



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
141° (2023), Vol. IV, fasc. 1, pp. 205-211
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-55-3

Spartimento oro-argento: analisi tecnico-storica del processo di separazione con acido nitrico

IACOPO CIABATTI

TCA | Precious Metal Refining, Capolona, Arezzo
E.mail: i.ciabatti@tcaspa.com

Abstract – This account focus on the technical-historical description of the synthesis and the use of nitric acid for gold parting especially according to Giorgio Agricola information as reported in his treatise *De re metallica*. Lastly, the experiment of transmutation of Au into Ag, conducted by the alchemist Johann Wenzel Seiler in the presence of the Emperor Leopold I of Habsburg in 1677, is described and discussed using samples of similar composition.

Keywords: gold, parting, alchemical transmutation, nitric acid, Wenzel Seiler's Medalion

Riassunto – Questo contributo è incentrato sulla descrizione tecnico-storica della sintesi dell'acido nitrico e del suo utilizzo per lo spartimento delle leghe oro-argentifere, riservando un'approfondita analisi su quanto riportato da Giorgio Agricola nell'opera *De re metallica*. Infine, viene riproposto e discusso l'esperimento di trasmutazione dell'oro in argento condotto dall'alchimista Johann Wenzel Seiler al cospetto dell'Imperatore Leopoldo I d'Asburgo nel 1677.

Parole chiave: oro, spartimento, trasmutazione alchemica, acido nitrico, medaglione di Wenzel Seiler

Alcuni dei saggi utilizzati per la quantificazione di Au presente in lega hanno origini antiche che si perdono nella storia. Le peculiari proprietà chimico-fisiche di questo metallo prezioso hanno infatti anticipato l'inizio della secolare messa a punto di importanti tecniche di analisi, nonché quelle di recupero e di affinazione, molte delle quali sono ancora oggi utilizzate. La separazione di Au da Ag, comunemente indicata con il termine “spartimento”, rappresenta uno dei percorsi più affascinanti che si sono registrati nell'ambito dell'affinazione dei metalli preziosi. Il più antico processo di spartimento Au-Ag si è concretizzato con la cementazione, trattamento termico che consiste nel riscaldare una giara sigillata in cui all'interno sono alternati strati del grezzo metallico, opportunamente ridotto in lamine o granuli, con altri costituiti da un misto composto da sale comune, polvere di mattoni, vetriolo, allume e altri materiali.

Il principale inconveniente della cementazione risiede nei lunghi tempi di esercizio e nel difficile controllo dei parametri cinetici che governano la reazione di ossidazione di Ag nel rispettivo cloruro, il quale diffonde nella miscela di polvere limitrofa. Queste problematiche hanno di fatto negato uno sviluppo di scala da un sistema artigianale a quello industriale. Con la messa a punto della sintesi degli acidi minerali, le tecniche di spartimento Au-Ag ad umido hanno lentamente sostituito il trattamento di cementazione [12]. L'utilizzo degli acidi nelle tecniche di separazione dei metalli preziosi si è registrato sia in ambito prettamente analitico che su larga scala segnando, in questo secondo caso, un percorso storico parallelo e concorrenziale a quello delle tecniche di affinazione metallurgiche.

Descrizione del trattamento chimico

Lo spartimento condotto con l'acido nitrico a partire da una lega contenente Au e Ag, consiste nella lisciviazione selettiva di Ag in favore della formazione del rispettivo nitrato, a differenza di Au che risulta essere, in queste condizioni, totalmente incorruttibile alla sua ossidazione¹. Nel caso del suo utilizzo in ambito strettamente analitico, tale attività si colloca dopo il trattamento di coppellazione il quale è in grado di eliminare, mediante loro ossidazione, tutti i metalli vili presenti in un dato campione [4]. Il prodotto finale della coppellazione è infatti un bottone, chiamato in gergo "complessivo", contenente solo metalli nobili che, in antichità, si concretizzava con l'isolamento sistematico di una lega binaria Au-Ag. Per discriminare il quantitativo dei due metalli il complessivo viene, dopo i trattamenti meccanici di laminazione e quelli termici di ricottura, sottoposto all'azione ossidativa dell'acido nitrico [8]. Conoscendo il peso del bottone iniziale e quello di Au puro, ottenuto dopo il trattamento termico di ricottura, si determina il quantitativo di entrambi i metalli preziosi. Per una separazione quantitativa dei due metalli, la lega deve mostrare una composizione approssimativamente costituita da tre parti in peso di Ag e una di Au. Al fine di avvicinarsi il più possibile a tale rapporto, il bottone viene quindi nuovamente fuso con un quantitativo noto di Ag o Au².

