sui barbari e le sporadiche opere edilizie avranno un loro riscontro, quasi che il potere volesse evitare qualsiasi riferimento temporale e, quindi, qualsiasi riferimento alla caducità di ogni cosa, anche del semidivino augusto.

Unica novità tematica sotto i nuovi imperatori cristiani fu l'introduzione del simbolo della croce in quasi ogni soggetto: da sola o su scettri, essa dominerà le poche e ripetitive iconografie che illustreranno le altrettanto poche e ripetitive tematiche monetarie.

#### **1.4 L'estrazione dei metalli e la coniatura delle monete**

La scoperta dei metalli e delle tecnologie per estrarli costituisce uno degli eventi cruciali della storia dell'uomo, comparabile con la rivoluzione costituita dall'avvento e dalla diffusione dell'agricoltura e dell'allevamento in età neolitica.

L'avvento dei metalli permise di disporre di un materiale di elevata efficienza che consentì l'accumulo di nuove e più durevoli forme di beni, favorendo quindi la concentrazione della ricchezza e la stratificazione sociale.

Di fatto l'evoluzione della metallurgia ha comportato una serie di trasformazioni nell'assetto economico e nella struttura delle comunità, che travalicano il mero aspetto tecnologico, che pure è d'importanza non trascurabile. Si pensi, per esempio, agli effetti dei lunghi e pericolosi viaggi che venivano affrontati per approvvigionarsi di metalli, dando così impulso ai rapporti tra popolazioni lontane e tra culture diverse.

La presenza di giacimenti metalliferi ha inoltre influito sullo sviluppo di alcune regioni, quali l'Etruria o la Sardegna nuragica, nonché sulla dislocazione degli insediamenti, spesso sorti in aree minerarie o in luoghi di scambio delle materie prime.

Sebbene non fossero un popolo di minatori, i Romani apportarono rilevanti innovazioni alla tecnica

mineraria, alcune delle quali hanno continuato a restare in uso sino all'età moderna. I loro più rilevanti apporti sono costituiti dalla razionalizzazione e dalla meccanizzazione delle coltivazioni, ottenuta adattando alle esigenze dell'arte mineraria macchine ellenistiche concepite inizialmente per altri usi. Esse erano principalmente finalizzate a risolvere il problema dell'evacuazione delle acque sotterranee, rendendo possibile seguire le vene anche a profondità precedentemente impensabili, spesso superiori ai 200 m sotto il livello del suolo.

Inoltre, operarono in maniera innovativa anche nello sfruttamento delle coltivazioni a cielo aperto: accanto all'impiego di sistemi tradizionali, sfruttarono la forza dell'energia idraulica per operare massicci scavi nei grandi depositi d'oro dei terrazzi alluvionali dell'area alpina, della Transilvania e del Nord-Ovest iberico.

Per effettuare efficacemente l'estrazione del metallo dal minerale era necessario disporre di qualche tipo di fornace, nella quale si potesse ottenere, mediante tiraggio, la temperatura sufficiente a raggiungere il punto di fusione. Il combustibile era costituito da carbone di legna, che forniva anche l'indispensabile atmosfera riducente.

Il sistema più semplice di estrazione era quello che partiva da ossidi e carbonati: aveva luogo una complessa reazione chimica che produceva, oltre al metallo, dei gas e una scoria contenente i materiali di scarto.

Nelle sue linee essenziali, la reazione può essere schematizzata:



Perché questa possa svolgersi è necessaria l'assenza di ossigeno, ottenuto circondando e coprendo il minerale con carbone, affinché si trovi nella zona riducente del fuoco. In tal modo l'ossigeno legato al metallo nel minerale si combina con il monossido di carbonio (CO) emesso dal carbone: si formano così il metallo e l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), che essendo allo stato gassoso si disperde nell'aria.

Qualora il minerale di partenza fosse stato costituito da solfuri anziché da ossidi o carbonati, necessitava un trattamento preliminare di arrostimento, effettuato su cataste di legna in presenza di aria; esso consentiva di ossidare il metallo eliminando non solo lo zolfo, ma anche elementi volatili come arsenico, antimonio e bismuto.

Per quanto riguarda le monete, queste furono prodotte, in massima parte, con la tecnica della coniatura: essa si attuava mediante la percussione con un martello della matrice superiore (conio di martello), mentre quella inferiore (conio di incudine) veniva alloggiata, ben fissa, in un massello. Il metallo non era allo stato fuso, ma veniva semplicemente portato a un opportuno grado di calore finché, reso malleabile, fosse improntabile anche nei più piccoli dettagli incisi nei conii.

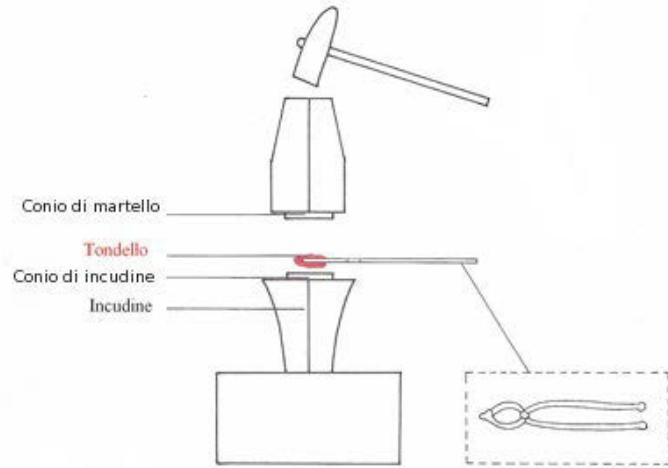


Figura 1.1: metodo di coniatura

La tecnica della coniazione fu adottata per il *denario*, per le monete d'argento e auree e per le monete costituite da leghe non preziose; i nominali romani più antichi furono invece prodotti con la tecnica della fusione: essa si realizzava colando il metallo reso liquido con il calore entro le matrici delle quali andava a occupare la trama scolpita in negativo.

Alla produzione di monete lavorava un numero enorme di uomini, capeggiati da un “*optio et exactor*”, una specie di direttore tecnico. L’insieme delle maestranze formava la “*familia monetalis*”, che era suddivisa in quattro categorie:

- *Scalptores*, che si occupavano di incidere i conii,
- *Officinatores*, era la manovalanza, a cui erano affidati gli incarichi più pesanti,
- *Nummularii*, incaricati della fornitura del metallo e del ritiro dei conii,
- *Dispensatores*, che erano gli impiegati ed addetti alla amministrazione ed alla contabilità.

Su tutti vegliavano inoltre un *Procurator* ed un *Probator*, che forse aveva il compito di saggiaffatore chimico.

Inizialmente vi era una sola zecca che provvedeva alle emissioni monetarie, quella situata a Roma, ma quando l’espansione territoriale dello stato arrivò ben oltre i confini della penisola italica, fu necessario procedere all’apertura di altre zecche succursali situate nelle maggiori città dell’impero romano.

Malgrado queste, in alcuni casi neanche tale soluzione fu sufficiente, vista la concessione data nel

corso dei primi tre secoli dell'impero a molte colonie e città provinciali di provvedere a una propria regolare monetazione.

Il numero delle zecche succursali crebbe sempre più significativamente nel corso del tempo: tra le più importanti e produttive, che continuarono la coniazione fino al V secolo d.C., ricordiamo Alessandria, Antiochia e Lugdunum, l'odierna Lione.

## CAPITOLO 2

### INDAGINE PRELIMINARE

Questo capitolo si propone di descrivere le indagini preliminari che sono state effettuate su tutti i reperti appartenenti alla collezione, al fine di ottenere le prime informazioni utili a creare un quadro conoscitivo generale utile per lo studio vero e proprio avvenuto in seguito.

#### 2.1 Luogo di ritrovamento

Le monete della collezione oggetto di studio presentano caratteristiche iconografiche, metallurgiche e conservative molto diverse tra loro.

Tali nominali sono state rinvenute in provincia di Ferrara, in una zona a nord ovest nel comune di Bondeno (Figura 2.1).



Figura 2.1: Luogo di ritrovamento delle monete della collezione.

La zona è compresa tra i paesi di Pilastri, Gavello e Burana e, come si può osservare anche dalla Figura 3.1, l'area è situata nella cosiddetta piana del Po che comprende il vasto insieme dei territori occupati dall'asta del grande fiume, dalle foci dei suoi rami e dai suoi depositi antichi, cioè l'antico apparato deltizio che si estende su di una superficie di oltre 2000 km<sup>2</sup> nella provincia di Ferrara.

L'asta del fiume presenta un andamento tortuoso e altamente sinuoso a causa della debole pendenza del territorio, che va a definire le tipiche aree dei meandri fluviali del Po.

La zona di ritrovamento delle monete può essere definita come piana interfluviale, ossia una porzione di piana alluvionale, posta a quota più bassa rispetto ai rami del fiume che è soggetta a

inondazioni abbastanza frequenti, per lo meno in antichità.

Questa fascia rivierasca del Po, per quanto legata a complesse vicende idrografiche, offre elementi tali da confermare una particolare continuità insediativa che abbraccia un arco di tempo compreso tra il II secolo a.C. e il VI secolo d.C.; è quindi del tutto logico e giustificato il ritrovamento in tali aree di reperti archeologici di un periodo molto vasto.

## 2.2 Indagine fotografica

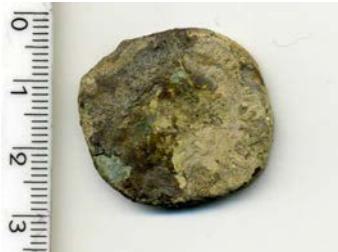
Nel tentativo di comprendere lo stato di conservazione e i prodotti di corrosione superficiali delle monete oggetto di studio, tutti i campioni sono stati osservati prima ad occhio nudo e poi successivamente fotografati con luce naturale al fine di ottenere un'immagine generica del *recto* e del *verso* e delle dimensioni di ciascuna moneta.



Figura 2.2: esempio di uno dei campioni oggetto di studio.

Attraverso questa prima osservazione, si è potuto notare come tutte le monete presentino sul *recto* un'immagine del profilo e in alcuni casi, sul contorno di esso, è ancora visibile la titolatura, ossia l'indicazione riguardante l'imperatore al trono durante la coniatura della moneta. Sul *verso*, invece, sono generalmente riportate le raffigurazioni riguardanti le virtù o le imprese dello stesso imperatore. Si è osservato, inoltre, come lo stato di conservazione fosse diverso a seconda del campione considerato.

Alcuni di essi presentavano, infatti, evidenti prodotti di corrosione, di diversa cromia, sia sul *recto* che sul *verso*, tali da causare la scomparsa quasi totale delle immagini presenti sulle facce, comportando così una difficoltà ulteriore per lo studio iconografico e per la possibile attribuzione delle monete già di per sé di non facile interpretazione (Figura 2.3 a e b).



(a)



(b)

Figura 2.3: moneta 9 (a) e 66 (b), esempi di prodotti di corrosione.

In Figura 2.4 a e b, sono riportate due monete che presentano, invece, mancanze piuttosto evidenti, su entrambe le facce dovute probabilmente ad un distacco della zona superficiale a causa dell'avanzato stato di degrado che danneggia vistosamente la leggenda.



(a)



(b)

Figura 2.4: moneta 14 (a) e 6 (b), esempi di perdita della leggenda.

Tra le monete oggetto di studio ve ne sono due fratturate, mancanti cioè di una parte o addirittura di metà della superficie (Figura 2.5 a e b); ciò comporta una naturale irregolarità della forma e una perdita notevole di tutte quelle informazioni che erano contenute nell'area mancante e che non hanno permesso di portare a termine lo studio iconografico e quello riguardante la datazione.



(a)



(b)

Figura 2.5: moneta 3 (a) e 26 (b), esempi di perdita di parte della superficie.

Successivamente a questa indagine, che ha fornito semplici ma fondamentali informazioni riguardanti ciascun campione in esame, sono state effettuato delle fotografie in luce radente, che hanno evidenziato maggiormente le immagini presenti sulle facce e, in alcuni casi, hanno permesso di mostrare immagini che alla luce naturale non era più possibile osservare (Figura 2.6).

Il primo passo per esaminare i reperti con lo scopo di ottenere nuove informazioni e indagare il loro stato di conservazione consiste, infatti, nell'illuminare la superficie con un fascio di luce radente.

Per luce radente si intende, infatti, un fascio luminoso parallelo alla superficie o formante con questa un angolo molto ridotto; in queste condizioni tutte le caratteristiche della superficie vengono accentuate permettendo una lettura migliore dei reperti oggetto di studio.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.6: (a) *Recto* moneta 6; (b) *Recto* moneta 39; (c) *Recto* moneta 61.

### 2.3 Osservazione allo stereomicroscopio

Ciascuna moneta è poi stata studiata allo stereomicroscopio, al fine di visionare più da vicino e in maniera più dettagliata i lati delle monete.

Lo stereomicroscopio è caratterizzato da una visione tridimensionale di ciò che si sta osservando in quanto è dotato di coppie di obiettivi e oculari che lavorano simultaneamente dando una visione molto realistica del soggetto.

Grazie ad esso è stato possibile osservare lo stato di conservazione dei campioni che, come già affermato, presentano tipologie e stato di degrado differenti a seconda della lega di cui sono composti e per la natura chimico-organica dei terreni in cui sono rimasti seppelliti per centinaia di anni e in cui sono stati rinvenuti solo da pochi decenni.

Il lungo contatto con la terra e con un ambiente umido e con gli acidi e con i sali presenti in esso, ha provocato sulla superficie metallica modificazioni chimiche che hanno comportato alcuni cambiamenti nella colorazione di origine e che prendono, appunto, il nome di patine.

In realtà, questa interazione terreno-moneta ha avuto modo di compiersi solo sulla monetazione cosiddetta bronzea, formata cioè dai nominali coniati appunto in bronzo, o in rame, o in oricalco (lega di rame e zinco, simile all'ottone) o in altre leghe: non sull'oro, metallo nobile e incorruttibile per eccellenza, né sull'argento, almeno quello semi-puro, che per sua natura tende più a incrostazioni che a patine.

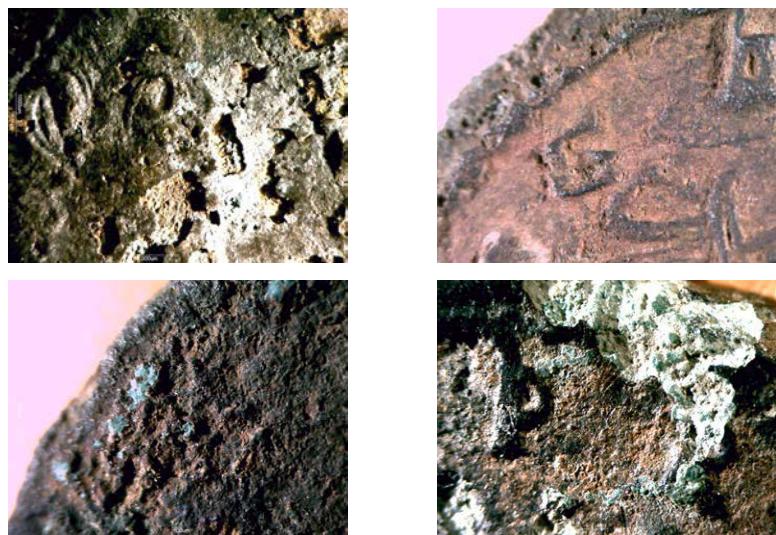


Figura 2.7: esempi di diverse tipologie di degrado.

Grazie al potere risolutivo dello stereomicroscopio è stato, inoltre, possibile migliorare le conoscenze in ambito iconografico. L'osservazione ravvicinata dei lati delle monete ha permesso, infatti, una migliore comprensione delle immagini e delle lettere incise su di essi, permettendo una ricerca storica più coerente e una valutazione puramente estetica della qualità artistica delle immagini, in modo particolare dei volti presenti su tutti i *recti* delle monete.



Figura 2.8: esempi iconografici impressi sulle monete.



Figura 2.9: esempi di titolatura.

Grazie all'osservazione dei campioni allo stereomicroscopio e delle immagini ottenute da esso, si sono individuate e scelte le zone più interessanti per tutta una serie d'indagini che verranno esposte e giustificate nei capitoli successivi.

In breve, le analisi effettuate sono: fluorescenza a raggi X (XRF), osservazione al microscopio a scansione elettronica (SEM) e osservazione metallurgica tramite microscopio metallografico.

## CAPITOLO 3

### STUDIO ICONOGRAFICO DELLE MONETE

Questo capitolo si propone di descrivere ciascuna moneta facente parte della collezione, al fine di riportare i dati preliminari acquisiti su ogni moneta, come le dimensioni, il luogo di ritrovamento e la descrizione del *recto* e del *verso*.

In alcuni casi, in cui lo stato di degrado non ha attaccato eccessivamente le superfici ed è quindi ancora possibile osservare le immagini raffigurate su entrambi i lati delle monete, si è tentato di portare avanti uno studio iconografico delle immagini presenti.

Tentando un approccio comparativo con monete romane di epoca e attribuzione certa, si è tentato di elaborare alcune possibili correlazioni con i campioni in nostro possesso e oggetto di questa tesi.

#### 3.1 Moneta 1

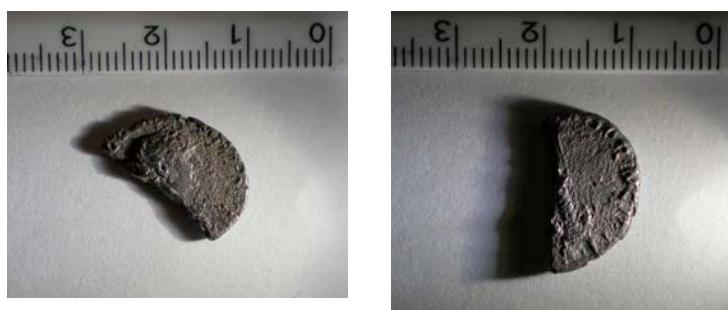


Figura 3.1: *Recto* e *verso* della moneta 1.

La moneta in questione si presenta mancate di circa metà del corpo; il suo modulo, cioè il diametro, è di circa 1,8 cm.

I problemi di fratturazione sono abbastanza comuni per le monete costituite da una percentuale di argento, come in questo caso: questi nominali, infatti, sono assai fragili e tendono a spezzarsi facilmente per la presenza di lesioni e di microcricche, legate non soltanto alla corrosione, ma, a volte, all'acuirsi di antichi difetti di fabbricazione. (Giardino, 1998)

Il luogo di rinvenimento è sito nella zona nord-occidentale del comune di Bondeno, nei pressi di Gavello, in località La Fornetta. (Figura 3.2)



Figura 3.2: Luogo di ritrovamento moneta 1, 2 e 3.

Il *recto* presenta un profilo, rivolto verso destra, del volto di un uomo senza ornamenti sul capo, in cui sono ben visibili i lineamenti del viso, come l'orecchio e i boccoli dei capelli. E', inoltre, ipotizzabile che all'origine si trattasse di un busto, cioè comprensivo anche della raffigurazione delle spalle;

La titolatura, cioè l'iscrizione che generalmente compare sul contorno, non è più leggibile; nella storia della numismatica dell'antica Roma era molto comune, infatti, trovare sul *recto* delle monete, come utile strumento di propaganda, il volto dell'imperatore, o di un suo famigliare, accompagnato da indicazioni riguardanti i poteri a lui conferiti.

Esistono anche casi di nominali anepigrafi, cioè privi di leggenda: non si è, quindi, in grado di affermare se la moneta studiata avesse o meno alcune iscrizioni su entrambe le facce, anche se alcuni incisioni sul contorno fanno pensare che la leggenda fosse presente e che a causa del degrado non sia più osservabile.

L'immagine sul *verso*, invece, non è più identificabile, a causa della fratturazione che ha causato la perdita completa dell'immagine che era presente.

Anche su questo lato i Romani erano soliti incidere delle leggende, che potevano descrivere le virtù dell'imperatore o semplicemente continuavano la descrizione dei poteri di cui era insignito.

La possibilità, infatti, di stabilire quale imperatore ha emesso i nominali è data solo dalla titolatura presente sui contorni dei lati della moneta stessa, in cui è riportato appunto il nome del *princeps* e i poteri che gli sono stati assegnati.

Sul *verso* di questa moneta non si è in grado di leggere alcuna iscrizione, di conseguenza non è stato possibile portare avanti lo studio iconografico e di attribuzione.

### 3.2 Moneta 2

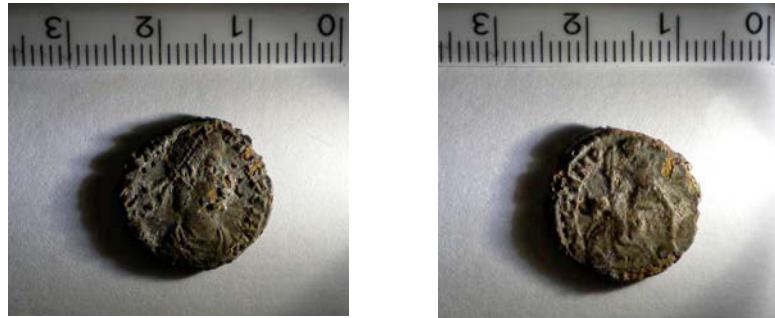


Figura 3.3: *Recto* e *verso* della moneta 2.

