

INDAGINI SUL CORREDO FUNERARIO DELL'ENIGMATICA SIGNORA DI CAO

PARTE PRIMA, DECORAZIONI NASALI

di Roberto Cesareo, Angel Bustamante, Julio Fabián, Sandra del Pilar Zambrano, Régulo Franco Jordán, Arabel Fernandez e Giovanni Ettore Gigante

In questo lavoro sono riportati i risultati delle analisi effettuate con Fluorescenza a raggi X dispersiva in energia (EDXRF) su 34 decorazioni nasali sia in oro e che in argento dalla tomba della Signora di Cao. Lo scopo di questa indagine, che ha seguito un caso simile effettuato in precedenza nel Museo "Tumbas Reales de Sipan", è stato quello di indagare l'evoluzione della metallurgia dei Moche.

Lungo la costa nord dell'attuale Perù sono fiorite prima dell'arrivo degli Spagnoli, approssimativamente a partire dal 1200 a.C., importanti culture. La più evoluta, almeno dal punto di vista metallurgico è la cultura Moche, che si è sviluppata lungo la costa nord del Perù.

La cultura Moche (o Mochica) si è sviluppata tra il 200 a.C. ed il 600 d.C. e l'abilità metallurgica dei Moche ha avuto una impressionante dimostrazione quando Walter Alva ha scoperto nel 1987 una piramide che conteneva le "tombe reali di Sipan" [4,5] e, più recentemente, quando Régulo Franco ha scoperto nel 2005 la meravigliosa tomba della "Signora di Cao" [6-10]. Dalla tomba sono emersi spettacolari ornamenti funerari in oro ed argento (insieme con pareti affrescate, ceramiche, tessuti ecc.) che sono attualmente esposti nel Museo "Tumbas Reales de Sipan" a Lambayeque, vicino a Chiclayo, e nel Museo del sito "Signora di Cao", che si trova in una area semi desertica, in località "El Brujo" a circa 80 km a nord di Trujillo (Figura 1). Gli oggetti trovati nella tomba della "Signora di Cao" (oltre 100 oggetti decorativi quali corone, decorazioni nasali, orecchini, collane ecc.) mostrano che si trattava di una figura gerarchicamente di grande importanza (una specie di regina dell'epoca) anche a livello religioso.

Gli oggetti sopra indicati, che non erano stati fino ad ora oggetto di studi specifici, sono stati analizzati nell'ambito di una cooperazione bilaterale CONCYTEC-CNR per mezzo di varie tecniche: analisi di fluorescenza X dispersiva in energia; trasmissione di raggi X monocromatici; tecniche radiografiche.

Le tipologie degli oggetti analizzati sono le più varie: si va dalla tradizionale lega d'oro (composta da oro, argento e rame) ad oggetti di argento quasi puro; da leghe di argento assai poco tradizionali (con elevato contenuto di oro) a rame dorato fino a leghe chiamate "tumbaga". Il tumbaga corrisponde ad una lega rame-oro povera in oro, arricchita in superficie attraverso un processo non del tutto chiarito che in inglese si chiama *depletion gilding* [11-14] cioè doratura per sottrazione di rame; il rame veniva infatti fatto affiorare in superficie e poi aspor-



Fig. 1 - Località "El Brujo" a circa 80 km a nord di Trujillo.

tato, e questo processo veniva ripetuto più volte, fino a che si creava uno strato superficiale di oro, con una concentrazione esponenzialmente decrescente di oro per una profondità di 5-10 micron. A profondità maggiori si trova solamente rame. In questi primi lavori vengono descritte le analisi su 33 decorazioni nasali (32 miste leghe oro-leghe argento, 1 in argento). In una seconda pubblicazione saranno descritte le analisi degli altri oggetti presenti nella tomba della Signora di Cao (oggetti in oro, argento, rame dorato, tumbaga di oro ed argento).