¹ Se una lega contiene anche altri metalli, questi elementi possono essere ossidati e quindi solubilizzati come Ag (*e.g.* Cu) o comportarsi allo stesso modo di Au (*e.g.* Ir). Oltre a questi due casi limite, i metalli possono essere parzialmente disciolti (*e.g.* Pd) o portare alla formazione di composti insolubili (*e.g.* Sn).

² Da queste proporzioni deriva l'espressione "inquartazione", ancora oggi utilizzata in riferimento a tale attività.

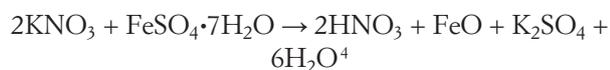
Scostamenti di composizione, ammissibili nell'ambito dell'affinazione su larga scala, non possono essere tollerati nel caso del saggio analitico, dove la quantitativa separazione dei due metalli preziosi è un requisito essenziale. Il motivo di questi effetti macroscopici risiede nei meccanismi di superficie che regolano l'andamento della reazione. L'ossidazione selettiva dell'argento sulla superficie metallica porta infatti alla formazione di adatomi di Au i quali, termodinamicamente instabili, si aggregano formando dei nano-cluster, che creano un reticolo poroso ideale per l'ulteriore avanzamento dell'acido nitrico verso il cuore del campione [2]. Concentrazioni di Au moderatamente più elevate rispetto al valore ottimale inducono un aumento delle tempistiche di reazione, mentre nel caso di incrementi significativi lo spartimento non è più quantitativo. Di contro, concentrazioni di Au sensibilmente inferiori al 25% in peso portano alla formazione di un prodotto di natura polverulenta e quindi non maneggiabile per la successiva fase di ricottura. Il primo caso verrà ampiamente discusso successivamente, attraverso l'esperimento alchemico di Seiler, mentre per quanto concerne il secondo, la disgregazione del campione è dovuta all'interruzione statistica dell'accrescimento dei nano-cluster a causa della bassa concentrazione di adatomini di Au sulla superficie [5].

Dopo il trattamento con acido nitrico, il campione spartito viene lavato e ricotto ad una temperatura superiore a 500 °C, valore sufficientemente elevato per conferirgli una consistenza strutturale adeguata ad una sua agevole manipolazione, attività necessaria all'atto della pesata finale. Infatti, tale trattamento permette la sinterrizzazione strutturale del campione nano-poroso, di colore bruno, in favore della formazione della relativa fase massiva dal tipico colore giallo di Au puro. Le trasformazioni strutturali che avvengono durante lo spartimento e la successiva fase di ricottura, nelle condizioni ottimali descritte, sono a "memoria di forma" poiché portano ad un proporzionale restringimento delle dimensioni del campione preservandone i rapporti [5].

Sintesi dell'acido nitrico e primi utilizzi per lo spartimento Au-Ag

Gli acidi minerali quali l'acido solforico [11], nitrico e cloridrico hanno rivestito un ruolo di primo piano nella storia dell'alchimia, della chimica e dell'artigianato orafa. La loro scoperta ha infatti permesso di esplorare nuove e fondamentali reazioni chimiche, impossibili da condurre con l'ausilio degli acidi di derivazione vegetale (*e.g.* acido acetico) già noti in antichità. Per quanto con-