Il modulo di questa moneta è leggermente inferiore rispetto a quella precedente, misura infatti 1,6 cm. Anche questo reperto è stato rinvenuto nella stessa zona del primo, ossia in località La Fornetta, vicino a Gavello, piccolo paese in prossimità di Bonden. (Figura 3.2).

Sia il *recto* che il *verso* si presentano integri ed il contorno è ben delineato e regolare, anche se il degrado ha comportato la perdita di alcune porzioni di materiale in diversi punti della superficie, osservabili oggi come piccole cavità visibili anche ad occhio nudo.

Si è, in ogni caso, in grado di osservare e comprendere discretamente le immagini impresse su entrambi i lati, in modo particolare utilizzando il metodo della luce radente, che permette di far risaltare maggiormente le incisioni grazie ad un fascio luminoso parallelo alla superficie.

Sul *recto* è raffigurato un busto, rivolto verso destra, in cui sono ancora ben visibili alcuni particolari interessanti. Utilizzando un termine numismatico, la testa del personaggio è laureata: per gli antichi romani, infatti, la corona d'alloro era un ornamento di forma circolare, prodotto con rami di lauro, che veniva posto sul capo dei generali vittoriosi e degli imperatori. In latino, questa corona era detta *laurus* o *laurea*, e indicava la pianta ma, per estensione, era anche il simbolo della vittoria.

Nell'immagine sono anche ben visibili i lineamenti del volto, come l'occhio, l'orecchio e la bocca; seguendo le linee di un collo lungo e snello, è possibile osservare anche il drappeggio delle vesti.

Sul *verso* si osserva, invece, la raffigurazione del momento in cui una figura maschile armata colpisce, e probabilmente uccide, un avversario; quest'ultimo si mostra in posizione contorta, ma il volto è ancora abbastanza visibile.

Su entrambi i lati del nominale non sono più osservabili le iscrizioni, anche se in alcuni punti, soprattutto del *verso*, sono ancora visibili alcune lettere.

Questo non è, però, sufficiente per comprendere la titolatura e di conseguenza non è possibile riuscire ad attribuire questa moneta né ad un periodo storico preciso, né ad un imperatore che ne abbia permesso la coniatura.

### 3.3 Moneta 3



Figura 3.4: *Recto* e *verso* della moneta 3.

Questo nominale è caratterizzato da un diametro di circa 2,6 cm ed è quello che presenta il degrado più visibile e più esteso, tale da rendere completamente illeggibile il *verso*.

In Figura 3.4 è possibile osservare le diverse patine che ricoprono la superficie e che si presentano con diverse cromie, che vanno dal verde al rosso/marrone scuro; inoltre si nota la presenza sul *verso* di una patinatura generalizzata, che ricopre uniformemente tutta la faccia.

Anche questa moneta è stata ritrovata in prossimità di Gavello, nel comune di Bondeno e presenta sul *recto*, anch'esso molto rovinato dal degrado, il profilo di un volto probabilmente privo di ornamenti.

Sul bordo si osservano alcune incisioni che si può ipotizzare potessero essere le lettere della titolatura che caratterizzavano il personaggio raffigurato. L'impossibilità di poterle decifrare, non ha permesso il proseguimento dello studio iconografico e di conseguenza non è stato possibile attribuire questo campione ad un definito periodo dell'Impero Romano.

### 3.4 Moneta 4



Figura 3.5: *Recto* e *verso* della moneta 4.

In questo caso tale nominale è molto simile al numero 2, sia per le caratteristiche dimensionali, sia per le immagini raffigurate sui entrambi i lati.

La moneta in questione ha un diametro di circa 1,6 cm; è stata rinvenuta in località La Badileta, nel comune di Bondeno, nei pressi del piccolo paese di Gavello e quindi nelle vicinanze del luogo di ritrovamento delle monete precedentemente descritte.

Il *recto* presenta il busto laureato di un uomo, rivolto verso destra, di cui sono ben visibili i lineamenti, ma anche i capelli e i lacci della corona di lauro che ha sul capo. Sul bordo sono visibili delle incisioni, forse attribuibili alle lettere della leggenda, che a causa del tempo e del degrado non sono più riconoscibili.

Sul verso è presente, anche in questo caso, una figura maschile in piedi e in abiti militari che, tenendo nella mano sinistra un'arma o forse un trofeo, procede verso destra mentre sembra nell'atto di trascinare un prigioniero.



Figura 3.6: iconografia somigliante.

E' stato possibile elaborare l'ipotesi che sia il corpo di un nemico per una certa somiglianza con il *recto* di un nominale emesso durante l'impero di Giuliano, *princeps* dal 360 al 363 d.C., in cui compare Giuliano stesso in abiti militari che avanza, tenendo in una mano un trofeo e nell'altra trascina un prigioniero. La scritta sul bordo rende ancor più chiara l'immagine "VIRTUS EXERCITUS ROMANORUM", ad indicare il grande valore dell'esercito romano.

Non è, ovviamente, possibile stabilire con certezza che questa relazione sia corretta e non c'è modo di riuscire a raggiungere un risultato in termini di attribuzione, a causa della mancanza delle leggende. Questa associazione è stata elaborata solo come utile mezzo per una maggiore comprensione della raffigurazione e per uno studio iconografico più esaustivo.

Anche su questo lato, non sono presenti, o forse non sono più visibili, lettere ed incisioni sul contorno; non è quindi possibile attribuire questa moneta ad un determinato periodo della dominazione romana.

### 3.5 Moneta 5



Figura 3.7: *Recto* e *verso* della moneta 5.

Il modulo della moneta 5 è di circa 2,5 cm; tale campione è stata rinvenuto, com'è possibile osservare dalla Figura 3.8, in località La Panfia, in prossimità di Gavello, situata sempre nel comune di Bondeno.

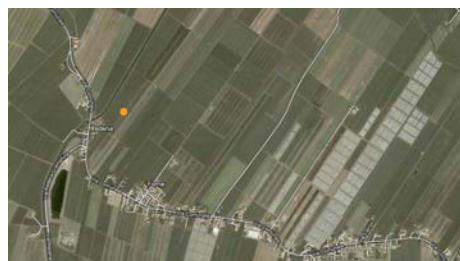


Figura 3.8: Luogo di ritrovamento della moneta 5.

Il *recto*, in buono stato di conservazione, presenta un busto radiato rivolto verso destra. Questa particolare tipologia di corona deriva dal culto di origine orientale del *Deus Sol Invictus* (Dio Sole Invitto) che si diffuse a Roma nel Tardo Impero, in particolare con l'imperatore Elagabalo (218-222 d.C.), che tentò di imporre il culto di un dio solare. Con la sua morte, il culto cessò, ma per più di un secolo, gli imperatori continuaron ad essere ritratti sulle monete con l'iconografia della corona radiata solare.

Sul contorno del *recto* si riesce ancora ad osservare in maniera piuttosto nitida, una parte della

leggenda in cui si riconoscono le lettere “GALLIAN” ; la mancanza delle restanti lettere facenti parte della titolatura non ci consentono di poter ipotizzare un’attribuzione certa.

Lo stato di conservazione del *verso*, invece, non è dei migliori e l’immagine che vi è raffigurata è quasi completamente scomparsa a causa dei prodotti di corrosione. Al centro si riesce a riconoscere una figura umana, che sorregge con il braccio sinistro una cornucopia, simbolo dell’abbondanza.

Questa ipotesi viene fatta poiché ho riscontrato delle somiglianze con la figura riportata nell’esempio di figura 3.9: si tratta del verso di un sesterzio dell’età di Vespasiano, in cui è raffigurata la personificazione della Pace che tiene con in braccio sinistro, appunto, una cornucopia.



Figura 3.9: raffigurazione della Pace.

È difficile poter ipotizzare il periodo di coniazione di questa moneta; la leggenda del *recto* potrebbe suggerire il nome dell’imperatore Gallieno (253-268 d.C.), ma vi sono alcune lettere mancanti che non ne permettono un’attribuzione certa. Inoltre, è necessario considerare la possibilità che sia un falso antico: fin dall’antichità, infatti, fu inevitabile che i contraffattori producessero imitazioni di monete coniate con metalli di valore più basso i cui originali erano garantiti da una determinata entità politica.

### 3.6 Moneta 6



Figura 3.10: *Recto* e *verso* della moneta 6.

Questa moneta ha un modulo pari a 1,6 cm circa e, come si può osservare dalla Figura 3.10, è mancante di una porzione nella parte superiore sinistra.

Come il nominale precedente, è stato rinvenuto in località La Panfia, nei pressi di Gavello, nel comune di Bondeno.

Lo stato di conservazione del reperto non è ottimale; sul *recto* è presente un volto laureato di profilo, rivolto verso destra, di cui sono ancora ben visibili alcuni particolari interessanti come i lineamenti del volto e i capelli.

Sul contorno si distinguono ancora alcune lettere, ma non sono sufficienti per comprendere il significato generale della titolatura e di conseguenza non è stato possibile procedere con alcune ipotesi di attribuzione.

Sul *verso* invece, si osservano distintamente due figure, in piedi e affiancate che possono essere associate nell'iconografia delle monete romane alla raffigurazione dei Dioscuri (Figura 3.11).



Figura 3.11: esempio raffigurazione Dioscuri.

Secondo il mito, Castore e Polluce, figli gemelli di Zeus furono due degli Argonauti, gli eroi che

presero parte alla ricerca del Vello d’Oro. A Roma, i Dioscuri erano ricordati in un tempio a loro dedicato nel Foro, perché la tradizione voleva che il risultato della battaglia del Lago Regillo, una delle prime leggendarie vittorie romane (intorno al 500 a.C.) inizialmente sfavorevole ai guerrieri dell’Urbe, sia completamente cambiato dopo l’apparizione dei gemelli.

E’ quindi possibile supporre che le figure presenti sul verso di questa moneta siano proprio i famosi Dioscuri, anche se l’assenza d’iscrizioni e uno stato avanzato del degrado, non permettono di averne certezza.

### 3.7 Moneta 7



Figura 3.12: *Recto* e *verso* della moneta 7.

Questa moneta ha un diametro pari a 2,8 cm e rispetto alle precedenti, escludendo la numero 3, ha uno spessore molto maggiore.

Il suo stato di conservazione è abbastanza buono; presenta, infatti, delle patine di cromie diverse dal verde al rosso-arancio. La presenza di questa patina permette comunque di osservare e di identificare l’iconografia presente su entrambe i lati della moneta e soprattutto buona parte della legenda presente sul contorno del recto.

Questo reperto, come i due precedenti, è stato rinvenuto il località La Panfia, nei pressi di Gavello, piccolo paese nel comune di Bondeno.

Sul *recto* è presente, come in tutte le monete oggetto di studio, un busto laureato rivolto verso destra; l’immagine, anche se leggermente rovinata dal degrado, è qualitativamente molto buona e i lineamenti del viso, come anche il collo, lungo ma muscoloso, sono di manifattura pregevole.

Sul contorno si è in grado di leggere distintamente alcune lettere della titolatura, che recitano: “..ES DOMIT..”; le altre lettere della leggenda non sono più osservabili, inoltre si nota come questo campione sia stato oggetto di un errore durante la coniatura. Al momento della produzione, molto

probabilmente, il tondello di metallo non era perfettamente centrato fra i due conii e come si vede dall'immagine del *recto*, la figura non è centrata e alcune lettere della leggenda sono andate perse.

Nel *verso* è presente una figura femminile ai lati della quale si leggono distintamente le lettere S e C, ossia *Senatus Consulto*: la riforma monetaria di Augusto, iniziata nel 23 a.C. assegnò la giurisdizione sulla coniazione dell'oro e dell'argento alla figura del *princeps* in virtù della potestà proconsolare da esso detenuta, mentre lasciò al Senato quella sul bronzo, ecco perché l'abbreviazione SC.

Sul bordo sono evidenti alcune lettere leggibili “PUBL”, mentre in basso s'intravede la lettera F. È stata osservata una somiglianza con un *dupondio*, moneta prodotta con una lega di bronzo, emesso dall'imperatore Domiziano (81-96 d.C.) (Figura 3.13).

Come si può osservare dall'immagine sottostante, il *verso* presenta una figura femminile con una cornucopia in mano, ai lati della quale sono presenti le lettere S e C e sul contorno è visibile la scritta *FELICITAS PUBLICA*.



Figura 3.13: dupondio di Domiziano

La somiglianza tra i due nominali appena messi a confronto permette di proporre che il nominale studiato rientri tra le monete emesse durante il dominio dell'imperatore Domiziano facente parte della dinastia dei Flavi.

### 3.8 Moneta 8



Figura 3.14: *Recto* e *verso* della moneta 8.

Rinvenuta in località La Ruota, sempre nei pressi di Bondeno, questa moneta è caratterizzata da un diametro di 1,8 cm.

Presenta un degrado accentuato soprattutto sul *recto*, a causa del quale non sono più visibili né i lineamenti del volto né la probabile leggenda presente sul contorno. Infatti, si riesce ad intravedere soltanto il capo laureato rivolto verso sinistra e la corona d'alloro presente su di esso, in particolare i lacci della corona stessa e i capelli su cui è poggiata.

Il *verso* è conservato meglio e presenta un globo sopra un altare, in cui compare la scritta *VO-TIS*; mentre sul contorno è presente una leggenda poco chiara a causa del degrado.

Questa tipologia di raffigurazione compare spesso su nominali di epoche differenti, come si può vedere in Figura 3.15.



Figura 3.15: altare con globo.

Grazie alla buona conservazione della moneta oggetto di studio, si riesce a leggere distintamente ciò che c'è scritto sul contorno e cioè *BEATA TRAN\*\*\*QUILLITAS*.

### 3.9 Moneta 9



Figura 3.16: *Recto* e *verso* della moneta 9.

La moneta, in buono stato di conservazione, è caratterizzata da un diametro pari a 1,5 cm circa ed è stata rinvenuta in località La Marchesa sempre nei pressi di Bondeno.



Figura 3.17: Luogo di ritrovamento moneta 9.

Presenta sul *recto* l'immagine di un volto maschile, senza ornamenti sul capo e con una folta barba; i particolari come l'orecchio, i capelli e la barba stessa sono pregevoli.

Sul contorno si percepisce la presenza di alcune incisioni, ma la presenza della patina superficiale non consente di decifrare le lettere presenti.

Il *verso* si trova in uno stato di conservazione peggiore rispetto al *recto* e, come si osserva dalla Figura 3.16, anche su questo lato non è possibile riconoscere le incisioni presenti sul bordo. Al centro è presente una figura in piedi di cui è difficile proporre un'interpretazione.

La mancanza di nitidezza delle raffigurazioni e delle possibili leggende presenti su entrambi i lati di questa moneta non hanno permesso di procedere con uno studio iconografico e con una possibile attribuzione ad un determinato imperatore.

### 3.10 Moneta 10



Figura 3.18: *Recto* e *verso* della moneta 10.

La moneta presenta uno scarso stato di conservazione e sia sul *verso* che sul *recto* sono ben visibili patine di diversa cromia, dal rosso al verde.

Rinvenuta in località Il Quaranta, nei pressi di Burana, sempre nel comune di Bondeno, ha un diametro di circa 2,7 cm.

Il *recto* mostra un volto robusto e laureato rivolto verso sinistra e circondato da una leggenda in parte visibile nelle lettere: “..S VESPA AUG PM TR P..”. Queste lettere sono le abbreviazioni note di: *Vespa(sianus)* *Aug(ustus)* *P(ontifex)* *M(aximum)* *Tr(ibunicia)* *P(otestate)*. La S che precede VESPA fa probabilmente parte di una parola precedente, presumibilmente *CAES(ar)*, in quanto prima del nome proprio del *princeps*, comparivano molto spesso le abbreviazioni *IMP(erator)* e *CAES(ar)* appunto.

L’immagine del *verso* non è più leggibile, ma si distingue comunque una figura al centro che tiene un probabile oggetto con il braccio sinistro e il destro sembra lievemente scostato dai fianchi, ai lati dei quali compaiono le lettere S e C.

Inoltre, si è riscontrata una somiglianza notevole con sesterzio emesso durante l’impero di Vespasiano (69-79 d.C.) che ho riportato in Figura 3.19.



Figura 3.19: Sesterzio di Vespasiano.

Le immagini impresse sono molto simili a quelle della moneta che fa parte della collezione oggetto di questo studio. Considerando le scritte presenti sui due *recti*, queste sono molto somiglianti, tali per cui si può supporre che la moneta studiata faccia parte dei nominali emessi durante il regno di Vespasiano.

## CAPITOLO 4

### METODOLOGIE Sperimentali UTILIZZATE

In questo capitolo vengono riportati i metodi sperimentali che sono stati utilizzati per la caratterizzazione dei campioni oggetti di studio; in modo particolare verranno trattati l’analisi XRF, SEM e analisi microstrutturali con microscopia ottica.

#### 4.1 Tecnica della fluorescenza a raggi X (XRF)

La spettrofotometria XRF (*X-ray fluorescence*) è una tecnica di analisi non distruttiva che permette di conoscere la composizione elementale di un campione attraverso lo studio della radiazione di fluorescenza X. Tale radiazione è emessa dagli atomi del campione in seguito a eccitazione, che si ottiene tipicamente irraggiando il campione con raggi X e gamma ad alta energia.

Il principio è abbastanza semplice e si basa sugli effetti dell’interazione dei raggi X con la materia: quando un fascio di raggi X colpisce la zona oggetto di analisi, i raggi possono essere assorbiti dall’atomo o diffusi attraverso la materia.

Il processo nel quale un fotone X è assorbito dall’atomo con trasferimento di energia a un elettrone delle orbite più interne è detto effetto fotoelettrico. Tale elettrone viene espulso dalla sua orbita lasciando l’atomo in uno stato eccitato.

L’automatico e immediato evento che viene subito dopo è un processo di diseccitazione, mirante a rendere l’atomo nuovamente stabile e consiste nel rimpiazzo dell’elettrone perduto con uno proveniente da orbite superiori (transizione elettronica), più esterne, ed è accompagnato dall’emissione di raggi X di fluorescenza.

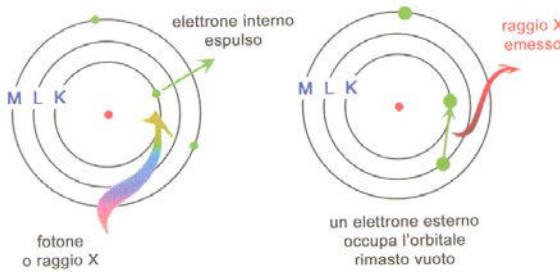


Figura 4.1: emissione raggi X di fluorescenza.

E' opportuno sottolineare come il fenomeno della fluorescenza, cioè della emissione di fotoni di energia conosciuta, non dipende dalla modalità di eccitazione per cui i fotoni emessi da un atomo di rame hanno eguale energia se esso è stato bombardato con fotoni, con elettroni o con una qualsiasi altra radiazione che sia in grado di creare una vacanza nel guscio più interno dell'atomo.

Le orbite dell'atomo assumono in spettrometria X i nomi di livelli energetici K (la più interna, che presenta gli elettroni strettamente legati al nucleo), L, M, N, O. Le transizioni elettroniche più comuni sono quelle che riguardano gli strati K e L. a seconda del livello energetico da cui l'elettrone viene espulso avremo pertanto emissioni di fluorescenza, dette righe, della serie K (righe K) o della serie L (righe L).

L'energia di fluorescenza è la differenza tra le due energie di legame degli elettroni dei rispettivi livelli coinvolti, in particolare un salto elettronico da un livello L a un livello K è definito riga  $K_\alpha$ , mentre un salto da livello M a un livello K è detto  $K_\beta$ .

Poiché gli elementi chimici di basso numero atomico non possiedono livelli M (né conseguentemente N), non possono aversi per essi che righe K; un caso limite è quello di idrogeno e elio, i primi due elementi della tavola periodica, che non presentano alcuna emissione di fluorescenza.

I dati raccolti con le analisi XRF vengono riportati in grafici che rappresentano in ordinata l'intensità della fluorescenza misurata, indice della quantità di fotoni raccolti dal rivelatore (espressa in numero di conteggi e in prima approssimazione proporzionale alla concentrazione dei relativi elementi) e in ascissa l'energia che li caratterizza.

Le emissioni di fluorescenza, e quindi gli elementi presenti, sono individuate in questo modo dalle righe K o L, altrimenti dette picchi, la cui larghezza dipende dalla risoluzione energetica del rivelatore.

Per ogni elemento, una riga  $K_\alpha$  ha energia minore rispetto a una riga  $K_\beta$ , lo stesso vale per le righe L. Viceversa le righe  $K_\alpha$  e  $L_\alpha$ , ossia le transizioni alfa sono più probabili delle beta e, uno spettro, si

leggono come picchi di maggior altezza (e intensità). A loro volta, le emissioni K di un elemento hanno energia maggiore delle due emissioni L, per cui le righe sono rappresentate da picchi di diverse altezze (intensità) relative.