STRUMENTAZIONE SPERIMENTALE PER L'ANALISI DI FLUORESCENZA X DISPERSIVA IN ENERGIA (EDXRF)

L'analisi EDXRF consiste nell'irraggiare l'oggetto in studio con un debole fascio di raggi X, e nel determinare le righe X di fluorescenza emesse dagli elementi presenti nell'oggetto stesso. La tecnica EDXRF ha delle caratteristiche che la rendono particolarmente utile per lo studio dei Beni Culturali, e cioè di essere [15]:

- ▶ non distruttiva e non invasiva;
- ▶ multielementale;
- ▶ relativamente semplice, almeno per un'analisi di prima approssimazione.

La tecnica EDXRF è inoltre una tecnica analitica di superficie, nel senso che analizza uno strato superficiale che, nel caso di metalli, va da pochi micron a qualche decina di micron. L'apparecchiatura impiegata per l'analisi di fluorescenza X è mostrata nella Figura 2.



Fig. 2 - Strumentazione utilizzata per l'analisi di fluorescenza X.

Essa è costituita da:

- ▶ un tubo a raggi X con anodo di Ag, che lavora a 40 kV e 100 μ A di massima tensione e corrente [16]. La radiazione X viene collimata e filtrata, in modo da avere in uscita uno spettro X centrato intorno a circa 30 keV e che si estende da circa 20 a 40 keV
- ▶ un rivelatore Si-drift di spessore 0.5 mm ed area 15 mm² con una risoluzione energetica di circa 135 eV sulla riga del Mn (5.9 keV) [16]
- ▶ un analizzatore multicanale incorporato nel contenitore del rivelatore ed associato ad un PC

Per una determinazione quantitativa delle leghe sono stati utilizzati molti campioni standard aventi composizione nota; inoltre sono stati utilizzati vari campioni di rame dorato e di argento dorato, con spessori noti di dorature.

Le parti in argento delle 33 decorazioni nasali, analizzate per mezzo della tecnica EDXRF, hanno mostrato una composizione del tutto erratica ed elevato contenuto in oro (fino al 30%), cosa del tutto inusuale [17]. Per superare il dubbio che le composizioni così variabili possano essere risultato di fenomeni di alterazione superficiale, si è pensato di abbinare alla tecnica EDXRF, in alcuni casi, la tecnica della trasmissione di raggi X monocromatici, che è tipicamente una tecnica di analisi di volume [18]. Nella Figura 3 è mostrata la strumentazione impiegata, che è semplicemente una variante dell'apparecchiatura mostrata in Figura 2.

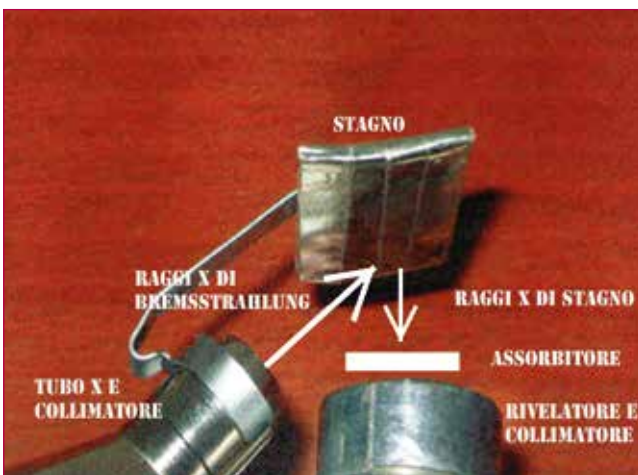


Fig. 3 - Strumentazione impiegata per la tecnica di trasmissione di raggi X monocromatici.