cerne l'acido nitrico, in Europa, la più antica ricetta di sintesi compare, in maniera inequivocabile, nel trattato *Liber de inventione veritatis* scritto da **Pseudo Geber**³ nel XIII secolo [10]. Nel testo l'acido nitrico viene menzionato con il nome *aqua nostra dissolutiva*, prodotto ottenuto distillando un misto costituito da una parte in peso di vetriolo blu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), mezza di salnitro (KNO_3) e un quarto di allume ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Data la semplicità della reazione e dell'utilizzo di sostanze facilmente reperibili è plausibile immaginare che la sintesi dell'acido nitrico possa essere avvenuta più volte, prima del XIII secolo, come risultato indipendente di esperimenti alchemici esplorativi. Nei secoli successivi, molti altri nomi di uso generico sono stati utilizzati in riferimento all'acido nitrico, favorendo una certa ambiguità di lessico [10, 2]. I motivi di questa entropia terminologica risiedono nell'antica consuetudine di nominare le sostanze sulla base delle loro proprietà o percorsi di sintesi. Nel primo caso, l'utilizzo del termine *aqua corrosiva* in riferimento alla caratteristica non esclusiva dell'acido nitrico di "corrodere" alcuni metalli, è andato in sovrapposizione con quello di altre sostanze acide (e.g. acido solforico) o miscele di queste. La differente natura degli ingredienti di sintesi ha invece portato ad un utilizzo di differenti nomi. Ad esempio, il termine *salis spiritus nitri* (successivamente solo *spiritus nitri*) era usato quando l'acido nitrico veniva sintetizzato a partire da salnitro e allume, mentre lo stesso acido è chiamato *aqua fortis* quando è ottenuto da salnitro e vetriolo, come nel caso del solfato ferroso (vetriolo verde) in accordo con la seguente stechiometria di reazione:



L'interesse alchemico per questo acido risiedeva nella sua peculiare caratteristica di separare in maniera quantitativa Au da Ag presenti in una lega. La difficoltà di sintetizzare acido nitrico in maniera massiva ha inizialmente ostacolato il suo utilizzo nello spartimento, rendendo l'alternativa della cementazione l'approccio più diffuso⁵. Il

³ Il nome dell'autore è stato assegnato dagli studiosi moderni in riferimento ad un anonimo alchimista europeo che si firmava con lo pseudonimo di Geber, forma abbreviata e latinizzata del celebre alchimista islamico J bir ibn Hayy n.

⁴ L'equivalente sintesi a partire dal solfato di rame pentaidrato (vetriolo blu) è la seguente:



⁵ Altre tecniche concorrenziali all'utilizzo dell'acido nitrico erano il trattamento termico di sulfurizzazione e quello di fusione con antimonite, entrambi i quali portano alla formazione di Ag_2S .

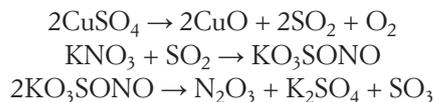
cambio di passo nella sintesi dell'acido nitrico e il conseguente suo utilizzo su larga scala per il trattamento di spartimento si registra tra il XV e il XVI secolo. Ne è testimonianza la pratica di utilizzo comune per la sua preparazione menzionata all'interno della famosa serie di opuscoli anonimi dal titolo *Probierebüchlein* apparsa intorno al 1510. Tale ricettario chimico costituisce la più antica fonte scritta relativa all'utilizzo dell'acido nitrico per lo spartimento Au-Ag. Successivamente **Vannoccio Biringuccio** (1480-1539) nella sua opera *De La Pirotechnica* (1540), attraverso dettagliate descrizioni, fornisce informazioni di rilievo per la sintesi dell'acido nitrico, sia nel contesto di aspetti legati alla sicurezza che a quelli concernenti la qualità [3]. Nel primo caso, in riferimento ai grandi quantitativi di acido nitrico coinvolti durante la distillazione, l'autore pone l'attenzione sull'esigenza di utilizzare storte in vetro prive di imperfezioni o malfatte quali sono le bolle d'aria. Per quanto concerne la qualità dell'acido sintetizzato, Biringuccio menziona la necessità di aggiungere piccole quantità di Ag metallico al fine di eliminare eventuali contaminazioni da acido cloridrico⁶. Infatti, in presenza di fonti di cloruro, l'argento nitrato, ottenuto *in situ* dalla reazione di Ag con dell'acido nitrico, immediatamente precipita con la formazione del sale insolubile AgCl . Senza questo trattamento di purificazione, la presenza di significative quantità di cloruri portava di fatto alla formazione di una soluzione di "acqua regia" sbilanciata ma parzialmente in grado di solubilizzare anche Au e quindi inadeguata per lo spartimento Au-Ag. Anche **Lazarus Ercker** (≈ 1530 -1594) nel suo trattato sulla metallurgia menziona l'utilizzo di Ag metallico come agente di precipitazione dei cloruri [7]. Come alternativa, propone una procedura di purificazione del salnitro sfruttando la sua differente solubilità, rispetto a quella del cloruro di sodio, mediante lavaggio con una soluzione calda e satura del primo sale.