Dal momento che ogni elemento chimico presenta livelli energetici elettronici a energie anche minimamente differenti, l'energia dei raggi X di fluorescenza risulta caratteristica di ogni singolo elemento, garantendone la possibilità di identificazione univoca. Lo spettro di un singolo elemento presenta picchi a energie specifiche, che indica inoltre come all'aumentare del numero atomico (dall'alto in basso) l'energia delle righe di fluorescenza cresca.

Poiché le transizioni elettroniche coinvolte in questo processo sono quelle relative ai livelli energetici più interni dell'atomo, l'analisi XRF non interferisce di norma con i legami chimici del materiale analizzato, che riguardano invece i livelli energetici più esterni e quindi non modifica le specie chimiche presenti.

Le analisi in fluorescenza X possono essere raggruppate in due classi: le analisi in dispersione di energia (ED-XRF), in cui si legge l'energia della radiazione di fluorescenza emessa e le analisi in dispersione di lunghezza d'onda (WD-XRF), in cui se ne determina, appunto, la lunghezza d'onda.

Lo spettrometro è composto da quattro principali unità funzionali : a) la sorgente eccitatrice; b) il sistema di posizionamento e di puntamento dello spettrometro; c) il rivelatore; d) la catena spettrometrica che permette il conteggio dei fotoni rivelati e la successiva analisi dello spettro. La sorgente eccitatrice può essere una sorgente radioisotopica emittente fotoni di opportuna energia o un piccolo tubo radiogeno alimentato con una tensione sufficiente ad indurre la fluorescenza X negli elementi costituenti il manufatto che sono di interesse nell'indagine. Attualmente si tende a privilegiare la seconda soluzione per alcune semplici ragioni: a) esistono in commercio tubi di dimensioni molto ridotte; b) il fascio prodotto può essere reso molto sottile in modo da illuminare un'area piccola della superficie esaminata; c) l'intensità e lo spettro del fascio di eccitazione può essere opportunamente modificato, ottimizzando così le prestazioni del sistema spettrometrico.

Per quanto riguarda i rivelatori vi è una certa possibilità di scelta, ciò permette la realizzazione di sistemi che sono in grado di lavorare in un intervallo di energia che va dai pochi keV ad energie superiore ai 100 keV, in pratica in tutto l'intervallo di energie in cui cadono le emissioni caratteristiche degli elementi. Le principali caratteristiche dei rivelatori per un loro impiego nella spettrometria dei raggi X sono: a) risoluzione in energia, b) efficienza quantica, c) capacità di raggiungere elevati ratei di conteggio.

La catena elettronica è composta da alcuni moduli, come il preamplificatore (che fa parte integrante

del modulo di rivelazione) e l'amplificatore le cui caratteristiche sono intimamente connesse a quelle del rivelatore stesso e da un sistema di acquisizione dei dati il cui centro è un computer che permette di gestire l'intero sistema di misura, tubo radiogeno compreso, e anche le successive fasi di immagazzinamento dei dati e di elaborazione ed estrazione delle informazioni analitiche. Un sistema mobile deve essere dotato di un efficiente sistema di puntamento che consenta di individuare la zona della superficie del manufatto che si sta esaminando.

#### **4.2 Osservazione al SEM – Microanalisi EDS**

Il Microscopio Elettronico a Scansione (SEM) è uno strumento elettro-ottico che permette grazie all'emissione di un fascio di elettroni, di studiare i segnali prodotti dall'interazione del campione esaminato con gli elettroni del fascio.

Grazie all'elaborazione dei segnali ottenuti, si ottengono informazioni sia dal punto di vista morfologico che della composizione e della struttura del campione.

Lo strumento è caratterizzato dai seguenti componenti: una colonna elettronica, dove viene creato il fascio di elettroni, la camera in cui il fascio interagisce con il campione, i rivelatori che acquisiscono i segnali dell'interazione e li mandano all'elaboratore ed, infine, uno schermo in cui viene ricostruita l'immagine.

La sorgente produce elettroni per effetto termoionico e questi vengono accelerati ad una energia variabile tra 30 e 200 eV; inoltre, è presente una serie di lenti elettromagnetiche e di fenditure che fanno convergere il fascio nella direzione voluta.

In particolare, la lente finale permette di focalizzare il fascio che va a colpire il campione all'interno della camera da vuoto quando esce dalla colonna elettronica.

Quando gli elettroni del fascio penetrano all'interno del campione, perdono energia e interagiscono con esso dando luogo ad eventi complessi, tra cui l'emissione di elettroni secondari, di elettroni retrodiffusi e di raggi X.

Il SEM invece di fornire un'immagine reale del campione, proprio grazie alla scansione del fascio, riesce a restituire un'immagine virtuale per mezzo dei segnali emessi dal campione; questi segnali vengono poi convertiti in segnali digitali per poter essere elaborati più facilmente.

Le immagini prodotte mediante elettroni secondari (SE) presentano un alto contenuto morfologico, connesso ad un senso di profondità dell'immagine. Quelle ottenute dagli elettroni retrodiffusi (BSE, derivano principalmente dalle interazioni del fascio primario con i nuclei degli atomi del campione) forniscono informazioni riguardo al numero atomico medio della zona di provenienza (circa qualche  $\mu\text{m}$ ), alla topografia e alla struttura cristallina del campione.

Mediante microanalisi dei raggi X emergenti dal campione è possibile studiarne in modo qual-quantitativo la composizione chimica superficiale.

Il SEM è, quindi, sempre corredata di una microsonda EDS (*Energy Dispersion Spettroscopy*), in cui un rivelatore a stato solido raccoglie i raggi X emergenti dal campione e li separa in base al loro livello energetico.

L'analisi elementare è il risultato di un confronto tra lo spettro ottenuto e spettri di riferimento relativi ad ogni elemento.

#### **4.3 Indagine strutturale mediante microscopia ottica**

La metallografia offre uno dei metodi più utilizzati per l'esame di metalli antichi. Grazie a speciali microscopi, la luce viene riflessa passando attraverso la lente dell'obiettivo sulla specifica superficie e, passando attraverso l'obiettivo nell'oculare, permette alla superficie del campione di essere studiata.

La luce riflessa del microscopio viene utilizzata per esami metallografici perché i metalli non possono trasmettere la luce in sezioni sottili, così come la ceramica e i minerali.

L'indagine con il microscopio metallurgico è spesso il primo passo nella caratterizzazione di un particolare componente del campione ed è spesso un importante mezzo che può fornire delle indicazioni sulle tecnologie di fabbricazione. Questo tipo di studio è sicuramente molto utile per cercare di comprendere meglio la natura della lega di cui sono costituiti i reperti se viene associato ad altri indagini analitiche, come per esempio l'XRF.

La metallografia è però un'indagine di tipo invasivo, in quanto, per poter studiare la microstruttura, è necessario lucidare parte del campione.

Alcune monete della collezione oggetto di studio non sono state analizzate con questa metodologia

poiché, dopo aver effettuato indagini iconografiche, è stato possibile proporre un'attribuzione; per questo motivo la moneta acquisisce una validità storica importate che non ha permesso di essere invasivi in alcun modo. Perciò, non tutti i campioni sono stati analizzati mediante il microscopio metallografico, ma sono stati scelti solo quelli più caratteristici e che presentavano una morfologia idonea a questo tipo di indagine.

Le uniche due monete costituite da una lega di argento e rame della collezione oggetto di questa tesi, sono state entrambe analizzate mediante microscopio ottico, ma con due approcci differenti: poiché la moneta 1 presenta una frattura tale che ha causato la perdita di circa metà della superficie, è stato deciso di lucidare direttamente *in situ* una piccola porzione della superficie rimanente e di osservare la sua microstruttura in questo modo al microscopio metallografico.

La moneta 9, invece, è caratterizzata dalla presenza di alcune irregolarità nel perimetro del nominale; per questo motivo è adatto al prelievo di un frammento proprio in una delle irregolarità perimetrali. Il frammento ottenuto mediante asportazione tramite strumentazione di precisione, è stato poi inglobato in resina conduttrice e successivamente studiato attraverso le tecniche descritte in questo capitolo.

L'osservazione ad occhio nudo del nominale 2 e del 6, si è notato che presentavano entrambi delle irregolarità nella forma del contorno a causa del degrado, e ciò ha permesso di decidere di asportare una piccola porzione e di inglobarla in resina conduttrice. Grazie a questa metodologia, il campione viene lucidato più facilmente e in maniera più uniforme e si ha la possibilità di osservarne al meglio la microstruttura. La preparazione dei campioni finalizzata all'osservazione mediante microscopio ottico costa di diverse fasi. La prima consiste nel levigare i reperti, tale procedura si effettua mediante l'utilizzo di carte abrasive al carburo di silicio, caratterizzate da diverse dimensioni delle particelle; queste riescono a rimuovere in maniera piuttosto uniforme gli strati di materiale superficiale. Lo strumento che effettua questa operazione è dotato di un piatto rotante, al quale viene fissato un disco di carta abrasiva ed è continuamente irrorato da un getto d'acqua che limita il surriscaldamento e allontana le particelle di materiale rimosso per azione della forza centrifuga. Successivamente il campione viene lucidato mediante panni su cui vengono depositate, mediante spray, particelle abrasive al diamante monocristallino. Il risultato finale di tali operazioni, è un campione lucido, piatto ed esente da graffi e scalfitture, pronto per essere osservato al microscopio.

## **CAPITOLO 5**

### **RISULTATI Sperimentali**

In questo capitolo verranno riportati i dati sperimentali ottenuti dalle analisi di laboratorio che sono consistite in: fluorescenza a raggi X (XRF), microscopio elettronico a scansione (SEM) e studio della microstruttura tramite indagine metallurgica.

Grazie allo studio preliminare a cui sono state sottoposte tutte le monete e che è ampiamente riportato nel capitolo che lo riguarda, le indagini effettuate sui campioni sono finalizzate all'ottenimento del maggior numero di informazioni riguardanti le caratteristiche petrografiche e metallurgiche di ciascuno di essi.

La necessità di non compromettere lo stato conservativo delle monete ha, però, fortemente condizionato le scelte che hanno condizionato l'esecuzione delle indagini.

#### **5.1 Analisi eseguite**

L'intera collezione è stata, in primo luogo, analizzata tramite XRF al fine di identificare i maggiori costituenti presenti sulla superficie, in modo particolare tutti i prodotti di corrosione che era possibile osservare anche ad occhio nudo; si ricorda, infatti, che le monete non hanno subito nessun trattamento di pulitura prima di cominciare le indagini oggetto di questa tesi.

Le analisi tramite XRF e SEM sono state condotte al fine di comprendere al meglio la natura delle patine presenti sulla superficie. I prodotti di corrosione derivano dall'interazione dei campioni con l'ambiente circostante in cui sono rimasti seppelliti per molti secoli e questi comportano, nell'interfaccia moneta-ambiente, dei processi chimici che ne determinano un'alterazione superficiale.

In numismatica, la determinazione della composizione originale della lega è importante per conoscere la raffinatezza delle monete; le proporzioni relative tra gli elementi maggiori fornisce informazioni sulle variazioni economiche e sulle tecnologie utilizzate. (L.Beck, 2004)

L'indagine tramite il microscopio elettronico a scansione (SEM) è avvenuta in un secondo momento, dopo aver visionato e compreso gli spettri ottenuti tramite l'analisi XRF. Attraverso il microscopio elettronico sono state indagate tutte le monete, al fine di ottenere il maggior numero di

informazioni riguardo ai prodotti di corrosione superficiali, alla loro effettiva composizione e alla loro morfologia.

## 5.2 Moneta 1

L'analisi attraverso XRF, avvenuta in più punti, ha permesso di ottenere diversi spettri puntuali che hanno evidenziato elementi chimici differenti a seconda della zona indagata.

Gli spettri hanno colorazioni diverse a seconda del punto di indagine che è stato preso in considerazione; in Figura 5.1a e 5.1b vengono riportate le immagini fotografiche della moneta 1 e dei punti analizzati tramite fluorescenza a raggi X (XRF).



Figura 5.1: (a) punti analisi *recto*; (b) punto analisi *verso*.

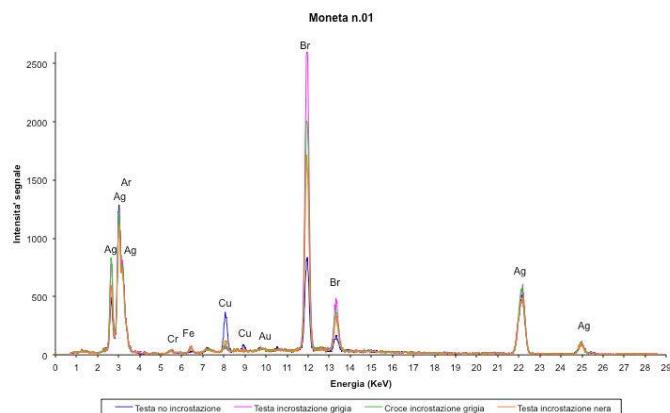


Figura 5.2: Spettro XRF della moneta 1.

In Figura 5.2 viene riportato lo spettro complessivo dell'analisi XRF che evidenzia la presenza di

alcuni elementi, in modo particolare dell'argento, del rame e del bromo.

La presenza dei primi due elementi ha permesso di ipotizzare che la moneta in esame è costituita da argento e rame, lega molto utilizzata in antichità per la coniatura delle monete.

Come descritto nel capitolo riguardante la storia della moneta romana, già dal primo secolo d.C., a Roma veniva utilizzato questo espediente di abbassare la percentuale del minerale prezioso, l'argento, in favore di una presenza sempre più massiva di rame, elemento meno costoso e di più facile reperibilità.

Le motivazioni erano essenzialmente economiche: l'Impero, sempre più fragile politicamente ed economicamente con il passare del tempo, non era più in grado di garantire l'identico valore nominale e il potere d'acquisto dello stesso tipo di moneta in ogni parte dello stato. (R.Bartoloni, 1996)

La presenza di bromo è stata fonte di grande interesse e di ricerche approfondite in quanto non è un elemento che si trova comunemente all'interno di leghe di argento e rame. La presenza di tale elemento è stata riscontrata in alcune monete provenienti dalla Dacia, area colonizzata dai romani e che attualmente comprende Romania e Moldavia (P.Debernardi 2008, R.Bugoi *et al.* 1999, P.Serafin Petrillo 1982-83). Gli autori evidenziano la presenza di bromo all'interno della composizione delle monete e ciò viene giustificato come elemento tipico dell'argento proveniente da giacimenti di quelle aree geografiche o limitrofe; inoltre, viene anche ipotizzato che si potesse trattare di nominali "particolari", osia utilizzati per alcuni tipi di pagamenti esteri o per gli stipendi dei soldati.

La necessità di fare luce sulle motivazioni della presenza del bromo nello spettro XRF, ha comportato ulteriori indagini al fine di comprendere se tale elemento faccia parte della lega di argento e rame, oppure sia presente come elemento di alterazione superficiale. Si è deciso, quindi, di procedere attraverso un'osservazione mediante microscopio metallografico, al fine di capire la struttura della lega in questione.

Poiché questo campione si presentava mancante di quasi metà del suo corpo, si è deciso di effettuare una lucidatura direttamente sulla superficie del nominale. Dopo l'adeguata lucidatura, avvenuta presso il Laboratorio di Metallurgia del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, è stato possibile osservare e identificare i parametri microstrutturali, correlabili alle tecnologie di produzione e di lavorazione di tale moneta.

L'osservazione microstrutturale della zona lucidata ha permesso di evidenziare, anche in assenza di attacco chimico, una microstruttura dendritiva ben visibile nella Figura 5.3a. In Figura 5.3b vengono riportate alcune cavità di ritiro molto evidenti già a basso ingrandimento, prodotte durante

la fase di solidificazione del metallo.

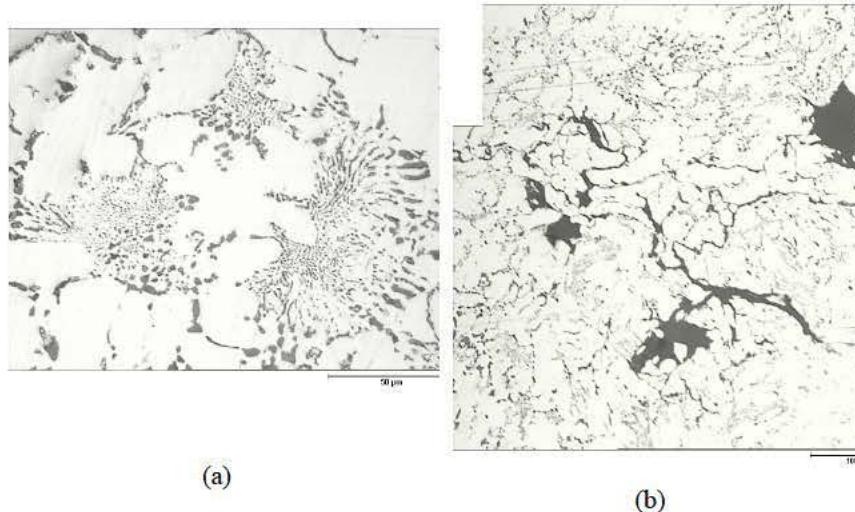


Figura 5.3: (a) micrografia struttura eutettico (500x); (b) micrografia cavità di ritiro (50x).

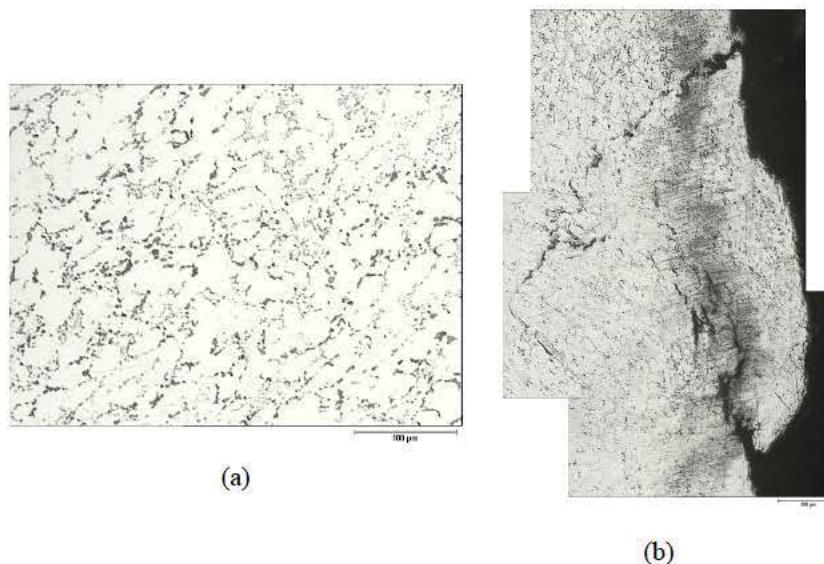


Figura 5.4: (a) micrografia elementi scuri tra l'eutettico (50x); (b) micrografia corrosione 100x.

La Figura 5.5, è rappresentativa di una zona della moneta in cui compare una tipica deformazione allungata, indotta dalle operazioni di battitura durante il processo di coniatura, che hanno provocato la distorsione della struttura. Essa, infatti, appare appiattita e allungata lungo una direzione preferenziale a causa dell'imprimitura dell'iconografia del nominale mediante battitura.

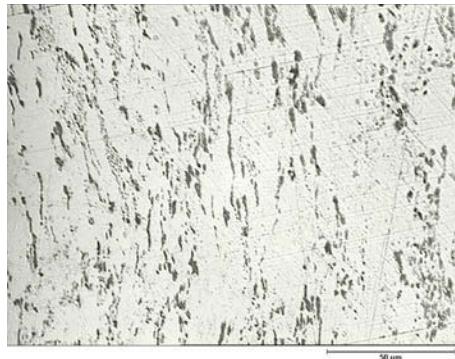


Figura 5.5: Micrografia deformazione (500x).

Per comprendere la reale composizione della lega e per far luce sulla presenza o meno del bromo in essa, è stata eseguita un'analisi qualitativa al microscopio elettronico (SEM) dotato di una microsonda EDS, attualmente collocato presso il Centro di Corrosione “A.Daccò” di Ferrara. Mediante microanalisi EDS, effettuata in molti punti dell'area lucidata, è stato possibile constatare che il campione è costituito da una lega di argento e rame.

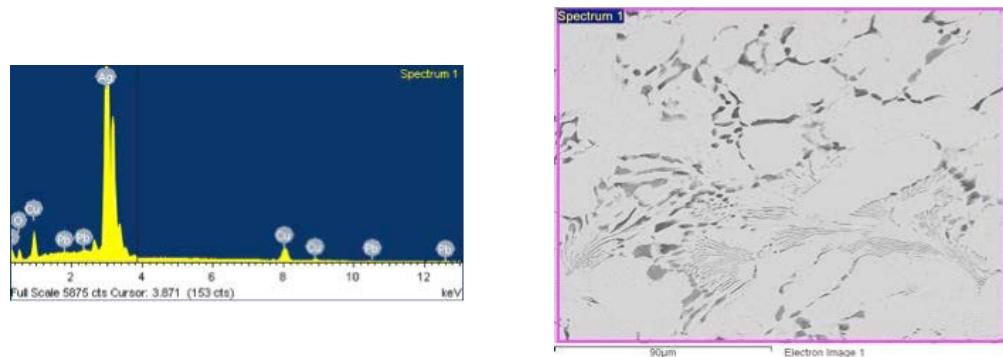


Figura 5.6: spettro EDS di un'area della moneta 1 e relativa area dello spettro.