Il tubo a raggi X, opportunamente collimato e filtrato, irradia un bersaglio secondario di stagno, il quale, a seguito di effetto fotoelettrico, emette le due righe caratteristiche, di energia pari a 25.2 keV e 28.5 keV. Le energie di queste due righe sono di poco inferiori e superiori alla discontinuità fotoelettrica dell'argento. L'oggetto da analizzare, di spessore compatibile con l'attenuazione delle righe X dello stagno, viene posizionato tra lo stagno stesso ed il rivelatore, il quale misurerà l'attenuazione di queste righe da parte dell'oggetto. La presenza di argento produrrà un'attenuazione selettiva. Per dare un esempio l'attenuazione delle righe dello stagno ($K\alpha=25.2$ keV, $K\beta=28.5$ keV) da parte di una lega ternaria oro-argento-rame è determinata dalle seguenti equazioni (Cesareo 2014) :

$$\frac{(Sn-K\alpha)}{(Sn-K\alpha)_0} = e^{-[9 c(Ag) + 17.5 c(Cu) + 41.5 c(Au)] \rho(\text{alloy}) d}$$

$$\frac{(Sn-K\beta)}{(Sn-K\beta)_0} = e^{-[40.5 c(Ag) + 12.4 c(Cu) + 30 c(Au)] \rho(\text{alloy}) d}$$

$$Sn \left(\frac{K\alpha}{K\beta} \right) / \left[Sn \left(\frac{K\alpha}{K\beta} \right)_0 \right] = \left[e^{-\{31.5 c(Ag) - 5 c(Cu) - 11.5 c(Au)\} \rho(\text{alloy}) d} \right]$$

- ▶ in cui $(Sn-K\alpha)/(Sn-K\alpha)_0$, $(Sn-K\beta)/(Sn-K\beta)_0$ e $Sn(K\alpha/K\beta)/[Sn(K\alpha/K\beta)]_0$ rappresentano il rapporto tra la riga X-K α , la riga X-K β ed il rapporto tra le righe K α /B con e senza "assorbitore" rispettivamente;
- ▶ c(Au), c(Ag) e c(Cu) rappresentano le concentrazioni (in %) di Au, Ag e Cu rispettivamente;
- ▶ ρ (in g/cm³) è la densità della lega;
- ▶ d è lo spessore della lega

La Figura 4 mostra ad esempio la correlazione tra il rapporto $(Sn-K\alpha)/(Sn-K\alpha)_0$, lo spessore dell'assorbitore e la composizione di una lega ternaria Au-Ag-Cu.

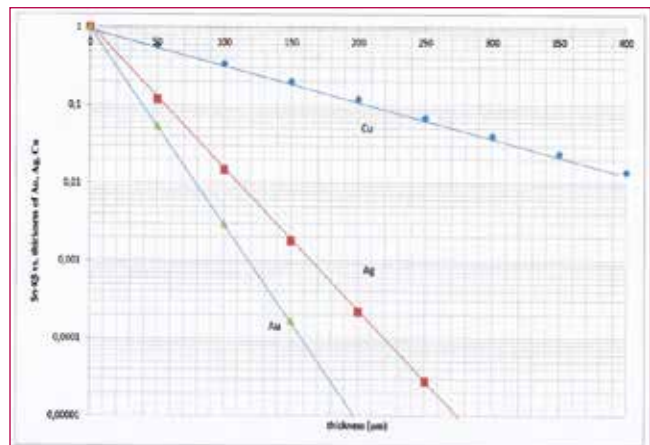


Fig. 4 - Correlazione tra il rapporto $(Sn-K\alpha/Sn-K\alpha)_0$ tra la riga Sn-K α in presenza di un assorbitore in lega di oro o argento e la stessa riga senza assorbitore.