Spartimento Au-Ag secondo Agricola

Pochi anni prima dell'opera di Ercker, **Giorgio Agricola** (1494-1555), nel X libro della monumentale opera *De re metallica*, fornisce un'esposizione dettagliata dei metodi utilizzati per la raffinazione di Au e Ag sia mediante spartimento con acido nitrico che attraverso la cementazione [1]. Il capitolo si apre con l'illustrazione delle ricette di produzione dell'acido nitrico basate sul

⁶ La presenza di acido cloridrico era principalmente da imputare alla scarsa qualità dei reagenti ed in particolare alla tipica presenza di cloruro di potassio nel salnitro.

classico impiego di vetrioli, allume e salnitro, con sostanze accessorie quali mattoni tritati, ruggine e sali di ammonio. Delle dieci ricette menzionate, la prima è l'unica errata poiché l'impiego di cloruro di sodio, al posto del salnitro, porta alla formazione di acido cloridrico. La terza procedura riportata da Agricola è stata oggetto di riproduzione e di investigazione scientifica di Soukup *et al* [4]. Tale ricetta prevede l'utilizzo di 4 parti di vetriolo, 2.5 parti di salnitro, 0.5 parti di allume e 1.5 parti di acqua sorgiva. Durante la fase di condensazione dell'acido nitrico, con sufficiente raffreddamento, si osserva la formazione dell'anidride nitrosa N_2O_3 quale intermedio di reazione. Secondo quanto proposto da Soukup, la reazione coinvolge la formazione del sale di potassio dell'acido nitrosilsolforico in accordo con il seguente percorso stechiometrico [14, 10]:



La decomposizione termica di N_2O_3 in acqua porta alla formazione di acido nitroso il quale, cineticamente instabile, disproporziona nell'atteso acido nitrico e monossido di azoto. La successiva ossidazione di NO per opera dell'ossigeno dell'aria o derivante dalla decomposizione termica di $CuSO_4$ porta alla formazione di ulteriore acido nitrico.

Agricola descrive l'utilizzo dell'acido nitrico per lo spartimento delle leghe Au-Ag ottenute con il trattamento di coppellazione ed esenti quindi dalla presenza di metalli vili. La descrizione rivela la piena conoscenza dell'autore di quelle che sono le condizioni ottimali necessarie per raggiungere la separazione quantitativa dei due metalli preziosi. In particolare, il bottone metallico ottenuto mediante trattamento di coppellazione deve mostrare una composizione approssimativamente costituita da tre parti di Ag e una parte di Au. L'aggiunta dell'Ag, durante la fase di coppellazione, rappresenta quindi la chiave di successo dello spartimento attraverso la quale viene abbassato il titolo dell'Au. Al fine di evitare che la corretta aggiunta di Ag possa passare attraverso innumerevoli tentativi, occorre che il saggia-tore conosca approssimativamente il contenuto di Au nel campione. Oggi, senza alcun dubbio, ammettendo che non ci siano variazioni di composizione sulla superficie (*e.g.* placature), il metodo più semplice e veloce consiste nel condurre un'analisi mediante spettroscopia di fluorescenza a raggi X. Al tempo di Agricola, alternative valide erano fornite dall'utilizzo della pietra di paragone, descritto nel VII libro di *De re Metallica*, o mediante una esplora-

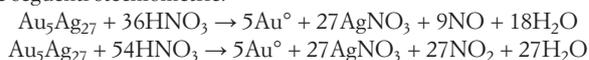
zione colorimetrica⁷ del campione posto a coppellazione senza aggiunta di Ag.