La Figura 5.6 è rappresentativa dell'analisi EDS effettuata sulla lega e del rispettivo spettro, che evidenzia la sola presenza di argento, rame e piccole percentuali di piombo.

La Figura 5.7 riporta, inoltre, il risultato dell'analisi puntale e il corrispettivo spettro EDS, rafforzando il risultato appena descritto in Figura 5.6 in merito alla composizione della lega della moneta 1.

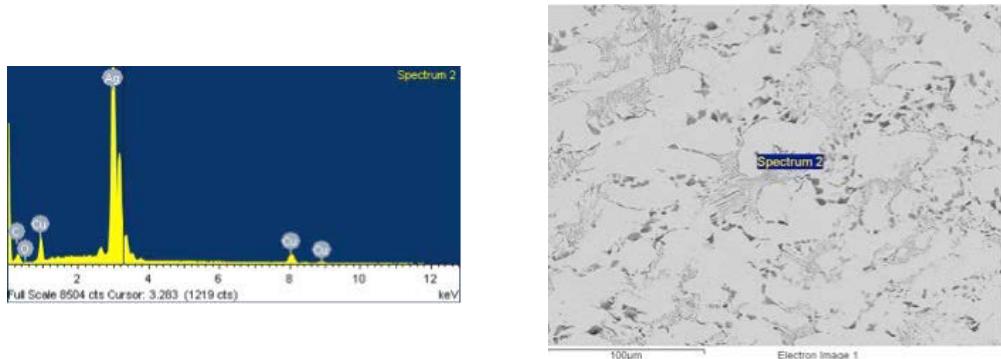


Figura 5.7: spettro EDS puntuale della moneta 1 e relativa area dello spettro.

Grazie a questa indagine, si è in grado di escludere la possibilità che il bromo sia presente all'interno della lega, poiché in tutti i punti in cui è avvenuta l'analisi tale elemento non è presente. E' quindi ipotizzabile che il bromo sia presente sulla superficie della moneta, come elemento di alterazione, dovuto all'interazione con l'ambiente di seppellimento.

L'area di ritrovamento delle monete rientra, infatti, in un contesto geologico e idrografico molto particolare. Il fiume Secchia, che nasce nell'Appennino tosco-emiliano e che oggi sfocia nel Po, nella zona lombarda a est di S. Benedetto del Po, subì in passato molte variazioni nel suo corso. Si ritiene, infatti, che in epoca romana il suo corso facesse una piega verso est scorrendo tra Gavello e Burana, dove si gettava nel fiume Bondeno (ramo del Po oggi non più esistente) e da questo nel ramo principale del Po e che con dei lavori protrattisi tra il 1288 e il 1360 sia stato costretto nell'attuale alveo.

Consultando le Relazioni sullo stato dell'ambiente redatte dall'Ente Regione Emilia-Romagna, si è osservato che la zona in cui sono state rinvenute le monete rientra, in maniera periferica, in una area molto più vasta interessata dalla presenza di acque salmastre che ha i suoi massimi nella bassa pianura modenese.

Queste caratteristiche presenti nella zona sono dovute alla struttura profonda che viene definita "Dorsale Ferrarese" che si è creato nel tardo terziario a causa di spinte tangenziali da est a ovest, provocate per l'innalzamento delle Alpi ed Appennini.

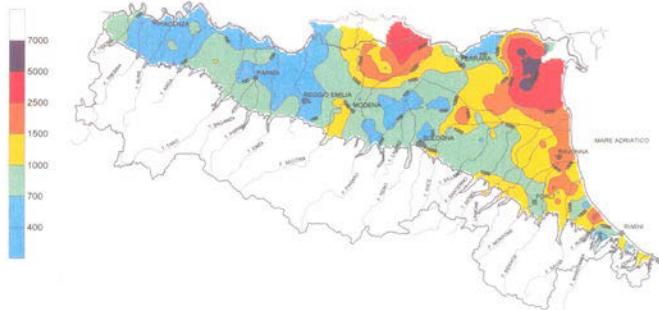


Figura 5.8: Conducibilità elettrica specifica.

Queste acque sotterranee presentano un contenuto di sali minerali e di conseguenza una conducibilità elettrica specifica, ossia l'attitudine di un materiale a lasciar passare le cariche elettriche, piuttosto elevata (1000-2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

La presenza del bromo come elemento superficiale è dovuta alle caratteristiche delle acque sotterranee ed emergenti presenti nella zona, in quanto il primo acquifero a falda libera è contaminato da contributi profondi di acque selenitiche dovute a litologie della serie gessoso-solfifera. Tale serie geologica è caratterizzata da sedimenti evaporitici di età miocenica superiore; in modo particolare si riscontrano depositi di gesso, di calcari solfiferi, di sal gemma e di altri sali.

Queste litologie hanno avuto origine da un evento tettonico che, durante il Messiniano (6-5 milioni di anni fa), ha interrotto i contatti tra l'Oceano Atlantico e il Mar Mediterraneo. Ciò ha comportato un aumento della salinità del Mar Mediterraneo e una tendenza al prosciugamento. Successivamente nel corso del Pliocene (5 milioni di anni fa), sempre per un evento tettonico, lo Stretto di Gibilterra si riaprì e i sedimenti di mare profondo ricoprirono quelli evaporitici che, ancora oggi, si riscontrano al di sotto della Pianura Padana e in prossimità di Alpi ed Appennini.

Il bromo è uno degli alogenini del settimo gruppo della tavola periodica degli elementi ed è caratterizzato da un'elevata reattività verso i metalli e da un comportamento fortemente ossidante in presenza di acqua, a causa della quale tende a trasformarsi in ione bromuro. La grande affinità che ha con i metalli, fa sì che l'elemento non venga lisciviato, ma sia bloccato in composti con essi; in modo particolare con l'argento si vengono a creare generalmente fasi mineralogiche di Bromargirite ( $\text{AgBr}$ ). Date queste considerazioni, è quindi possibile supporre che il bromo si trovi su questa moneta come elemento di alterazione superficiale associato all'argento.

Per stabile se tale ipotesi è corretta, la moneta 1 è stata analizzata nuovamente al SEM in una zona non lucidata, al fine di comprendere se il bromo sia presente sul nominale come elemento di alterazione superficiale.

L'indagine evidenzia, in tutti i punti analizzati, la presenza del picco del bromo; è quindi possibile

stabilire che tale elemento sia presente come alterazione superficiale associato all'argento (Figura 5.9).

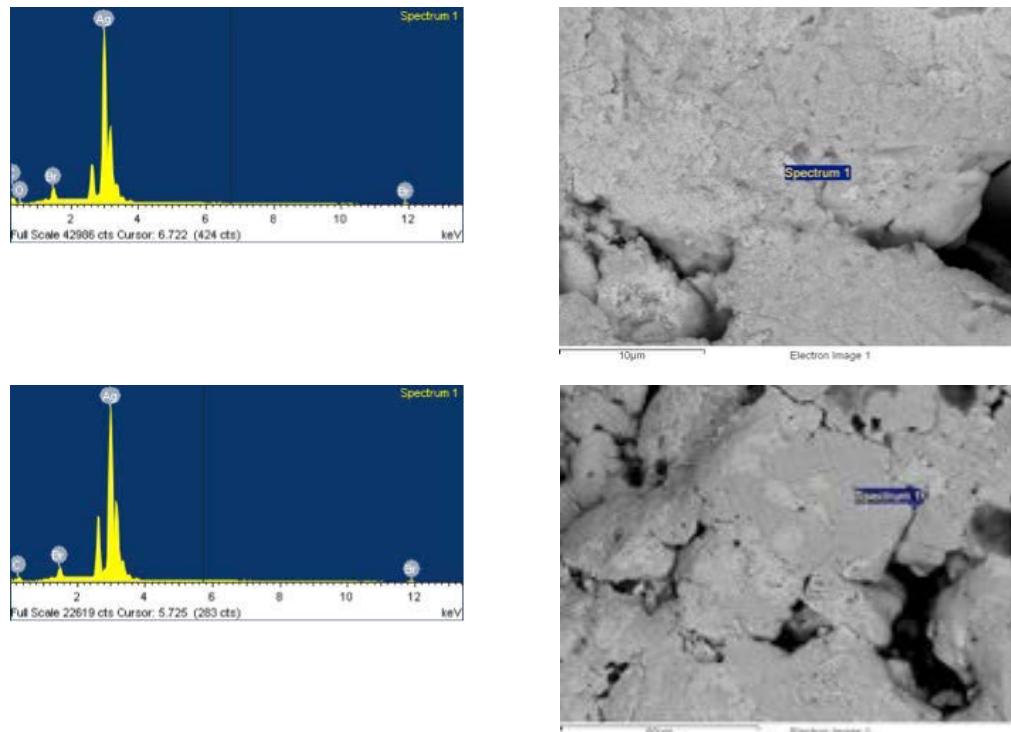


Figura 5.9: spettri EDS puntuali della moneta 1 e relative aree dello spettro (prodotti di corrosione).

La Figura 5.10 è rappresentativa della morfologia della struttura della lega metallica della moneta 1, osservata al SEM sfruttando sia gli elettroni secondari (lato sinistro dell'immagine), sia gli elettroni back-scattered.

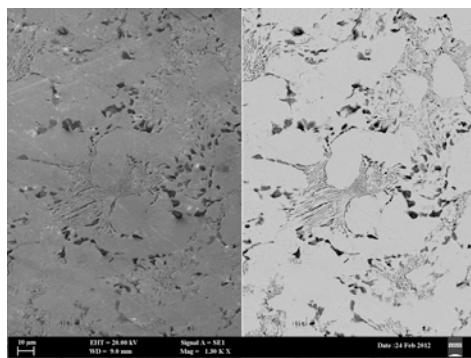


Figura 5.10: Immagini al SEM della struttura della lega (SE e BSD).

### 5.3 Moneta 2

L'indagine tramite fluorescenza di raggi X (XRF) della moneta 2 è avvenuta solo in un punto del *recto*, in quanto il nominale presentava una patina di alterazione omogenea sulla totalità della superficie di entrambe le facce del campione.



Figura 5.11: (a) punto di analisi sul *recto*; (b) particolare della superficie.

Lo studio dello spettro XRF ha evidenziato la presenza di picchi caratteristici e corrispondenti al rame, al ferro e al piombo (Figura 5.12).

In letteratura non sono presenti molte informazioni riguardanti l'esistenza di una lega costituita di rame e ferro, ma sono state riscontrate pubblicazioni che affermano che già dalla preistoria il contenuto di ferro poteva venire occasionalmente e deliberatamente inserito nella lega, in una percentuale variabile tra il 30% e il 50%, principalmente per la coniatura di monete. (P.T.Craddock *et al.*, 1987)

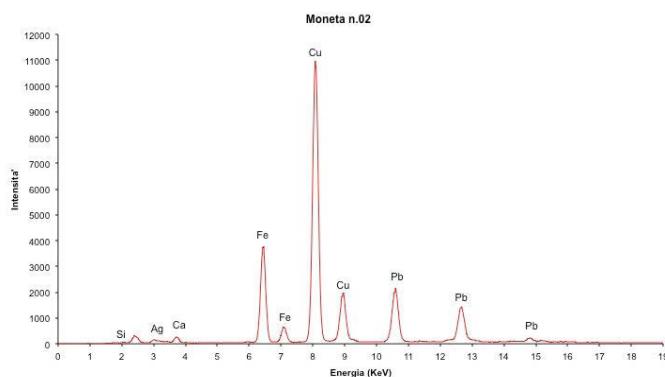


Figura 5.12: Spettro XRF della moneta 2.

Queste leghe non hanno un parallelo moderno, di conseguenza uno studio approfondito delle loro caratteristiche petrografiche e metallurgiche e dei metodi di produzione permetterà di ampliare le conoscenze riguardo le antiche tecnologie di fabbricazione.

Per tali ragioni, si è deciso di proseguire l'indagine mediante l'osservazione al microscopio ottico (OM) di un frammento asportato da una zona irregolare del contorno della moneta. La porzione prelevata è quindi stata inglobata in resina termoindurente conduttriva e successivamente è stata levigata e lucidata, al fine di ottenere un campione piatto ed esente da graffi e scalfiture. Le micrografie realizzate sono state ottenute sottoponendo il campione ad osservazione prima e dopo attacco metallografico con  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HCl}$  e etanolo. Questa indagine ha permesso di ottenere informazioni riguardo le caratteristiche microstrutturali del campione, correlabili alle tecnologie di produzione e di lavorazione dell'epoca; è inoltre possibile osservare le inclusioni non metalliche riconducibili al processo estrattivo.

Dall'osservazione del campione prima dell'attacco è stato possibile evidenziare alcune caratteristiche della lega. In Figura 5.13 sono riportati alcuni esempi di cavità da ritiro, anche di dimensioni elevate, formatisi in fase di solidificazione della lega.

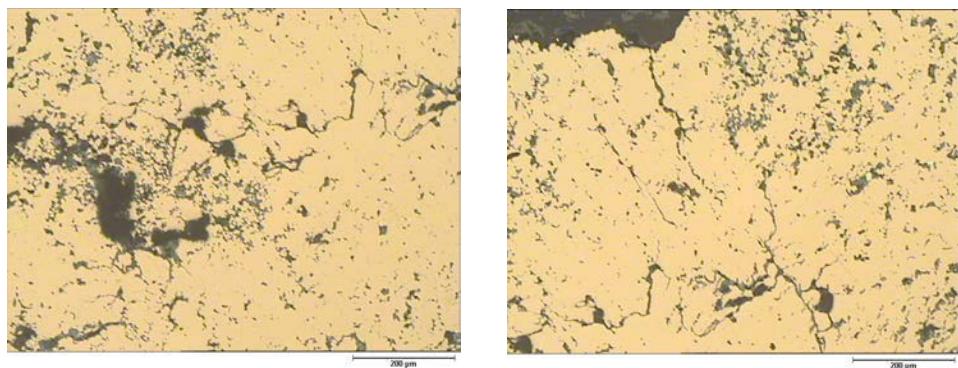


Figura 5.13: micrografie delle cavità da ritiro della moneta 2 (100x).

La Figura 5.14 è rappresentativa del processo di corrosione in atto, che dalla superficie esterna si propaga verso il cuore del campione.

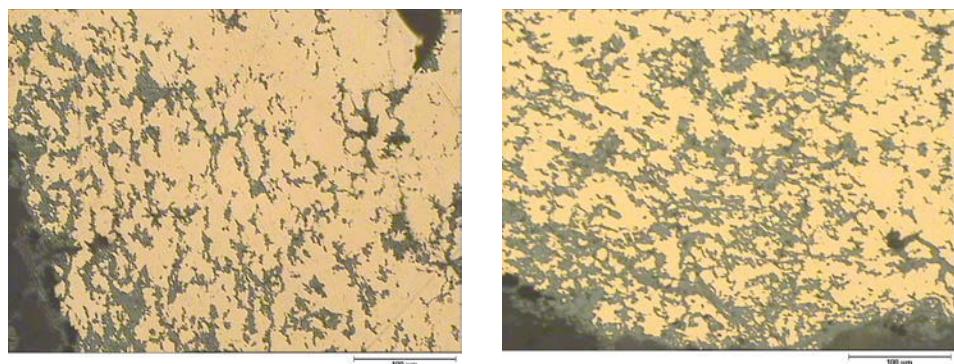


Figura 5.14: Micrografie rappresentative del processo di corrosione della moneta 2 (50x).

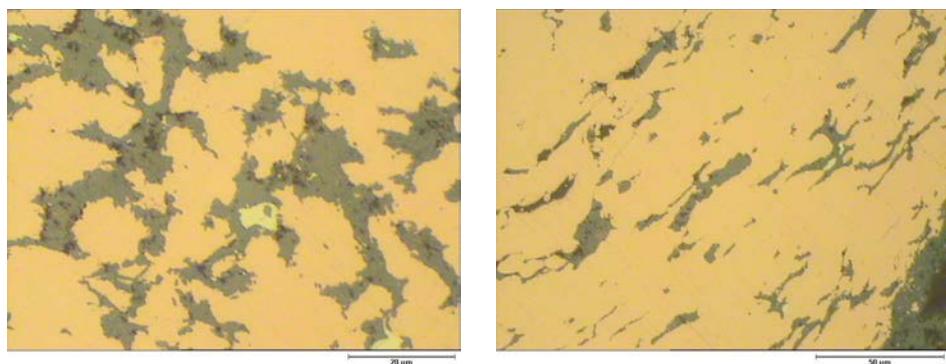


Figura 5.15: Micrografie rappresentative di inclusioni e del processo di corrosione della moneta 2 (500x).

La Figura 5.15 evidenzia i prodotti di corrosione ad ingrandimenti maggiori (di colore grigio), mettendo in luce, inoltre, la presenza di inclusioni di colorazione scura, quasi nera.

Il campione è poi stato attaccato con un reattivo metallografico composto da  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HCl}$  e etanolo, grazie al quale è stato possibile evidenziare la microstruttura della lega.

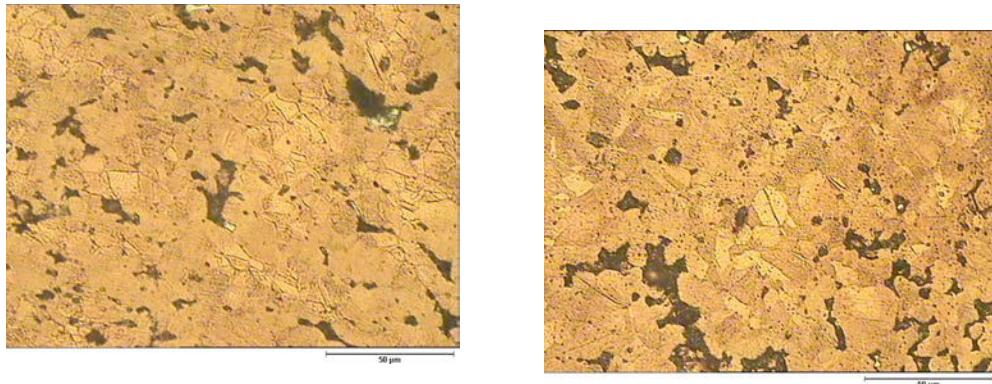


Figura 5.16: Microografie microstruttura dopo l'attacco chimico (500x).

La Figura 5.16 è rappresentativa di una struttura tipica ottenuta mediante cicli ripetuti di riscaldamento e raffreddamento: i tondelli, infatti, venivano riscaldati al fine di ottenere un prodotto malleabile che fosse adatto all'impressione delle immagini dei punzoni mediante battitura. Una struttura di questo tipo, che presenta grani ben definiti e geminati di ricottura, è tipica di un susseguirsi di cicli di raffreddamento e di riscaldamento finalizzati e ridurre la fragilità indotta dalla battitura. (P. Valério *et al.*, 2010) Tale ipotesi evidenzia come le conoscenze dell'epoca in merito alle leghe metalliche e alle problematiche di usura fossero già molto avanzate.

#### 5.4 Moneta 3

Questo nominale presenta, su entrambe le facce, uno spesso strato di prodotti di alterazione che è stato analizzato, mediante fluorescenza di raggi X (XRF), in tutte le zone che presentavano cromie differenti.



Figura 5.17a e b: Punti di analisi del *recto* e del *verso* della moneta 3.

Gli spettri evidenziano risultati simili per tutti i punti di analisi: i picchi che compaiono maggiormente sono quelli del rame, del ferro e del piombo (Figura 5.18).

Oltre ad essi, compaiono calcio e silicio, dovuti probabilmente all'interazione del campione con il suolo; oltre ad un picco di zolfo, elemento presente a causa dall'interazione con l'acqua di falda.

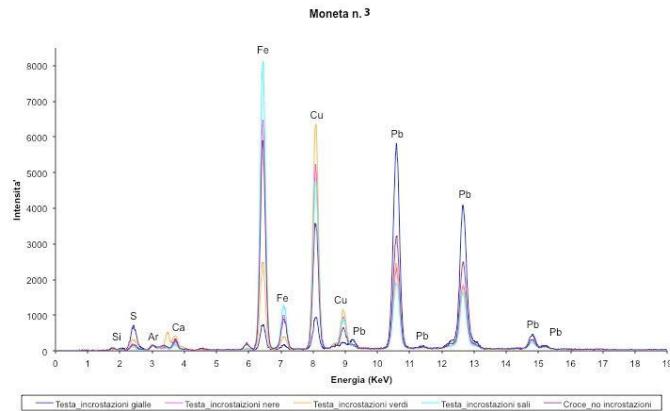


Figura 5.18: Spettro XRF della moneta 3.

Non è stato possibile effettuare su questo campione un'osservazione metallografica poiché presenta un perimetro regolare e uno spessore maggiore rispetto agli altri nominali, per cui non è stato possibile estrarre un frammento dalla moneta.

L'analisi al SEM è avvenuta per comprendere la morfologia e la composizione dei prodotti di alterazione superficiale (Figura 5.19).