SISTEMA DI RADIOGRAFIA DIGITALE MOBILE E RADIOGRAFIA DELLE SALDATURE

Il sistema di radiografia impiegato nelle misure presso il Museo di Cao è composto da:

- ▶ un tubo radiogeno della MOXTEK (MAGNUM X-ray Sources) di 40kV di tensione massima e di 0,2 μ A di corrente (4 W di potenza), con un anodo in Ag e finestra di Berillio, refrigerato in aria e di ridotte dimensioni (figura 5) [18];
- ▶ da una telecamera intensificata ISIS-4/1000 della Photonic Sciences cui è stato applicato uno scintillatore per la rivelazione della radiazione X;
- ▶ un dispositivo per la cattura delle immagini (EasyCap) che consente di inviare e memorizzare le immagini ad un PC;

► due software di acquisizione e elaborazione delle immagini: il primo per acquisire filmati composti da pochi fotogrammi (21 immagini acquisite in poco più di un secondo) ed il secondo RegiSARX per allineare e sommare i fotogrammi allo scopo di ridurre il rumore e incrementare il contrasto

RISULTATI

Nelle Figure 6-9 sono mostrate alcune delle più belle decorazioni nasali analizzate, tutte costituite da aree in lamina d'oro ed aree in lamina di argento.



Fig. 6 - decorazione nasale N.8 della signora di Cao, che mostra due gamberi in lega di argento e due teste di serpente, in lega di oro.



Fig. 7 - decorazione nasale N.10 della signora di Cao, che mostra una testa umana in lega di oro e quattro iguane in lega di argento.



Fig. 8 - decorazione nasale N. 17 della signora di Cao, che mostra quattro scorpioni, due in lega di oro e due in lega di argento.



Fig. 9 - decorazione nasale N.23 della signora di Cao, che mostra due serpenti in lega di oro e di argento.

Numero	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	altri elementi
2	79	16	5	-
3	81.5	14.5	4	-
4	84.5	14.5	3	-
6	78.5	17.5	4.5	-
7	83.5	13.5	3.5	-
8	70.5	25.5*	4	-
9	80	17.5	2.5	-
10	80.5	16	3.5	-
11	83	12	5	-
13	80	17.5	2.5	-
14	80	16	4	-
15	77.5	19	3.5	-
16	81	15.5	3.5	-
17	80.5	15.5	4.5	-
18	76.5	19.5	4	-
19	80.5	15.5	4	-
20	84	12.5	3.5	-
21	82.5	13.5	4	-
22	80	15	5	-
23	83.5	14	3	-
24	78.5	18	3.5	-
25	82.5	13.5	4	As
26	80	15	5	Fe
27	78	17	4.5	-
28	76.5	21.5	2	-
29	81.5	13.5	5	-
30	81	13.5	5.5	-
31	82	13	5	-
32	78.5	17.5	4	-
33	83	12.5	1.5	-
34	80	17	3	-
Media	80.0±2.5	16.0±2.5	4.0±1.0	-
Senza N.8	80.5±2.5	15.7±2	3.8±1	-
Intervallo	76.5-84.5	12-21.5	21.5-5.5	-

Tab. 1 - Composizione delle decorazioni nasali nelle aree in oro.

N.	Ag(%)	Cu(%)	Au(%)	Additional elements
2	99.0	0.3	0.7	Pb 0.2%
3	76.5	7.5	16	As 0.5%, Fe
4	89	4.5	6.5	4.1(Fe, Zn, Hg)
5	73.5	9.5	17	Pb 0.1-0.2%
6	82	8.5	5.5	Pb 0.2-0.4%
7	86	8	4	Pb 0.15-0.3%
8	81	23	40	*
9	33	13.5	13.5	*
10	46	21	33	*
11	51.5	16	32.5	*
12	40	31.5	28.5	*
13	81.5	11	7.5	*
14	44	23	33	*
15	56	15	29	-
16	70.5	15	14.5	-
17	57	14.5	28.5	Pb 0-0.15
18	81	10	9	Pb 0-0.4%
19	82.5	4	13.5	-
20	75	23	2	As 0.5-1%, Pb 0-0.1%
21	64.5	34.5	1	As or Pb 0.2%, Fe
22	64	13	23	Pb <0.1%
23	60	10.5	19.5	-
24	70	10.5	19.5	-
25	58	23	21	Pb 0.2%, Fe
26	49.5	19	31.5	-
27	76	12	16	-
28	79.5	14.5	6	Pb 0.2%, Fe
29	86.5	7	6.5	Pb 0.3%
30	51.5	23.5	25	*
31	40	27.5	32.5	*
32	48	20	22	*
33	56	10.5	33.5	*
34	70	14.5	15.5	Pb 0.1%
34	77	4	19	-
Mean value	66±15	15±8	19±11	-

Tab. 2 - Composizione delle decorazioni nasali delle aree in argento.