Essendo una reazione di superficie, Agricola indica la necessità di ridurre lo spessore del campione mediante suo martellamento. Le "foglie" così ottenute vengono arrotolate per conferir loro una forma a tubo adeguata al loro inserimento nelle piccole ampole di vetro dove viene condotta la lisciviazione con acido nitrico. Tale lavorazione è ancora oggi utilizzata, sebbene la descrizione sommaria di Agricola non ci permetta di condurre ulteriori confronti. Esistono infatti più forme in uso e, probabilmente, quella più vicina alla descrizione di Agricola è la forma a "cornetto" [2]. Nonostante Agricola non ne faccia menzione, è buona pratica che il prodotto martellato, indipendentemente dalla forma conferitagli successivamente, debba subire un trattamento di ricottura necessario per eliminare le tensioni meccaniche residue. La mancanza di questo accorgimento porta alla formazione di un prodotto che, nonostante il giusto rapporto Ag-Au, tende a sgretolarsi in più parti ostacolandone il lavaggio e la manipolazione durante la successiva pesata finale, che costituisce l'azione conclusiva del saggio. Agricola descrive dettagliatamente l'azione dell'acido nitrico sulla lega Au-Ag, indicando la formazione di gas di color bruno che oggi sappiamo essere dovuti alla formazione di NO_2 che, insieme a NO (incolore), rappresentano i due principali prodotti di reazione⁸. Ancora oggi, a livello analitico, il tandem coppellazione-spartimento costituisce un binomio indissolubile la cui incertezza analitica si aggira intorno a 0.2%. Le moderne tecniche spettroscopiche (*e.g.* plasma accoppiato induttivamente) superano questa secolare tecnica di analisi solo in caso di saggi su leghe metalliche caratterizzate da bassi o alti contenuti di Au.

Se a livello di saggio lo spartimento con acido nitrico è riuscito, senza sostanziali differenze, a rimanere competitivo rispetto alle moderne tecniche di analisi, su sca-

⁷ Senza il contributo dei metalli vili, un esperto saggia-tore può approssimativamente dedurre il quantitativo di Au sulla base del suo colore. Tale risultato può essere raggiunto sia sulla base dell'esperienza o eventualmente con l'aiuto di campioni di riferimento di nota caratura.

⁸ Come è noto, la concentrazione dell'acido nitrico influisce sull'andamento complessivo della reazione ed in particolare all'aumentare della sua concentrazione è favorita la formazione di NO_2 a scapito di NO. Formalmente le due reazioni, bilanciate a partire dalla lega con composizione ottimale per lo spartimento, seguono le seguenti stechiometrie:



la industriale il suo utilizzo è stato meno esclusivo. Infatti, nonostante gli importantissimi sviluppi maturati sulla produzione di acido nitrico (e.g. processo Ostwald), nuove tecniche di affinazione (e.g. processo Miller) si sono imposte soprattutto nelle industrie che coinvolgono giornalmente elevati quantitativi di metalli preziosi.

L'esperimento alchemico di Seiler

Come è stato riportato, lo spartimento Au-Ag ha rappresentato una delle principali forze motrici per l'ottimizzazione della sintesi degli acidi minerali, nonché la messa a punto delle tecniche di distillazione mediante apparecchiature ancora oggi comunemente in uso. Di contro, le caratteristiche peculiari di questo trattamento ne facevano il candidato ideale come tecnica falsaria per la presunta trasmutazione dei metalli vili in oro [12]. Lo spartimento è stato infatti uno dei cavalli di battaglia più utilizzati dagli alchimisti negromanti per le loro truffe commerciali. Fu proprio utilizzando questa tecnica di affinazione che nel 1677 l'alchimista **Johann Wenzel Seiler**, al cospetto dell'Imperatore Leopoldo I d'Asburgo, diede dimostrazione di essere in grado di trasmutare Ag in Au immergendo un medaglione, portato in dono, all'interno di un liquido incolore. Poiché l'immersione fu parziale, solo la parte inferiore fu interessata dal trattamento alchemico, virando verso il colore giallo. Conservando i due distinti toni cromatici, il medaglione di Seiler, oggi esposto nel Museo di Storia dell'Arte di Vienna (figura 1, al centro), costituisce una testimonianza unica nel suo genere, in grado di far cogliere a chiunque lo osservi il grande effetto spettacolare della prova. La truffa fu tutt'altro che improvvisata, come rivela la frase scritta sulla faccia posteriore del medaglione in cui viene annunciato il successo del gesto alchemico: «*Al santissimo, potente e invincibile imperatore romano Leopoldo I ... dedico e porto questo genuino esempio di vera e perfetta trasformazione metallica come piccolo ricordo della giovinezza*». Come è stato possibile stabilire attraverso analisi chimiche, il medaglione è costituito da una lega composta dal 47.6% di Au, 43.4% di Ag e 7.6% di Cu, a cui si aggiungono i contributi minoritari di Sn, Zn e Fe [15]. Il solvente incolore è acido nitrico e quello proposto da Seiler è nella pratica uno spartimento difettivo che, a causa dell'elevata concentrazione di Au nella lega, si interrompe coinvolgendo solo il primo strato superficiale [9]. Infatti, dopo pochi micron di avanzamento dell'acido nitrico, l'eccessivo affollamento degli adatomici di Au sulla superficie metallica porta alla formazione di aggregati troppo grandi, i quali entrano in coalescenza tra di