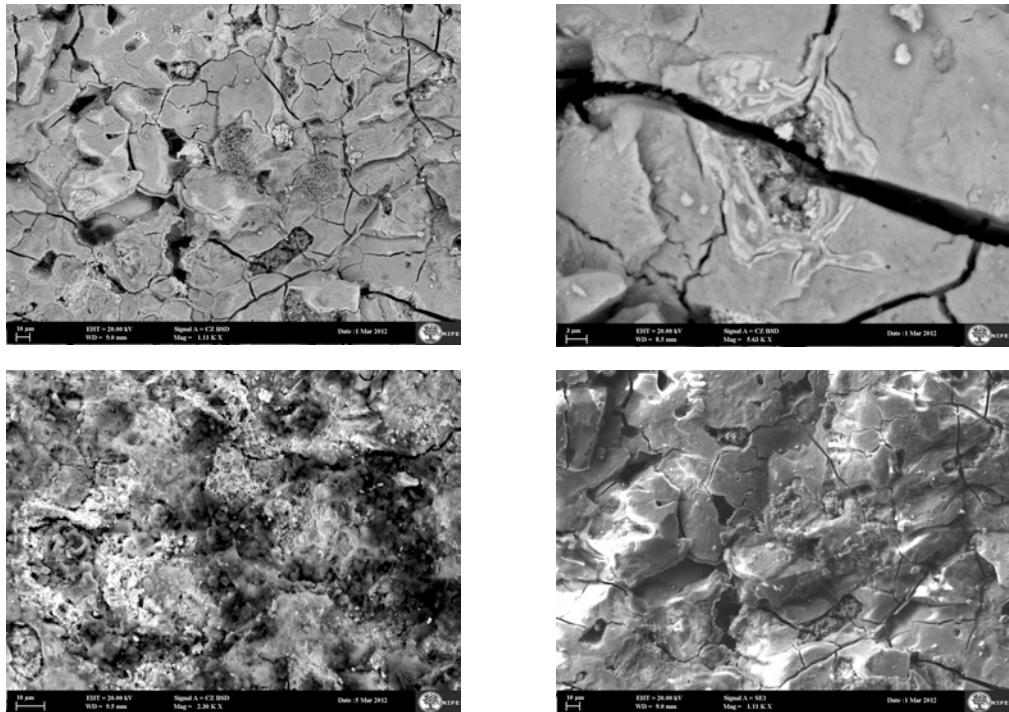


Figura 5.19: Immagini al SEM della morfologia dei prodotti di alterazione (moneta 3).

La microanalisi EDS è stata eseguita in diverse zone, poiché già ad occhio nudo è stato possibile osservare zone a cromie differenti; di conseguenza le indagini sono avvenute in diversi punti.

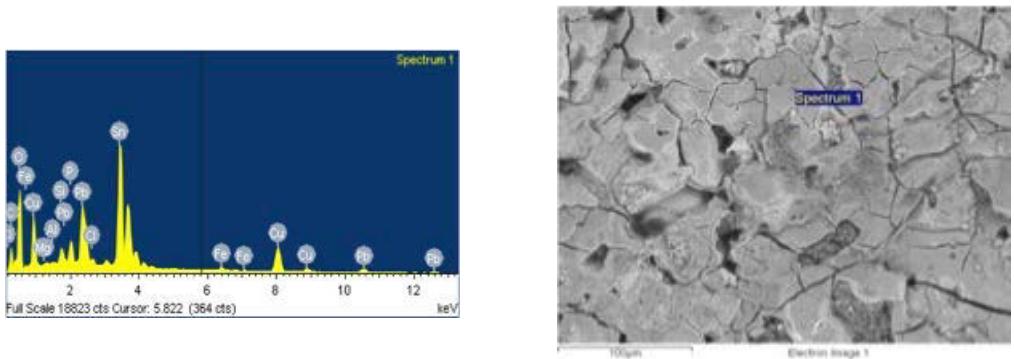


Figura 5.20: spettro EDS puntuale della moneta 3 e area di indagine .

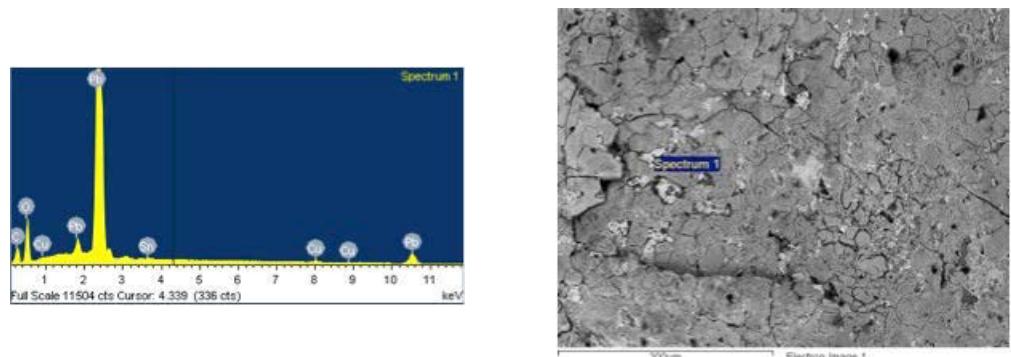


Figura 5.21: spettro EDS puntuale della moneta 3 e area di indagine.

Attraverso la microanalisi EDS è stato possibile evidenziare per quasi tutti i punti di indagine la presenza di rame, stagno e piombo (Figura 5.20 e 5.21).

E' quindi possibile supporre che il nominale sia composto da una lega in bronzo con aggiunta di piombo, cioè una lega mista molto comune in antichità per la coniatura di monete.

La possibilità che l'XRF non ha dato gli stessi risultati della microanalisi è dovuto al fatto che la fluorescenza a raggi X è un'indagine superficiale, che viene eseguita utilizzando energie molto basse che non permettono la penetrazione del fascio in profondità; di conseguenza è probabile che i raggi X non siano riusciti a superare lo strato di prodotti superficiali presenti e abbia dato risultati solo in merito a questi.

## 5.5 Moneta 4

Dopo l'osservazione di entrambe le facce di questo campione, si è deciso di procedere con l'analisi XRF in un solo punto, poiché la superficie presenta uno strato di alterazione di colore rossastro molto uniforme.

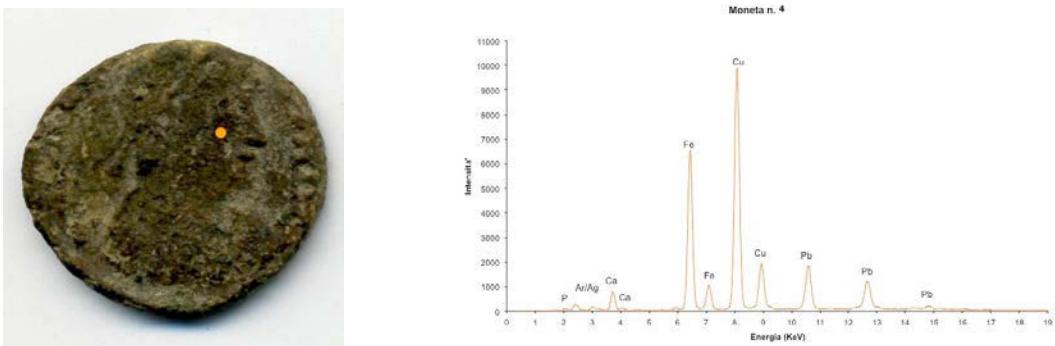


Figura 5.22: (a) punto di analisi; (b) spettro XRF della moneta 4.

Come per la moneta 2, anche questo spettro evidenzia picchi molto intensi per il rame, il ferro e il piombo. Come già detto precedentemente, alcune pubblicazioni affermano che, in passato, veniva deliberatamente unita al rame una percentuale variabile (30-50%) di ferro e che tale lega era principalmente utilizzata per coniare le monete di basso valore.

È, inoltre, presente una quantità minima di calcio, dovuta molto probabilmente all'interazione del campione stesso con il terreno in cui è stato seppellito per molti secoli.

Per ottenere il maggior numero d'informazioni su questo campione, per tentare di caratterizzarne la composizione e conoscerne i prodotti di corrosione superficiale, si è deciso di procedere con un'indagine tramite microscopio elettronico a scansione (SEM).

Attraverso la microanalisi EDS è stato possibile definire in modo qualitativo, la presenza di elementi provenienti da fenomeni corrosivi di interazione con il suolo come il calcio, il magnesio, il potassio, l'alluminio, il piombo, il silicio e l'alluminio.

Gli elementi che costituiscono la lega non sono individuabili negli spettri, anche se l'indagine è avvenuta in più punti per tentare di ottenere alcune informazioni anche in merito a questo; ciò è dovuto, probabilmente, alla patina che ricopre la superficie non permettendo di ottenere ulteriori informazioni dall'analisi.

Di seguito vengono riportati due spettri EDS rappresentativi della moneta, che evidenziano la presenza degli stessi elementi, anche se le zone di indagine presentavano cromie differenti (Figura 5.23).

La moneta in questione si presenta integra e sono ancora ben visibili le immagini impresse su entrambe le facce; la necessità di non essere invasivi a rischio di perdere informazioni utili per un futuro studio iconografico approfondito, non ci hanno permesso di prelevare una porzione del nominale per poter studiare tale lega mediante osservazione al microscopio metallurgico.

Tale indagine è, infatti, sicuramente la migliore per poter comprendere le caratteristiche metallurgiche della lega, ma non è indicata se richiede un'invasività troppo evidente.

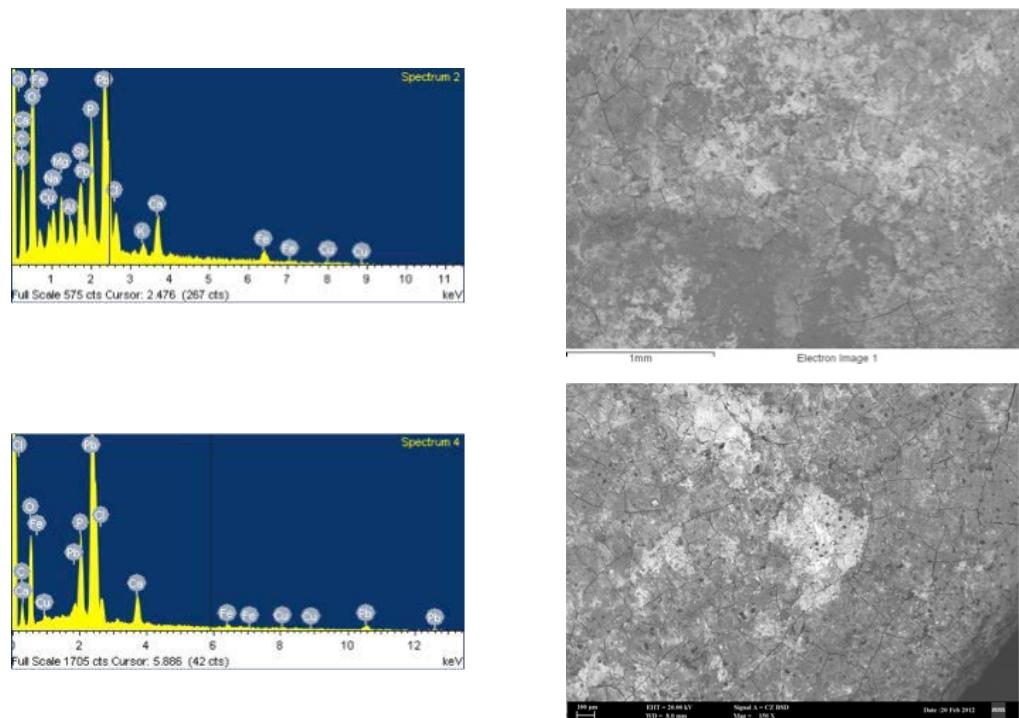


Figura 5.23: spettro EDS della moneta 4 e relativa area dello spettro.

## 5.6 Moneta 5

Per questa moneta sono state effettuate tre indagini mediante fluorescenza di raggi X (XRF), uno sul *recto* e due sul *verso*, in quanto il lato in cui figura la testa di profilo presenta una patina di colore rossastro molto omogenea, mentre sul rovescio del campione si osservano due zone con cromie differenti, una simile a quella appena descritta e l'altra di un colore tendente al verde.



Figura 5.24: Punti di indagine XRF sul *recto* e sul *verso* e particolare incrostazione verde.

Gli spettri XRF ottenuti evidenziano che la patina di colore rossastro è caratterizzata da un picco molto intenso del rame; la stessa situazione si riscontra nel *verso*, dove i due punti di analisi, anche se di cromie molto diverse, evidenziano comunque una composizione prevalentemente di rame.

In Età Imperiale, infatti, il principale utilizzo del rame è stato proprio per la monetazione; durante il periodo di declino dell'impero romano, invece, tale metallo era utilizzato solo per la coniatura dei nominali di basso valore, come l'*asse* e il *quadrante*.

Nello spettro di Figura 5.25 si può osservare un picco del ferro di scarsa intensità, associato, probabilmente, alla contaminazione dello strato superficiale dovuta alla condizione di sotterraneo; inoltre, nella zona più a sinistra compare un picco di Ar/Ag che è dovuto ad un errore della strumentazione utilizzata e non alla composizione del nominale.

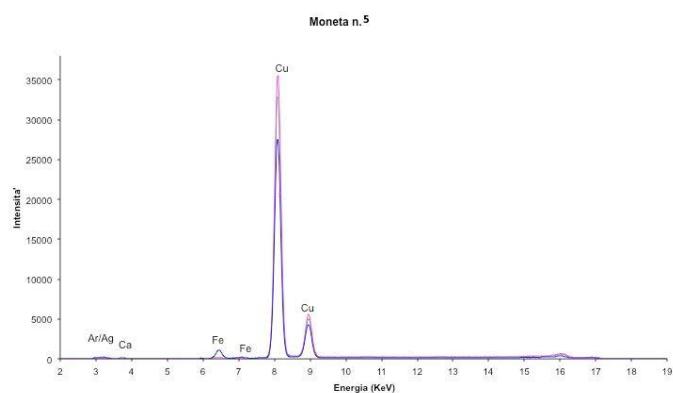


Figura 5.25: Spettro XRF della moneta 5.

L'analisi è proseguita al fine di comprendere più chiaramente le caratteristiche metallografiche e petrografiche di questa moneta. L'impossibilità di estrarre un frammento dalla superficie del nominale, non ha permesso di eseguire un'indagine metallografica della struttura della lega. Infatti,

dopo un'attenta osservazione, si è deciso di evitare di effettuare un prelievo poiché questo campione presentava uno stato avanzato di degrado e un'elevata fragilità della superficie.

Il campione è stato quindi portato al Centro di Corrosione “A. Daccò” di Ferrara per essere analizzato mediante microscopio elettronico (SEM). Grazie a questa tecnica è stato possibile comprendere meglio la morfologia e la composizione dei prodotti di alterazione superficiale, ma non si sono ottenute informazioni in merito alle caratteristiche della lega a causa della spessa patina di degrado che ricopre completamente la superficie.

In Figura 5.26 vengono riportate alcune immagini ottenute al SEM che evidenziano le diverse morfologie dei prodotti superficiali riscontrate durante l'analisi.

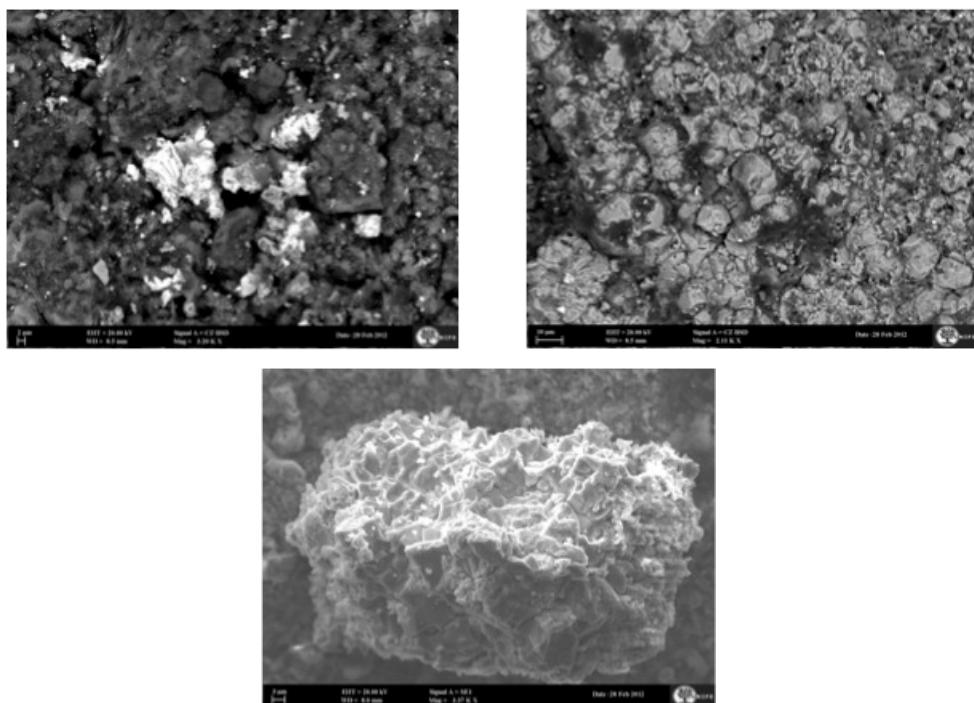


Figura 5.26: Immagini al SEM della morfologia dei prodotti di alterazione (moneta 5).

Anche in questo caso la microanalisi EDS è stata effettuata in diverse aree per ottenere il maggior numero di informazioni in merito ai prodotti di alterazione.

Gli spettri evidenziano picchi elevati in rame e altri meno intensi in stagno e ferro; è quindi ipotizzabile che tale moneta sia stata coniata in una lega di bronzo arricchita di ferro (Figura 5.27). Sono, inoltre, presenti numerosi prodotti di alterazione superficiale, come calcio, potassio, silicio, alluminio e magnesio dovuti all'interazione del campione con il suolo in cui è rimasto sepolto per lungo tempo.

Nello spettro EDS di Figura 5.27 si osserva la presenza di un picco di argento; tale presenza è, ad

oggi, oggetto di ulteriori indagini in quanto è necessario comprendere se compare come elemento di contaminazione (dovuto al contatto in passato con le altre monete della collezione), oppure sia elemento costitutivo della lega metallica.

Per questo motivo, sono state eseguite ulteriori microanalisi EDS in diverse zone del nominale, al fine di comprendere se l'argento compaia solo in diverse aree della superficie. Uno degli spettri EDS risultanti è riportato in Figura 5.28 ed evidenzia che il picco dell'argento è presente, anche se con modesta intensità, in altre zone della superficie. Non è quindi da escludere la possibilità che questa moneta abbia subito un'argentatura superficiale.

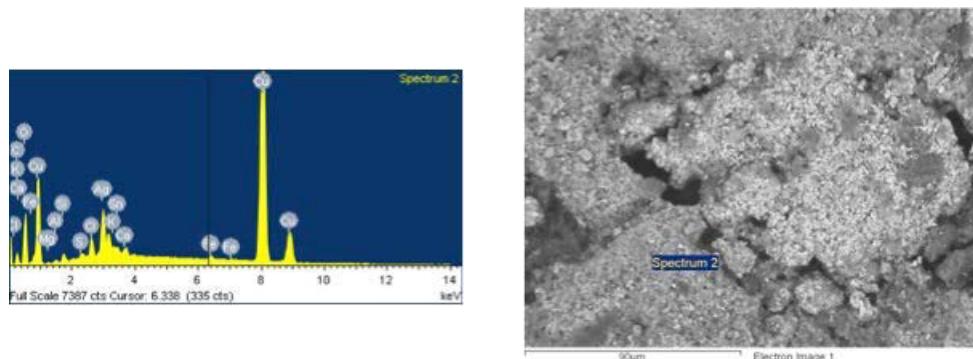


Figura 5.27: spettro EDS della moneta 5 e relativa area dello spettro.

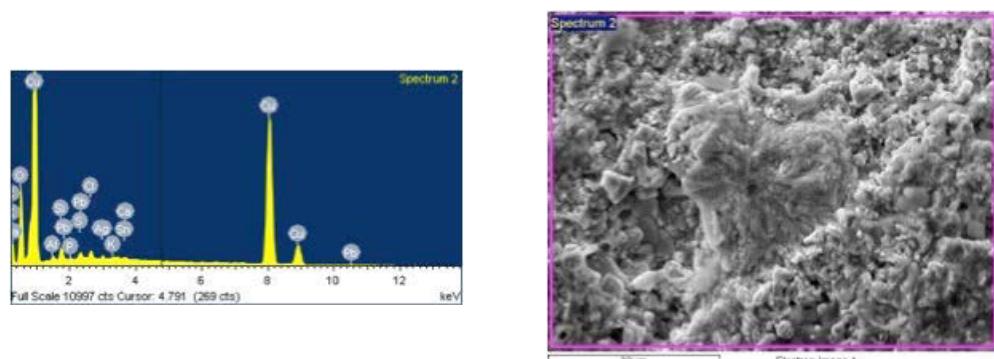


Figura 5.28: spettro EDS della moneta 5 e relativa area dello spettro.