Le Tabelle 1 e 2 e le Figure 10 e 11 riassumono i risultati delle analisi EDXRF sulle decorazioni nasali in oro ed argento. Si può osservare molto chiaramente che le aree in oro hanno più o meno le stesse concentrazioni di Au, Ag e Cu, mentre le aree in argento hanno una composizione del tutto erratica ed inoltre mostrano una presenza di oro assolutamente inusuale.

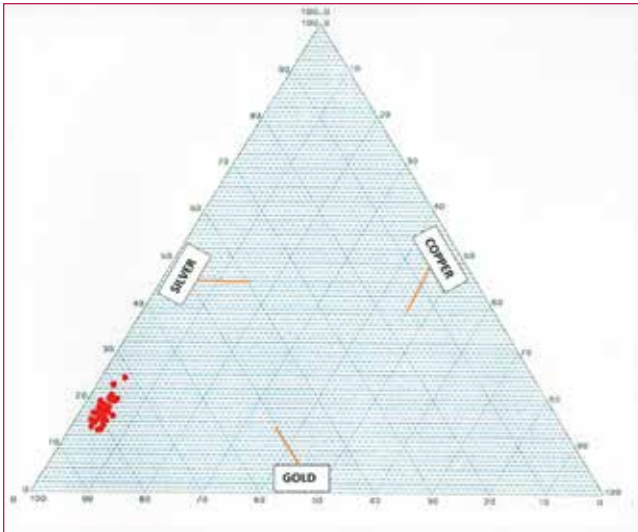


Fig. 10 - Distribuzione di oro, argento e rame nelle 34 decorazioni nasali della signora di Cao che sono state analizzate. Si noti la omogeneità delle composizioni.

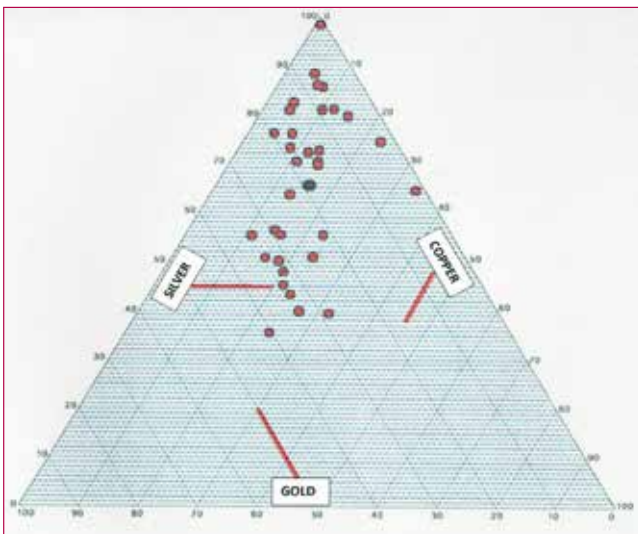


Fig. 11 - Distribuzione di argento, rame ed oro nelle 34 decorazioni nasali della signora di Cao che sono state analizzate. Si noti la completa disomogeneità.

Le misure in trasmissione eseguite sugli oggetti più interessanti confermano con buona approssimazione i risultati delle analisi EDXRF (vedi ad es. Figura 4) e consentono inoltre di affermare che gli spessori delle lamine d'oro è sempre intorno ai 100 μm , mentre quelli delle lamine di argento variano tra circa 100 μm e circa 400 μm .