loro. Quindi, immediatamente dopo l'incipiente formazione di nano-cluster ricchi di Au, la successiva chiusura delle nano-cavità porta alla formazione di una placatura di Au dai toni bruni. Il colore giallo ocra della parte bassa bagnata dall'acido suggerisce quindi che, dopo l'immersione nell'acido nitrico, il medaglione abbia subito un trattamento di ricottura (sebbene non ci siano informazioni a riguardo), necessario per sinterizzare i nano-cluster già entrati, almeno in parte, in coalescenza tra le loro basi perimetrali. Se così fosse, la necessità di avere un elevato titolo di Au nella lega, che mal si concilia con una donazione truffaldina, potrebbe essere legato alla necessità di rallentare la velocità di spartimento [5] piuttosto che renderlo difettivo. Una minore velocità di reazione, infatti, permette di controllare meglio l'esperimento, riducendo l'intensità di emissione degli ossidi di azoto che, all'occhio di un esperto, avrebbe potuto destare quantomeno qualche sospetto. Stupisce la scelta di Seiler nell'utilizzare una lega metallica con una così alta concentrazione di Au che, in concomitanza con la presenza di Cu, porta alla formazione di una lega di color giallo verdognolo pallido, sensibilmente differente dai toni bianchi dell'argento a cui la lega sarebbe dovuta tendere. Infatti, una semplice lettura del diagramma ternario dei colori Au-Ag-Cu (figura 2), suggerisce che il miglior compromesso per condurre il raggio sarebbe stato quello di utilizzare una lega bimetallica Au_{40%}-Ag. Rimanendo nell'assunto della necessità di contenere la velocità di reazione, tale composizione rappresenta infatti quella a più alto titolo di Au in grado di conservare i toni bianchi tipici dell'argento puro. Per verificare quanto detto, sono stati parzialmente immersi in acido nitrico al 25% due provini: il primo con la composizione del medaglione (campione 1) e il secondo in lega bimetallica Au_{40%}-Ag (campione 2)⁹. Il colore della lega metallica non bagnata del campione 1 (figura 1, a sinistra), molto lontano dai toni argentei ottenuti con la composizione del campione 2 (figura 1, a destra), è molto simile a quello del medaglione, in accordo con la composizione di lega riportata in letteratura [9]. Durante la prova, l'immersione del campione è avvenuta per solo 4 secon-

⁹ Si noti che il confronto dei campioni sulla base del loro colore può essere condotto con fiducia poiché le loro composizioni sono sufficientemente ricche in Au da evitare fenomeni di appannamento sulla superficie, a cui il medaglione è andato inevitabilmente incontro nel tempo, dovuti alla reazione di Ag con anidride solforosa la quale avviene invece per leghe con composizione compresa nella zona 4 del diagramma ternario della reattività chimica Au-Ag-Cu (figura 1).



Fig. 1. A sinistra trattamento con acido nitrico su un campione 1 costituito da una lega della stessa composizione del medaglione di Seiler, al centro vista di ambo i lati del medaglione ed infine a destra trattamento con acido su un campione 2 in lega binaria $Au_{40\%}-Ag$.