## 5.7 Moneta 6

Sulla moneta 6 è stato scelto solo un punto di analisi per ciascun lato in cui eseguire l'indagine XRF. Entrambe le facce del nominale presentano, infatti, zone a cromie più scure ed altre più chiare, tendenti al giallo, in particolare sul *verso* che è quasi completamente ricoperto da tale patina.



Figura 5.29: Punti del *recto* e del *verso* in cui è avvenuta l’analisi XRF.

Anche in questo caso, i risultati ottenuti dall’indagine XRF hanno evidenziato la presenza di picchi di rame, ferro e piombo (Figura 5.30). Si osserva, inoltre, la presenza di picchi di minore intensità di calcio, dovuti all’interazione del campione con l’ambiente in cui è rimasto sepolto per molti secoli.

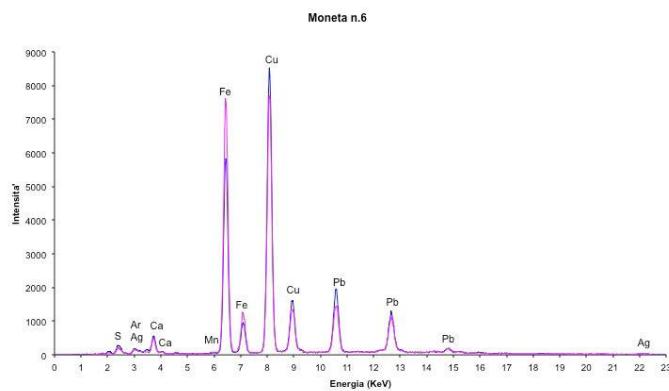


Figura 5.30: Spettro XRF della moneta 6.

I risultati ottenuti tramite XRF permettono di ipotizzare che anche questa moneta, come la 2 e la 4, sia costituita da una lega di rame e ferro: tale lega veniva spesso utilizzata nel passato per la coniatura di monete di basso valore commerciale; mentre il piombo poteva essere presente nel minerale poi utilizzato per la produzione di nominale insieme al rame, oppure può essere stato scambiato, come spesso accadeva nell’antichità, per stagno.

Il nominale studiato presenta una mancanza nella zona superiore del contorno, che ha permesso di estrarre un frammento delle dimensioni di qualche mm, mediante l’utilizzo di strumentazione specifica.

In seguito, il frammento è stato inglobato in resina ed è stato levigato e lucidato per essere osservato e studiato mediante microscopio metallografico (OM), al fine di ottenere maggiori informazioni sulle caratteristiche della lega. L’analisi strutturale ha permesso di evidenziare, già in assenza di

attacco chimico, alcune informazioni riguardanti la lega stessa.

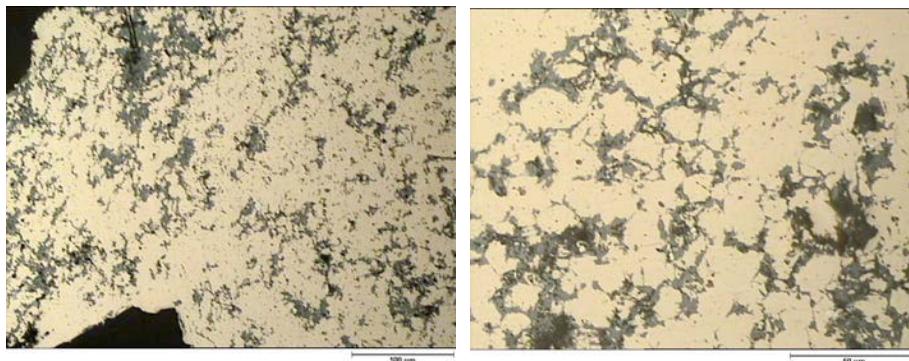


Figura 5.31: struttura frammento della moneta 6 a 50x e 500x.

In Figura 5.32 si osservano aree di colorazione scura rappresentative dei prodotti di corrosione che si trovavano sulla superficie del frammento; mentre la Figura 5.31 evidenzia la presenza di inclusioni e impurità caratteristiche della maggior parte dei metalli antichi.



Figura 5.32: prodotti di corrosione della moneta 6 a 100x.

Il frammento è stato poi sottoposto ad attacco chimico mediante  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HCl}$  ed etanolo; tale soluzione permette di mettere in risalto le caratteristiche della struttura della lega, che risulta essere molto simile a quella della moneta 2.

In questo caso la struttura è meno visibile a causa dei prodotti di corrosione presenti su quasi tutta la superficie del frammento che hanno reso difficoltoso l'attacco chimico e il conseguente studio della microstruttura.

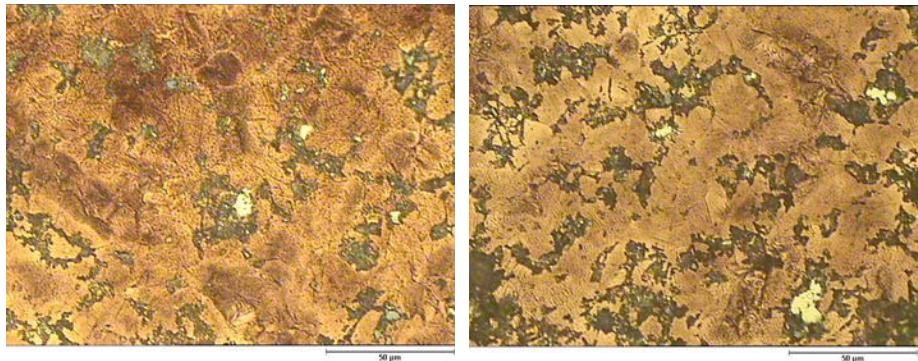


Figura 5.33: Micrografie microstruttura dopo l'attacco chimico (500x).

In letteratura, (P. Valério *et al.*, 2010) si sono osservate delle similitudini tra le strutture delle monete oggetto di studio e quelle presenti nel nominale 6. Tale struttura è tipica di un determinato procedimento di coniatura: la moneta, dopo essere stata coniata a caldo, ha probabilmente subito un ulteriore procedimento di riscaldamento al fine di ridurre la fragilità indotta dalla battitura. Perciò, si deduce che già in antichità le problematiche riguardo all'usura erano già ben note.

I risultati ottenuti al microscopio ottico (OM) dopo aver compiuto l'attacco hanno un minor impatto visivo rispetto a quelli ottenuti per la moneta 2, poiché i prodotti di corrosione sono presenti in grande abbondanza e non permettono di ottenere risultati ottimali.

Per comprendere e caratterizzare meglio la composizione di questa lega, il campione è stato analizzato mediante microscopio elettronico a scansione (SEM) presso il Centro di Corrosione “A.Daccò” di Ferrara.

In Figura 5.34 sono riportate alcune immagini ottenute tramite SEM che mostrano le diverse morfologie dei prodotti di corrosione riscontrate sulla superficie del campione.

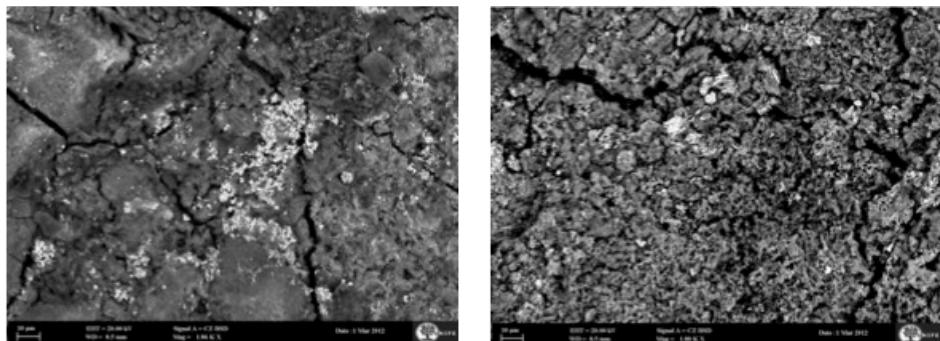


Figura 5.34: Immagini al SEM della morfologia dei prodotti di alterazione (moneta 6).

La microanalisi EDS è stata effettuata in diversi punti e i risultati ottenuti si sono rivelati

interessanti, in quanto è stato possibile stabilire la presenza di rame, stagno oltre che a ferro e argento (Figura 5.35).

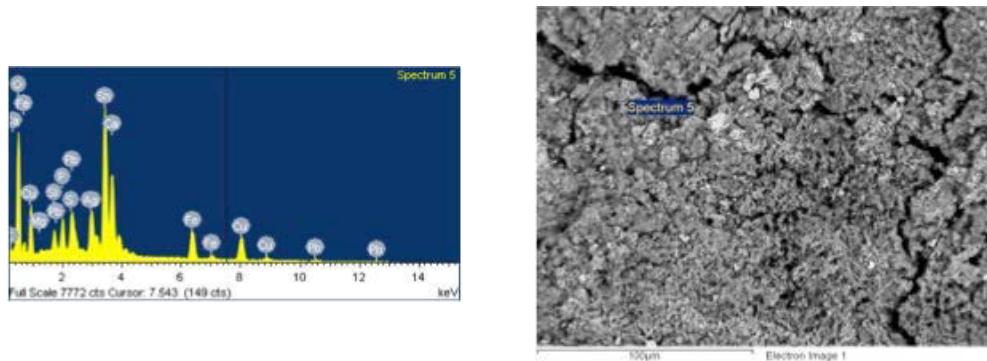


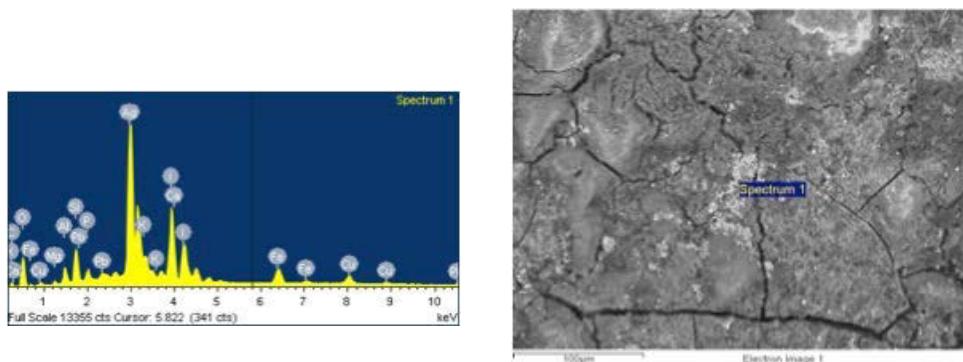
Figura 5.35: spettro EDS della moneta 6 e relativa area dello spettro.

E' quindi possibile ipotizzare che la moneta sia stata coniata in lega di bronzo (rame e stagno); per quanto riguarda la presenza dell'argento è stato necessario procedere con microanalisi EDS in altri punti della superficie, per comprendere se tale elemento fosse presente come elemento di contaminazione dovuto al contatto con le altre monete in tempi passati.

La Figura 5.36 riporta due spettri effettuati in zone differenti della superficie, in cui l'argento, è presente in grande quantità. Compaiono inoltre molti prodotti di alterazione associati ad una probabile contaminazione con gli elementi presenti nel suolo, come lo zolfo e lo iodio.

In particolare, la presenza di iodio è probabilmente dovuta alle particolari caratteristiche del suolo e delle acque di falda della zona di ritrovamento, ricche in bromo, cloro e appunto iodio.

L'argento, che compare in grandi quantità in diverse zone della superficie, è probabilmente correlato ad una possibile argentatura della moneta, tecnica largamente usata durante il Tardo Impero Romano.



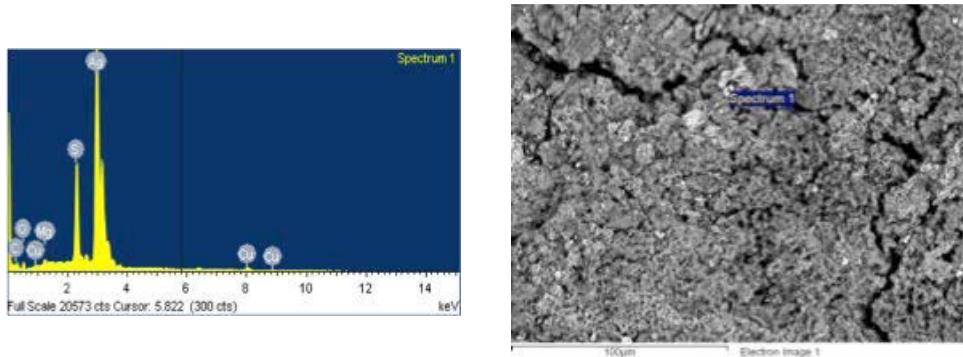


Figura 5.36: spettro EDS della moneta 6 e relativa area dello spettro.

## 5.8 Moneta 7

La moneta 7 presenta, su entrambi i lati del nominale, patine di diverse cromie che ricoprono in maniera uniforme tutta la superficie. In modo particolare, è possibile osservare aree con colorazione tendente al rosso-arancio e altre di un verde intenso.



Figura 5.37: Punti di indagine dell'XRF e particolare della superficie della moneta.

Gli spettri ottenuti tramite fluorescenza di raggi X (XRF) si dimostrano essere molto simili tra loro, nonostante i diversi punti d'indagine (Figura 5.38).

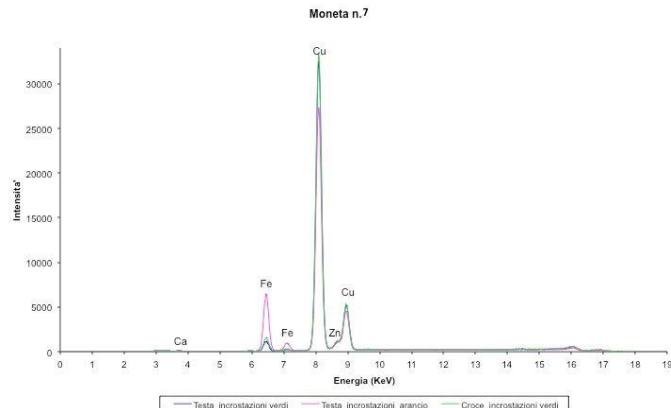


Figura 5.38: Spettro XRF della moneta 7.

La presenza di una patina superficiale così evidente, non permette di conoscere l'effettiva composizione della lega: infatti, oltre al picco molto intenso di rame, compaiono anche picchi di ferro e di zinco, di intensità nettamente inferiore.

Grazie alle ricerche iconografiche effettuate prima di eseguire le analisi, si è osservato che questa moneta presenta delle forti somiglianze con un *dupondio* coniato durante l'impero di Domiziano.

Questa moneta era originariamente coniata in bronzo, ma con la riforma monetaria di Augusto (23 a.C.), venne prodotta in oricalco, ossia in una lega di rame e zinco simile all'ottone e di colore oro; il nome di tale lega deriva da orichalcum o aurichalcum, ossia l'unione delle parole latine aureus (oro) e chalcum (rame) poiché l'oricalco, soprattutto appena coniato, assomigliava all'oro.

Questa ipotetica attribuzione non ha permesso di prelevare un frammento dal perimetro del nominale, in quanto era fondamentale evitare un'eccessiva invasività. Ciò non ha quindi permesso di effettuare un'indagine al microscopio ottico (OM) delle caratteristiche della lega.

Lo studio è quindi proseguito solo in merito ai prodotti di corrosione superficiale attraverso un'approfondita analisi mediante microscopio elettronico a scansione (SEM).

La Figura 5.39 è rappresentativa dei diversi prodotti di corrosione riscontrati sulla superficie e individuabili grazie alle diverse morfologie.

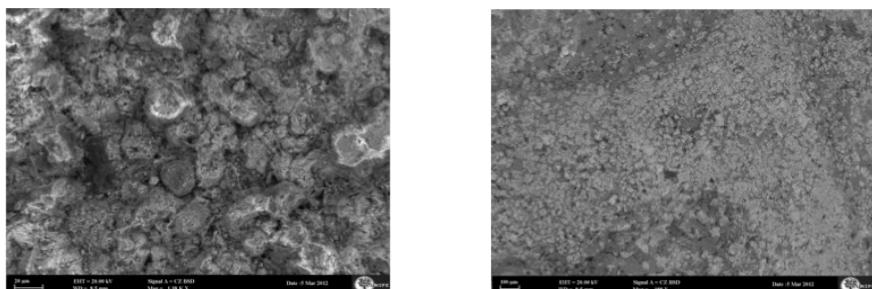


Figura 5.39: Immagini al SEM della morfologia dei prodotti di alterazione (moneta 7).

Tramite microanalisi EDS è stato possibile individuare gli elementi che costituiscono i prodotti di alterazione superficiale; in modo particolare, sono stati rivelati calcio, potassio, alluminio, silicio, sodio e cloro che sono tipici elementi dovuti all'interazione del campione con il suolo e l'acqua di falda (Figura 5.40).

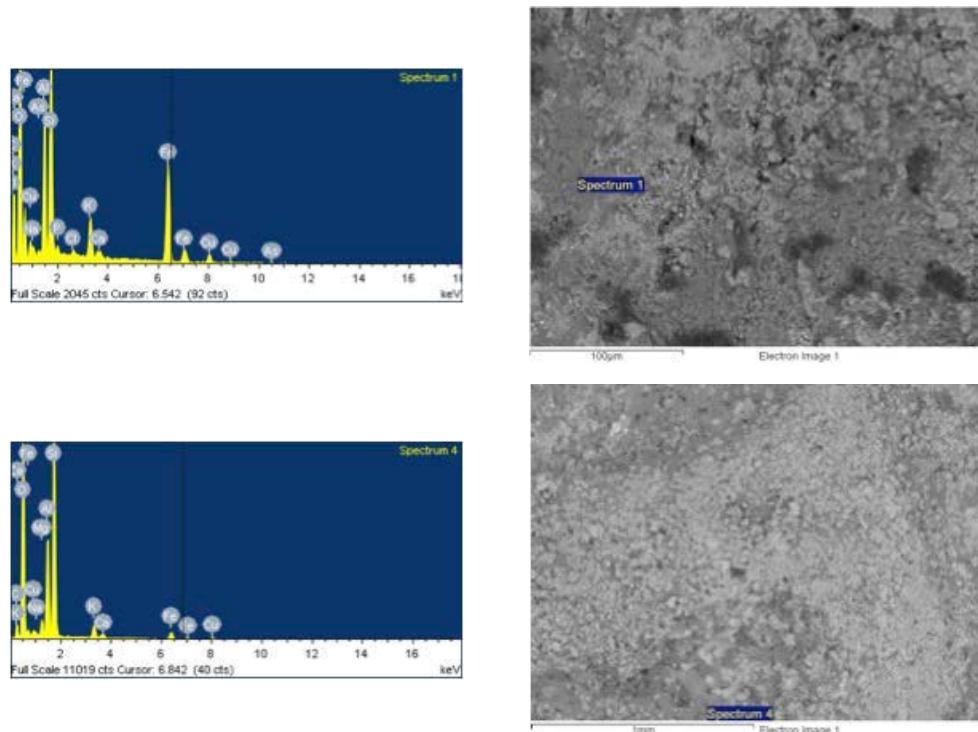


Figura 5.40: spettri EDS della moneta 7 e relative aree dello spettro.

L'analisi EDS non ha fornito informazioni riguardo alla composizione della lega; sarebbe interessante proseguire lo studio in merito alla composizione della lega, dopo aver pulito il campione da tutti i prodotti superficiali mediante lavaggio in ultrasuoni.

## 5.9 Moneta 8

Dopo un'attenta osservazione mediante stereomicroscopio, anche per questa moneta è stato deciso di eseguire tre diversi punti analisi mediante fluorescenza di raggi X: due sul *verso* e uno sul *recto*.



Figura 5.41: Punti dell'indagine XRF (moneta 8).

I risultati degli spettri XRF evidenziano la presenza di picchi in rame, ferro e piombo, associati ad altri di intensità minore, come calcio, silicio e zolfo dovuti probabilmente all'interazione della moneta con l'ambiente di seppellimento (Figura 5.42).

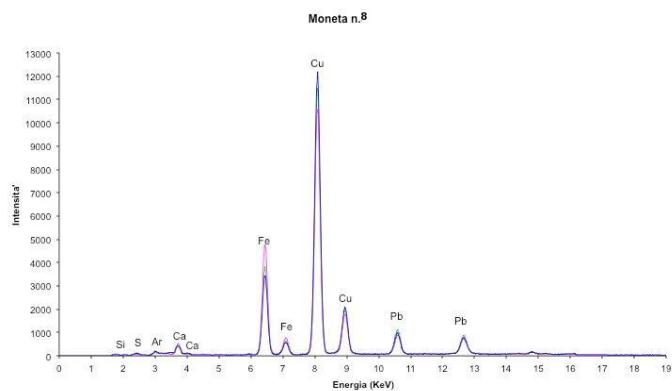


Figura 5.42: Spettro XRF della moneta 8.

Al fine di ottenere maggiori informazioni riguardo alla composizione superficiale di questa moneta, si è deciso di proseguire l'indagine con l'osservazione tramite microscopio elettronico a scansione (SEM).

Mediante l'osservazione al microscopio elettronico (SEM), infatti, sono state riscontrate aree della superficie di colorazione chiara e dalla forma globulare che, grazie a microanalisi EDS, sono rivelate essere costituite in massima parte da argento (Figura 5.43).

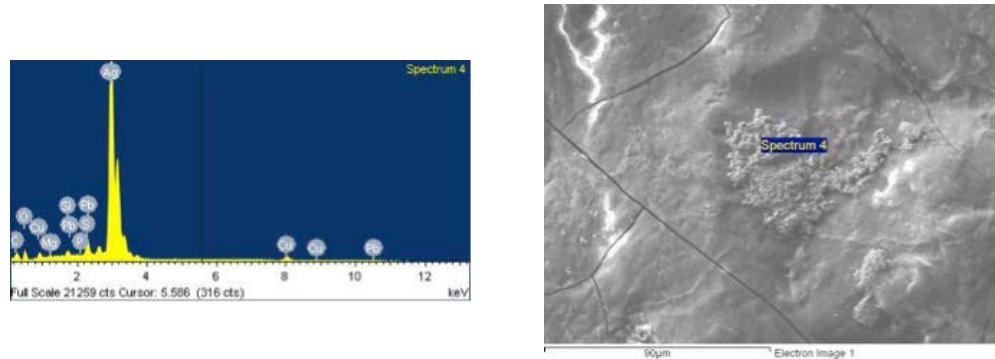


Figura 5.43: spettro EDS e relativa immagine della zona di indagine (moneta 8).

In Figura 5.44 e 5.45 vengono riportati due punti analisi in zone in cui non è presente l'argentatura. Gli spettri EDS ottenuti evidenziano picchi di rame, stagno e piombo e di altri elementi presenti molto probabilmente come impurità superficiali dovute all'interazione del campione con l'ambiente (come silicio, fosforo, zolfo, magnesio e calcio).

La Figura 5.46 è rappresentativa di una delle zone in cui compare l'argentatura superficiale osservata e fotografata mediante elettroni retrodiffusi al microscopio elettronico a scansione.

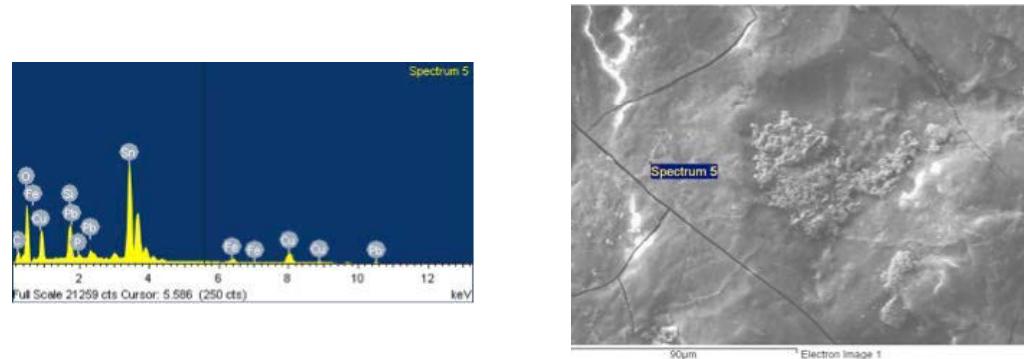


Figura 5.44: Spettro EDS di zona ricca in stagno e relativa immagine del punto di analisi (moneta 8).

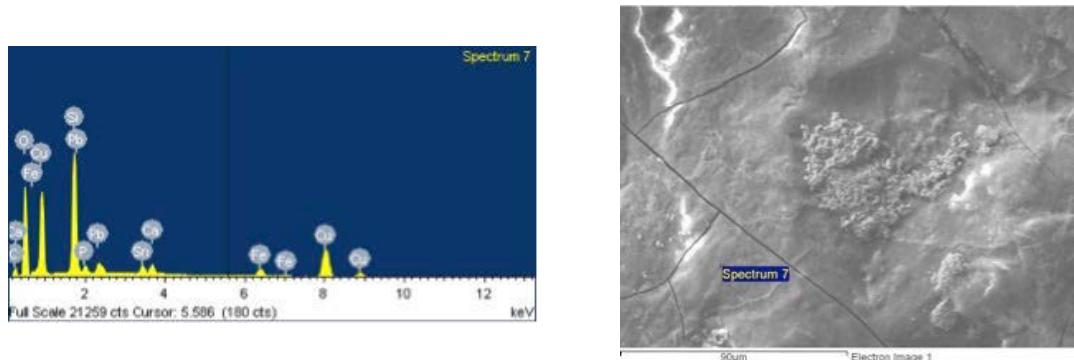


Figura 5.45: Spettro EDS di zona ricca in rame e relativa immagine del punto di analisi (moneta 8).

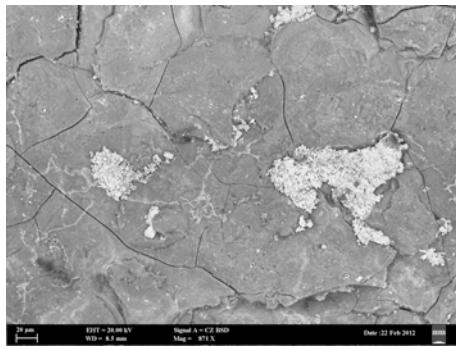


Figura 5.46: Particolare zone argenteate sulla superficie del campione 8.

Grazie alla microanalisi EDS è possibile ipotizzare che tale moneta sia costituita da una lega di bronzo e che, successivamente, abbia subìto un procedimento di argentatura.

Durante il Tardo Impero Romano, in un periodo di grandi difficoltà economiche e politiche, i nominali di argento subirono uno svilimento sempre maggiore, evidentemente allo scopo di economizzare sull'uso dei metalli preziosi. La preoccupazione principale delle autorità era però quella di mantenere inalterata la fiducia del popolo cercando di far apparire le nuove monete simili a quelli precedenti e per questo motivo si fece sempre più ricorso alla tecnica dell'argentatura.

Per esempio il *follis*, specie monetaria per eccellenza della fine del III secolo e i primi decenni del IV secolo d.C., era una moneta in lega di rame con quantità variabili di stagno e piombo, ma era caratterizzato da un arricchimento superficiale in argento, piombo e spesso stagno che lo rendeva all'apparenza simile ad una moneta d'argento.

Per comprendere la natura della lega e la presenza di zone argenteate sulla superficie, è stato prelevato un frammento delle dimensioni di qualche mm; questo è stato inglobato in resina termoindurente, levigato e lucidato per essere poi osservato al microscopio ottico (OM).

Il frammento è stato studiato prima e dopo attacco metallografico mediante  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{HCl}$  e etanolo. La Figura 5.47 riporta due micrografie del frammento prima dell'attacco chimico, in cui sono evidenti impurità ed inclusioni.

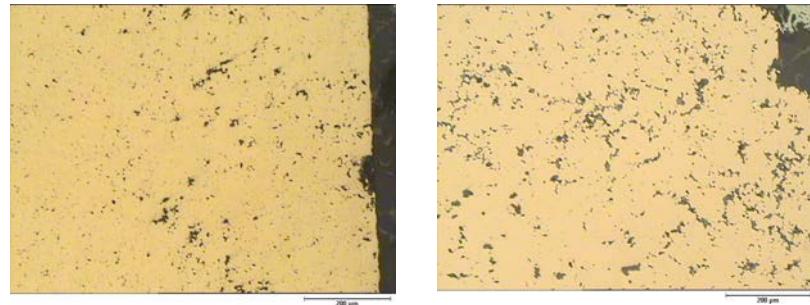


Figura 5.47: micrografie microstruttura moneta 8 (100x).

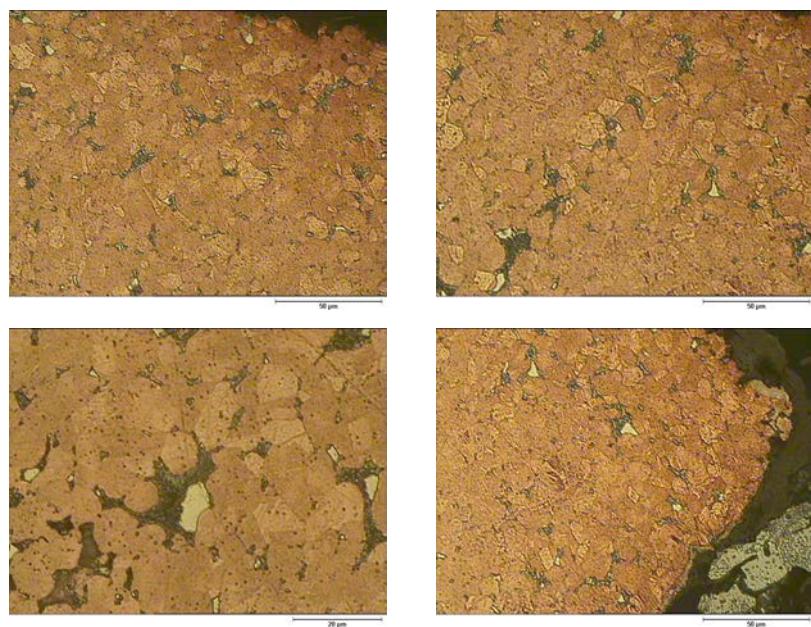


Figura 5.48: Micrografie della microstruttura dopo attacco (500 e 1000x).

Dopo attacco chimico si evidenzia bene la struttura a grani della moneta oggetto di studio. Questa struttura è simile a quella delle monete 2 e 6, anche se in questo caso i grani sono molto più fini ed equiassici e sono ben visibili inclusioni ed impurezze. Anche in questo caso, si ipotizza che la moneta abbia subito un particolare procedimento di riscaldamento dopo essere stata coniata al fine di ottenere la massima resistenza e durabilità.

## 5.10 Moneta 9

Sulla moneta 9 sono visibili, anche ad occhio nudo, prodotti di alterazione superficiale di colorazione scura e per questo motivo si è deciso di effettuare più punti analisi tramite fluorescenza di raggi X (XRF), al fine di comprendere la natura di tale patina.



Figura 5.49: Punti di analisi XRF e particolare incrostazioni scure presenti sulla superficie (moneta 9).

Gli spettri ottenuti tramite XRF sono stati riportati in due grafici diversi, a seconda del lato indagato, per una migliore lettura dei risultati.

In Figura 5.50 viene riportato lo spettro XRF del *recto* che evidenza picchi di argento e rame, facendo così ipotizzare che tale nominale sia stato coniato con una lega di questi due elementi. Oltre ad essi, compaiono picchi di zinco, zolfo e ferro che possono essere correlati all'interazione del campione con il terreno e l'acqua di falda durante il periodo di seppellimento. E' inoltre ben evidente il picco di bromo, già osservato per le analisi XRF effettuate sulla moneta 1 della collezione oggetto di studio.

Come già detto in precedenza, tale picco può essere dovuto all'interazione dell'argento con l'ambiente di seppellimento della moneta; l'argento, infatti, è particolarmente affine agli elementi del settimo gruppo della tavola periodica (alogeni) che tendono a non essere lisciviati dalle acque, ma a formare dei composti stabili con l'elemento metallico.

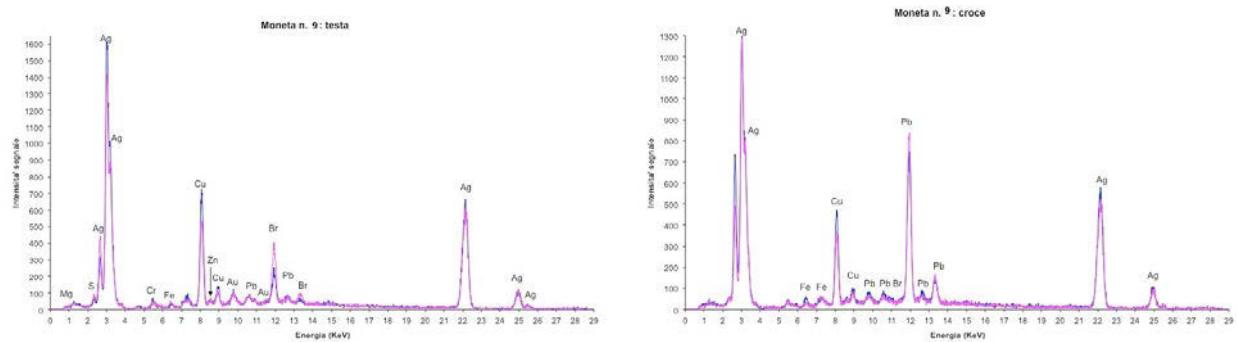


Figura 5.50: Spettri XRF della moneta 9.

La sostanziale differenza tra il grafico del *recto* e quello del *verso* è che in quest'ultimo è presente un picco di piombo molto più evidente. Nell'antichità, l'argento veniva estratto dalla galena, un

solfuro di piombo (PbS) che veniva frantumato e separato dalla ganga e poi fuso ad elevate temperature (950-1200°C) affinché tutto l'argento presente passasse nel piombo. Successivamente, mediante coppellazione, si provvedeva a separare il piombo dall'argento per ossidazione; il metallo così ottenuto era un'associazione di piombo, argento e altri elementi secondari. Il piombo argentifero veniva poi sottoposto nuovamente a fusione ad una temperatura di circa 1000°C in presenza di aria forzata; quest'ultima ossidava il piombo producendo il litargirio (PbO), che assorbiva anche gli ossidi degli altri metalli, tranne argento e oro che restavano così isolati dal resto. Il termine *coppellazione* deriva da coppella, il crogiolo utilizzato comunemente nell'antichità per effettuare limitati saggi sul possibile rendimento delle vene argentifere. (C.Giardino, 1998)

Supponendo che questo procedimento tecnologico sia stato utilizzato anche per la coniatura di questa moneta, la presenza di piombo è giustificata; in più, una bassa concentrazione di questo metallo è sinonimo di un buon processo di fusione. (A.Pitarch *et al.*, 2010)

La moneta è poi stata analizzata mediante microscopio elettronico a scansione al fine di comprendere sia le caratteristiche della lega che quelle dei prodotti di alterazione presenti sulla superficie.

La Figura 5.51 riporta uno dei punti di analizzati e il relativo spettro EDS che evidenzia picchi di argento e di rame ed è per questo possibile ipotizzare che la moneta sia stata coniata in una lega di questi due elementi.

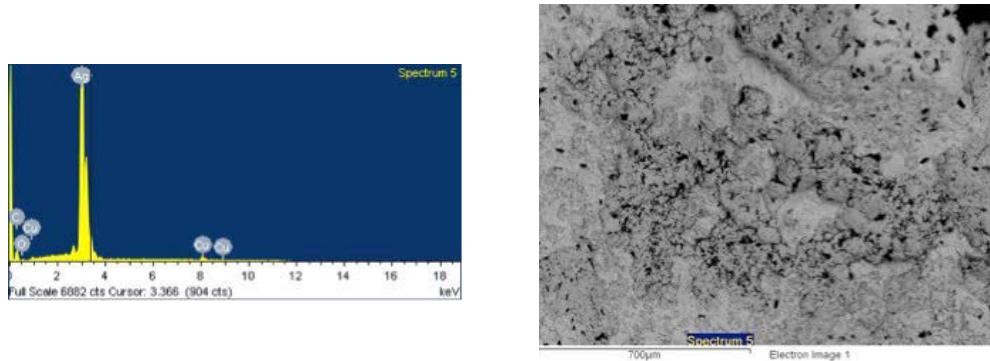


Figura 5.51: Spettro EDS rappresentativo dei costituenti della lega e punto di analisi (moneta 9).

Nel tentativo di comprendere anche la composizione delle patine scure presenti su entrambe le facce della moneta, sono state eseguite altre indagini in diversi punti e gli spettri che si sono ottenuti hanno evidenziato la presenza di elementi diversi.

In modo particolare, si è osservata la presenza di elementi provenienti dall'interazione del campione con il suolo (come il calcio e il silicio) e con l'acqua di falda (come lo zolfo), come riportato in

Figura 5.52.

La presenza di silicati, infatti, è dovuta molto probabilmente ai residui che si trovano sulle monete in quanto, queste, non hanno subito nessun tipo di pulizia; la presenza di solfati è invece data dall'elevata solubilità degli stessi nelle acque.

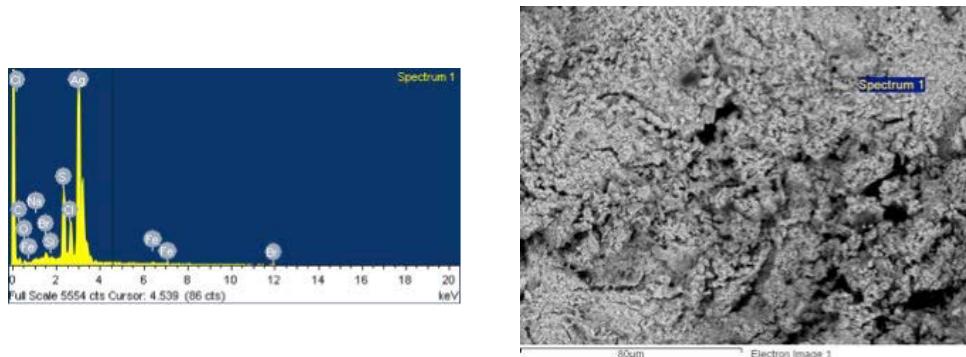
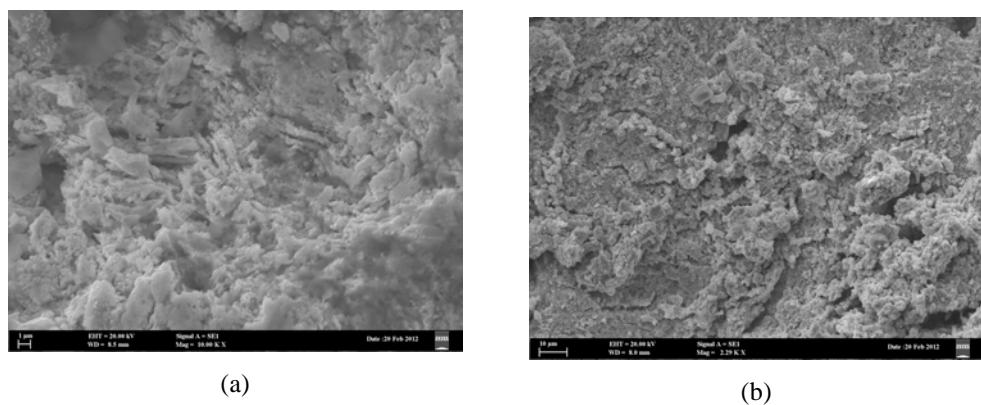
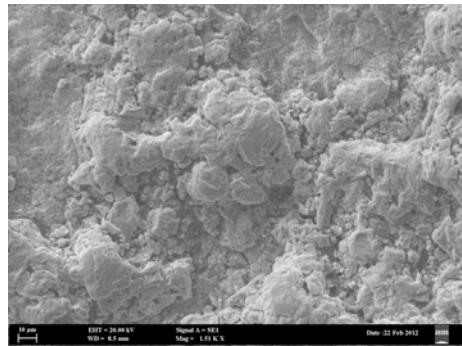


Figura 5.52: Spettro EDS dei prodotti di corrosione e punto di analisi (moneta 9).

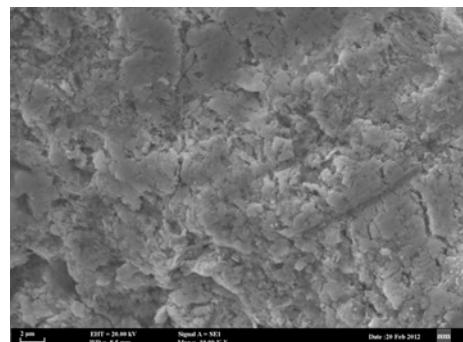
In alcuni punti di analisi, come per esempio quello riportato in Figura 5.52, il rame non è rilevabile o è presente solo in tracce, probabilmente a causa dello strato di prodotti di alterazione che ricoprono la superficie.

Il microscopio elettronico a scansione (SEM) è in grado di mostrare nel dettaglio la morfologia della struttura superficiale e ha permesso di evidenziare diverse tipologie di strutture dei prodotti di corrosione (Figura 5.53 a, b, c, d).





(c)



(d)

Figura 5.53: Esempi di immagini al SEM delle diverse morfologie dei prodotti di corrosione (moneta 9).

Grazie alla microanalisi EDS, il bromo è stato individuato solo in corrispondenza dei prodotti di corrosione; non compare, invece, nei punti in cui la moneta sembra essere priva di prodotti di alterazione superficiale, evidenziano solo la presenza di argento e rame, come in Figura 5.51.

Per questo motivo, è possibile ipotizzare che il bromo sia presente solo sulla superficie della moneta come elemento chimico di alterazione, dovuto alle particolari condizioni dell'ambiente di seppellimento.

## 5.11 Moneta 10

Il nominale presenta uno stato di conservazione differente a seconda del lato che si osserva: il *recto* è caratterizzato, in alcuni punti, da incrostazioni rossastre, già osservate in precedenza in altre monete e da patine scure. Il *verso*, invece, evidenzia incrostazioni di cromia tendente al verde, mentre il resto della superficie è ricoperta da una patinatura rossastra.



Figura 5.54: Punti di analisi XRF della moneta 10.



Figura 5.55: Particolare del *verso* e delle incrostazioni scure (moneta 10).