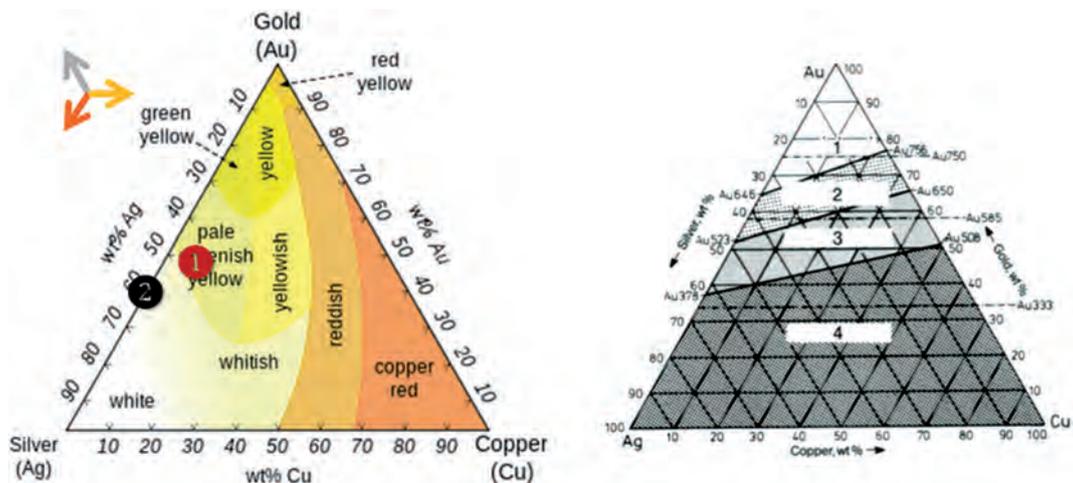


Fig. 2. A sinistra: diagramma del colore per la miscela ternaria Au-Ag-Cu; a destra: equivalente diagramma con individuazione delle zone di composizione con differente resistenza chimica all'ossidazione.

di, poiché tempistiche di reazioni superiori imbruniscono eccessivamente la parte di lega bagnata allontanandosi troppo dal color giallo dell'oro. Successivamente, conducendo un test di ricottura è stato possibile osservare che, con molta probabilità, i tempi di contatto con l'acido nitrico furono superiori poiché è necessario spartire uno spessore più elevato di campione per raggiungere la quantità critica di Au necessaria a coprire il colore della

lega sottostante. In conclusione, ai fini della prova alchemica, lunghe tempistiche di reazione portano ad un ottimo risultato dopo la fase di ricottura, ma inevitabilmente risultano essere inadeguate nei casi in cui l'intenzione di Seiler fosse stata quella di far credere a Leopoldo I che la trasmutazione potesse avvenire durante la sola immersione del campione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AGRICOLA Giorgio, 1556. *Georgius Agricola. De Re Metallica (1530-1556). Un Dialogo sul Mondo Minerale e un Trattato sull'Arte de' Metalli*, a cura di Mancini P. e Mesini E.; CLUEB, 2008.
- [2] BATTAINI Paolo. *et al.*, 2014. The Fire Assay reloaded. *Gold Bulletin*, 47, 9-20.
- [3] BIRINGUCCIO Vannoccio, 1540. *Pirotechnia*, traduzione a cura di Smith C.S. e Gnudi M.T.; M.I.T. Chicago Press, 1972.
- [4] CIABATTI Iacopo, 2015. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, *Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, 133, serie V, Vol. 34, Parte II, Tomo II, 65.
- [5] CIABATTI Iacopo, 2019. Gold Parting with Nitric Acid in Gold-Silver Alloys. *Substantia*, 3(1), 53-60.
- [6] CROSLAND Maurice, 1962. *Historical Studies in the Language of Chemistry*. Heinemann, London.
- [7] ERCKER Lazarus, 1574. *Treatise on Ores and Assaying*, traduzione a cura di Sisco A.G. e Smith C.S., University Chicago Press, 1963.
- [8] GENTILE Angelo, 1951. *Il Saggio dei Metalli Preziosi*. Editore Ulrico Hoepli Milano.
- [9] KARPENKO Vladimir, 2007. Witnesses of a Dream: Alchemical Coins and Medals in Mystical Metal of Gold. *Essays on Alchemy and Renaissance Culture*. Edito da Liden S. J., AMS Press, New York, 117-160
- [10] KARPENKO Vladimir, 2009. Some Notes on the Early History of Nitric Acid: 1300 – 1700. *Bulletin for the History of Chemistry*, 34(2), 105-116.
- [11] KARPENKO Vladimir. *et al.*, 2022. Vitriol in the History of Chemistry. *Chemické Listy*, 96, 997-1005.
- [12] MOTTANA Annibale, 2018. Separazione Chimica e Titolo dell' Au nell' Europa Premoderna. *La Chimica e l' Industria*, anno II., n°5, 10-14.
- [13] RAMAGE Andrew, 2000. Craddock P. *King Croesus' gold: Excavations at Sardis and the History of Gold Refining*. Harvard University Art Museums, in association with the British Museum Press.
- [14] SOUKUP Rudolf Werner, 2007. *Chemie in Österreich, Böblau, Wien*.
- [15] STEBINGER R. *et al.*, 1932. Das alchemistische Medaillon Kaiser Leopold I. *Mitt. der Numismatischen Gesellschaft in Wien*, XVI, 209-218.