Lo spettro XRF di Figura 5.56 evidenzia quali elementi chimici siano presenti sulla superficie di questo nominale: sono presenti picchi di ferro e di rame.

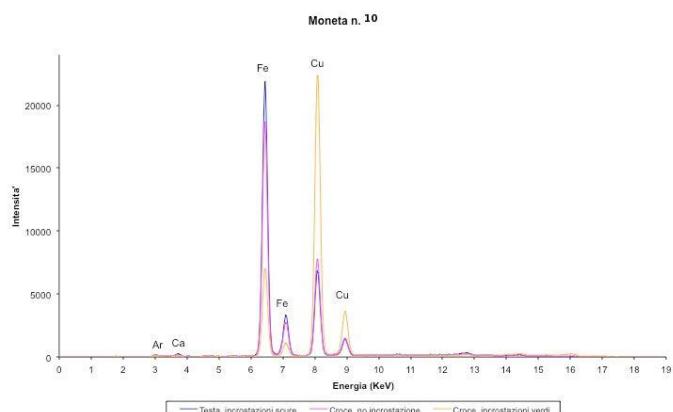


Figura 5.56: Spettro XRF della moneta 10.

Successivamente, la sola superficie del nominale è stata analizzata tramite microscopio elettronico a scansione (SEM), poiché presenta una forte somiglianza con un *sesterzio* coniato durante l'impero di Vespasiano (69-79 d.C.) e ciò ha limitato fortemente l'invasività delle analisi effettuabili sul campione.

Non è stato quindi possibile procedere con un'indagine metallografica, ma grazie al SEM si sono ottenute informazioni interessanti in merito alla morfologia e alla composizione chimica dei diversi tipi di prodotti di alterazione.

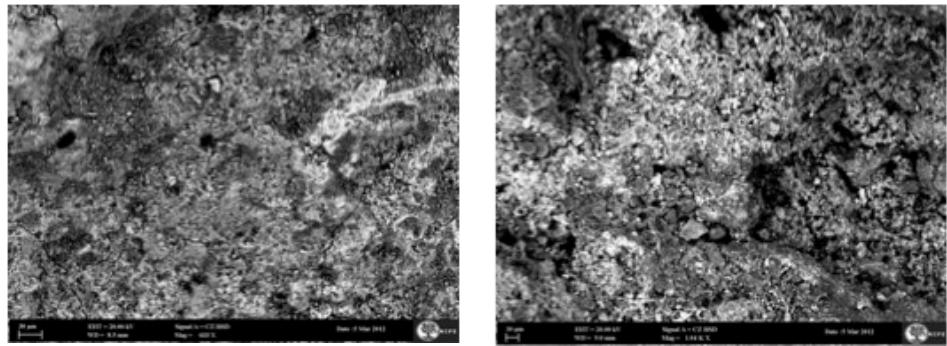


Figura 5.57: Immagini al SEM della morfologia dei prodotti di alterazione (moneta 10).

la Figura 5.58 è rappresentativa di un punto in cui è avvenuta l'analisi e il relativo spettro EDS ottenuto; gli elementi presenti in maniera preponderante sono il calcio, il potassio, il magnesio, l'alluminio e il silicio, tipici dell'interazione del campione con il suolo in cui è stato sepolto a lungo.

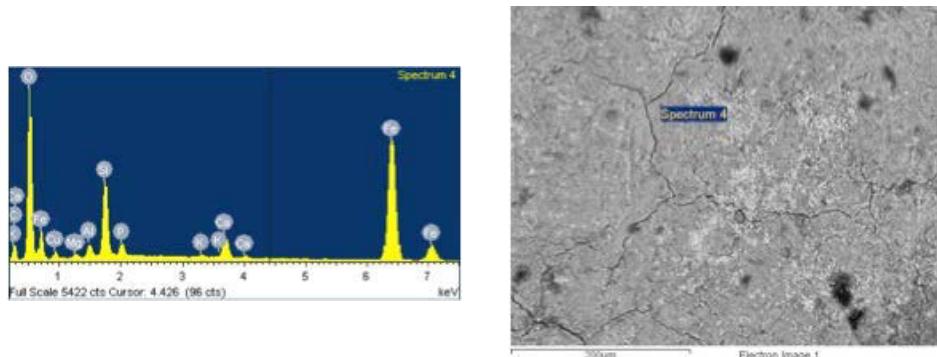


Figura 5.58: Spettro EDS della moneta 10 e punto di analisi.

In Figura 5.59 si riporta un altro spettro EDS e relativa zona di indagine, che evidenzia picchi di rame e stagno, ipotizzabili elementi costitutivi della lega metallica. Anche in questo punto compaiono alcuni elementi di alterazione dovuti all'interazione della moneta con l'ambiente di seppellimento oltre alla presenza di cloro.

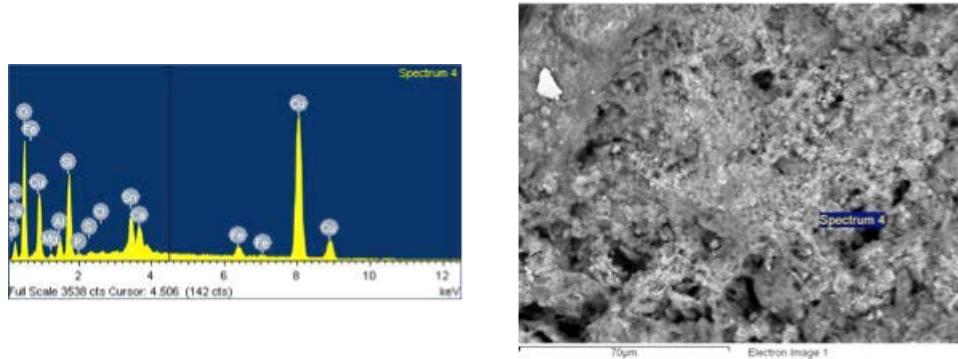


Figura 5.59: Spettro EDS della moneta 10 e punto di analisi.

Dalle immagini ottenute in luce naturale e grazie anche all'utilizzo dello steremicroscopio, è stato possibile notare una somiglianza tra i prodotti di corrosione presenti sulla superficie di questa moneta e il fenomeno chiamato "cancro del bronzo". Questa è una tipologia di corrosione elettrolitica tipica delle leghe di rame ed è scatenata dalla presenza nel suolo di cloruri.

Poiché la presenza di cloruri nel luogo di ritrovamento è stato giustificato in precedenza ed è dovuto alla tipicità delle acque sotterranee, non si può escludere la possibilità di una fioritura del cancro del bronzo sulle monete in lega di rame.

E' quindi necessario controllare periodicamente lo stato di conservazione di questo nominale e mantenerlo in condizioni ambientali controllate, al fine di evitare un danneggiamento irreversibile di questo manufatto.

Il cancro del bronzo si presenta sottoforma di alcune fasi mineralogiche precise, come Nantokite ( $\text{CuCl}$ ) e Atakamite ( $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$ ); per questo motivo, sono previste nuove campagne di studi mediante microscopia Raman e diffrazione di raggi X (XRD), analisi che permettono di riconoscere precisamente le fasi mineralogiche del punto indagato. Grazie a queste tecniche sarà quindi possibile stabilire se sono effettivamente presenti sulla superficie della moneta le fasi mineralogiche sopraccitate; in caso affermativo, sarà necessario un tempestivo intervento di conservazione tramite l'applicazione di inibitori (cioè soluzioni che trasformano i prodotti corrosivi in sali meno sensibili alle condizioni ambientali), per evitare la perdita totale della superficie della moneta.

## CONCLUSIONI

Scopo di questo lavoro è stato uno studio metallurgico e petrografico di una collezione di monete rinvenute nella zona nord occidentale di Bondeno, nel territorio ferrarese.

Tale studio ha permesso di indagare nominali di un periodo piuttosto vasto e di concentrare l'attenzione sulla composizione delle leghe di cui sono costituiti, sui prodotti di corrosione presenti su di essi e ipotizzare le tecniche metallurgiche dell'epoca, adottate nella coniatura delle monete.

Il confronto tra i diversi esemplari della collezione ha evidenziato da subito le differenze compostionali e strutturali delle leghe; di conseguenza tale lavoro è stato improntato alla comprensione delle caratteristiche intrinseche delle varie leghe e attraverso i dati tecnici ottenuti dalle analisi effettuate, si è cercato di comprendere, da un punto di vista scientifico, le tecniche metallurgiche utilizzate. Si è, inoltre, tentato un approccio storico-archeologico cercando di proporre, per i nominali meglio conservati, spiegazioni in merito alle iconografie presenti sulle facce delle monete e, in alcuni casi, si è giunti ad ipotizzare un determinato periodo storico in cui sono state coniate.

Grazie ad un'accurata indagine preliminare è stato possibile comprendere lo stato conservativo e le caratteristiche intrinseche di ciascuna moneta che hanno permesso di stabilire un procedimento scientifico da seguire per ottenere il maggior numero di informazioni da ognuna di esse.

Il primo approccio scientifico è stato quello dell'osservazione dei campioni tramite stereomicroscopio che ha permesso di osservare l'effettivo stato di conservazione delle monete e i diversi prodotti di corrosione presenti su tutte le superfici dei nominali.

Tali prodotti derivano dall'interazione della moneta con l'ambiente di seppellimento e mediante questo contatto, all'interfaccia, si verificano dei processi chimici ed elettrochimici che comportano delle alterazioni più o meno evidenti della moneta a seconda della composizione della lega e della sua qualità.

Le conoscenze in merito ai prodotti di corrosione sono progredite grazie alle indagini effettuate tramite fluorescenza a raggi X che, essendo un'analisi non invasiva e superficiale, ha permesso di evidenziare quali elementi erano presenti e caratterizzavano la superficie stessa della moneta.

E' stato quindi possibile evidenziare gli elementi presenti a causa dell'interazione dei campioni con i suoli, come calcio, alluminio, silicio, magnesio, potassio e fosforo, e dell'interazione con le acque di falda come il cloro e lo zolfo.

Nei due casi delle monete in lega di argento e rame (la 1 e la 9), questa tecnica ha evidenziato delle peculiarità molto interessanti che sono state oggetto di un successivo studio molto accurato. La presenza di bromo negli spettri XRF che aveva causato alcune difficoltà di interpretazione è stato poi giustificato grazie al proseguimento delle indagini tramite analisi metallografica e SEM.

Tramite le altre indagini, infatti, è stato constatato che il bromo non compare come elemento costitutivo della lega, ma sia invece, insieme a cloro e iodio, un elemento di alterazione superficiale, che si lega molto facilmente con l'argento.

La presenza di questi elementi alogenici è poi stata giustificata dall'ipotesi dell'interazione dei campioni con l'ambiente di seppellimento in cui le monete sono state ritrovate, cioè nella zona nord occidentale della provincia di Ferrara, nel comune di Bondeno.

Consultando le Relazioni sullo stato dell'ambiente redatte dall'Ente Regione Emilia-Romagna, si è osservato che la zona in questione rientra, in maniera periferica, in una vasta area interessata dalla presenza di acque salmastre che ha i suoi massimi nella zona della bassa pianura modenese. Questa caratteristica è dovuta ad una struttura profonda nota col nome di "Dorsale ferrarese", formatasi nel tardo terziario che ha influenzato l'acquifero profondo del nostro territorio.

La presenza del bromo come elemento superficiale è dovuta alle caratteristiche delle acque sotterranee ed emergenti presenti nella zona, in quanto il primo acquifero a falda libera è contaminato da contributi profondi di acque selenitiche dovute a litologie della serie gessoso-solfifera.

Tale serie geologica è caratterizzata da sedimenti evaporitici di età miocenica superiore; in modo particolare si riscontrano depositi di gesso, di calcari solfiferi, di salgemma e di altri sali. Nelle acque minerali si riscontra la presenza di bromo, cloro e iodio che può essere quindi associata agli elementi di alterazione superficiale riscontrati sulle monete della collezione.

Completata questa analisi che è stata utilizzata principalmente per comprendere quali elementi fossero presenti nei prodotti di corrosione, si è cercato di risalire alla composizione della lega attraverso un'analisi microstrutturale e mediante la microanalisi tramite microscopio a scansione elettronica (SEM).

L'osservazione metallografica non è avvenuta per tutti i campioni, perché a causa dell'invasività dell'indagine, non è stato possibile sfruttare questa indagine per tutte le monete. In alcuni casi, infatti, grazie alle ricerche iconografiche è stato possibile proporre delle attribuzioni e, in altri

invece, i campioni non si presentavano adatti al prelievo di un frammento o alla lucidatura di una zona della superficie, sia per motivi morfologici della moneta, sia per problemi conservativi.

Tale indagine ha permesso di identificare le caratteristiche microstrutturali della lega che sono correlabili alle tecnologie di produzione e di lavorazione delle monete e ha, inoltre, fornito ulteriori informazioni in merito allo stato di conservazione dei nominali, al tipo di fasi presenti e alle eventuali inclusioni dovute ad imperfezioni della qualità della lega.

Tra gli elementi studiati è stato interessante osservare l'avanzamento dei prodotti di corrosione verso il cuore delle monete, ma anche le deformazioni preferenziali della struttura, dovute alla battitura e quindi alla conseguente pressione del conio sul tondello.

La morfologia della struttura ha, infatti, consentito di ipotizzare che la tecnica della coniatura di questa monete sia stata caratterizzata da una serie di passaggi ben precisi: dopo aver raffreddato la lega all'interno dei tondelli, questi venivano riscaldati e resi malleabili al fine di poter imprimere sulla superficie le raffigurazioni tramite la battitura dei punzoni. Dopo essere stati raffreddati, si suppone che subissero un ulteriore procedimento di cottura per rendere la lega e quindi la moneta, di per sé vulnerabile, molto più resistente al tempo e all'usura.

Tramite l'indagine al SEM è stato poi possibile affinare le informazioni che sono state ottenute per mezzo delle analisi precedenti, ampliando maggiormente le conoscenze in merito a ciascuna delle monete.

Questa analisi è stata effettuata su tutti i nominali e, nei casi in cui è stato possibile eseguire un'indagine metallografica, anche sui frammenti prelevati o sulle aree lucidate della superficie monetale.

Grazie ad essa è stato possibile conoscere e distinguere le diverse morfologie dei prodotti di alterazione e corrosione presenti e grazie alla microanalisi qualitativa EDS si hanno avuto ulteriori informazioni in merito alle composizioni delle leghe e delle patine di alterazione.

Attraverso il SEM e la microanalisi EDS è stato possibile, per due monete della collezione proporre l'ipotesi della tecnica dell'argentatura, già citata in questo capitolo.

Le monete in questione (la 6 e la 8) hanno infatti evidenziato la presenza sulla superficie di piccole porzioni ricoperte da una lega in cui l'argento compariva in percentuali molto elevate. Grazie alla microanalisi EDS è stato quindi possibile ipotizzare che tali monete fossero costituite da leghe di bronzo, cioè formate da rame e stagno e che, in un secondo momento, abbiano subito un processo di argentatura.

Queste informazioni non erano state evidenziate dalle altre analisi e ciò dimostra come le indagini scelte siano state complementari e tutte fondamentali per riuscire a carpire il maggior numero di

informazioni da ciascun nominale.

Indagini future sono già previste al fine di ottenere maggior informazioni riguardo le tematiche trattate in questo lavoro. In modo particolare è già stata programmata un'analisi tramite XRD per ottenere nuovi risultati in merito alle fasi mineralogiche presenti sulla superficie.

Dopo aver terminato lo studio dei prodotti di alterazione su cui si è focalizzata questa tesi, è prevista una pulitura dei campioni da tutte le patine superficiali, al fine di poter indagare in maniera più approfondita la natura delle leghe.

Uno studio di tipo quantitativo sulle composizioni delle monete potrebbe permette di ottenere maggiori informazioni in merito al periodo storico di coniatura e quindi comprendere maggiormente quali fossero le conoscenze in ambito metallurgico.

Ulteriori indagini verranno condotte in merito alle tecnologie di produzione delle monete al fine di ottenere informazioni utili all'aumento delle conoscenze riguardo tematiche di archeometallurgia.

Grazie ai risultati ottenuti da questo studio è stato possibile giungere alla conclusione che le conoscenze riguardo alle tecniche metallurgiche erano piuttosto avanzate, considerando che il periodo di coniatura di tali monete non supera il IV secolo d.C..

La collezione oggetto di studio, ricoprendo un periodo storico abbastanza ampio della storia di Roma e delle sue monete, ha permesso di fare un *excursus* nella storia della coniazione e delle leghe metalliche, osservando monete caratterizzate da leghe preziose e da iconografie pregevoli, passando attraverso alcuni nominali di manifattura buona e leghe più comuni, ma comunque forgiate con ottime tecnologie.

Fino a giungere ad alcune monete costituite da leghe povere e da iconografie qualitativamente mediocri, sintomo di un declino dell'attività metallurgica e mineraria e specchio di un graduale declino del potere centrale che porterà alla caduta dell'Impero Romano.

## **RINGRAZIAMENTI**

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questo lavoro senza i quali non sarebbe stato possibile per me essere qui oggi.

Ringrazio la Prof.ssa Vaccaro e il Professor Garagnani per avermi permesso di sviluppare un progetto a me molto caro, per aver creduto in me e per avermi stimolato e spronato a fare sempre meglio.

Ringrazio la Dott.ssa Caterina Cornelio e il Dott. Valentino Nizzo, del Museo Archeologico Nazionale di Ferrara, per la loro disponibilità e per il proficuo supporto alla realizzazione del lavoro di ricerca.

Grazie al Dott. Ivano Botti per avermi dato la possibilità materiale di sviluppare questo lavoro affascinante.

Un grazie di cuore va alla Dott.ssa Chiara Soffritti e alla Dott.ssa Lisa Volpe per la totale disponibilità e per l'aiuto incommensurabile. Per la gentilezza che mi avete mostrato dal primo momento, per la forza che mi avete dato nel credere in questo progetto, per non avermi mai permesso di mollare, per la dedizione che avete messo in tutto quello che abbiamo fatto insieme...mi avete dato davvero tanto e non sarò mai in grado di ricambiare tutto quello che avete fatto per me. Siete state davvero fondamentali.

Un grandissimo grazie al Dott. Salvatore Pepi per tutti i consigli essenziali volti al miglioramento di questa tesi e per la totale disponibilità ad aiutarmi sempre.

Grazie al Prof. Gabrielli per l'aiuto che mi ha fornito durante la fase pratica di laboratorio, per la sua esperienza e per tutti i consigli preziosi che mi ha fornito.

Un grande grazie ai ragazzi ritrovati e conosciuti al Laboratorio di Metallurgia dell'Università: Daniele, Annalisa, Mattia, Giulia e Tommaso; per avermi accolto con una naturalezza tale che mi ha fatto sentire subito a mio agio, grazie perché senza di voi lo stress di questo periodo sarebbe stato insostenibile.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori e a mio fratello, sempre al mio fianco, pronti a sostenermi e a darmi la forza di credere in quello che faccio e che sono; sapete già che vi amo immensamente.

Grazie alla mia zionza, che vorrei tanto avere sempre con me, per essere coccolata come quando ero una bambina.

Alle mie amiche, che sono con me da sempre...ricordatevi che siete le sorelle che ho scelto e che vi

voglio un bene dell'anima.

Ad Ambra, grazie per essere stata al mio fianco in questo percorso di studi, perché senza di te sarebbe stato tutto più difficile, ti voglio bene.

All'Ile e agli altri ragazzi conosciuti tardi, ma che ormai fanno parte della mia vita e della mia famiglia, è grazie a voi se sono sempre felice.

E infine grazie a Nicola, per tutto quello che abbiamo condiviso e per tutto quello che dobbiamo ancora vivere, sperando che la nostra vita insieme sia sempre così speciale com'è ora.

## Bibliografia

R.Bartoloni, *Le monete di Roma Imperiale*, 1996.

C.Giardino, *I metalli nel mondo antico. Introduzione all'archeometallurgia*, 1998.

G.G.Belloni, *La moneta romana. Società, politica, cultura*, 1993.

G.Geraci, A.Marcone, *Storia Romana*, 2004.

R.Bugoi *et al.*, *Archaeometrical studies of Greek and Roman silver coins*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol 242, n.3, pp. 777- 781, 1999.

L.Beck *et al.*, *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.

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.

P.Debernardi, *An investigation about the physical properties in the Roman Republican coinage: Part II – silver contents*, The Celator, March 2008, pp.24-39.

A.Pitarch *et al.*, *Energy dispersive X-ray fluorescence analysis of ancient coin: the case of Greek silver drachmae from the Emporion site in Spain*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 268, Issue 10, May 2010, pg. 1682-1685.

M.A.Giumlia, *Argento romano e ricette alchimistiche: tre esempi di leghe d'argento da Emona*, Arheološki Vestnik 49, 243-249.

P.Valério *et al.*, *Technological continuity in Early Iron Age bronze metallurgy at the South-Western Iberian Peninsula - a sight from Castro dos Ratinhos*, Journal of Archaeological Science, Volume 37, Issue 8, August 2010, pg. 1811-1819

D.A.Scott, *Metallography and Microstructure in Ancient and Historic Metals*, Getty Publications, 1992.