Sono stati esaminati con la radiografia digitale una decina di oggetti, soprattutto gli elementi decorativi nasali (che sono molto numerosi), con lo scopo di individuare la tecnologia di saldatura delle due leghe metalliche. La disponibilità di un tubo di bassa potenza (quindi in grado di produrre fotoni da 30-40 keV) non consente di penetrare le lamine di lega d'oro (anche se sottili) mentre permette di visualizzare quelle in lega d'argento. Questo è quanto si è puntualmente verificato con le prove sperimentali in cui vedevano distintamen-

te le zone del manufatto in argento mentre la parte in lega d'oro risultata invisibile (completamente nera). In figura 12 è mostrato il risultato ottenuto su uno degli elementi decorativi nasali esaminato (PACB-F4-6), dall'immagine ottenuta si identifica chiaramente la zona esaminata (molto piccola in quanto il sensore utilizzato è dimensioni necessariamente ridotte). Sempre da radiogramma è possibile notare che non vi sono disomogeneità nella zona di transizione tra le due leghe. Questa risultato, confermato in numerose altre prove, permette di escludere l'impiego di una lega saldante mentre avvalorare l'ipotesi, del resto plausibile, di una perfetta adesione delle lamine (la cui superficie era stata preventivamente ben levigata) per martellatura (eventualmente a caldo, ma questa è un'ipotesi che non può facilmente essere verificata se non con esami microscopici).



Fig. 12 - Radiografia della parte triangolare della decorazione nasale n. 6 della signora di Cao (dettaglio radiografato in alto a sinistra).

CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti sulle decorazioni nasali della signora di Cao si possono trarre le seguenti conclusioni:

- ▶ le parti in oro hanno una composizione simile in tutte le 33 decorazioni, con le seguenti composizioni medie: Au=(78.0 \pm 2.5)%; Ag=(17.5 \pm 3)%; Cu=(4.5 \pm 1.0)%;
- ▶ le parti in argento hanno una composizione del tutto erratica, con i seguenti valori estremi: Au=(40-100)%; Ag=(0-40)%; Cu=(0-35)%;
- ▶ la presenza di rilevanti percentuali di oro nelle parti in argento è del tutto inusuale nell'oreficeria antica e moderna;
- ▶ le misure in trasmissione confermano in linea di massima le analisi EDXRF.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Cupisnique>
[2] <http://chavin.perucultural.org.pe/kunturwasi.shtml>
[3] http://wiki.sumaqueru.com/es/Cultura_Vicus
[4] W. Alva, C.B. Donnan : *The Royal Tomb of Sipán* , Los Angeles Fowler Museum of Cultural History; University of California 1993.
[5] W. Alva : *SIPAN : descubrimiento e investigación*, Quebecor World Perú S.A., 1994
[6] R. Franco J. : in "Señores de los reinos de la luna", Ed. Krzysztof Makowski, Banco de Crédito del Perú, Lima 280-287, 2008.
[7] R. Franco J.: *los secretos de la huaca Cao Viejo*, Fundacion Wiese y Petrolera Transoceanica S.A., Lima, 2009.
[8] R. Franco J. : *Pour la Science* 390, 8, 2010, Paris, France
[9] R. Franco J. : *La Dama de Cao. Investigación y Ciencia* : 68-74, 2011, Barcelona, Spain.
[10] R. Franco J. : *El complejo el brujo: poder, arte y simbolismo y la tumba de la señora de Cao* in "Tesoros preincas de la cultura Mochica, El señor de Sipan, huaca de la luna y señora de Cao" ,Ed. By Cadiz, Repsol, Ministerio de Cultura del Perú, Fundacion Wiese y Embajada del Perú en España, 77-97, 2012, Lima Perú.
[11] S. La Niece, Susan : *Depletion gilding from 3rd millennium BC*. Ur. Iraq 57 : 41-47, 1995.
[12] H. Lechtman : *A pre-columbian technique for electrochemical replacement gilding of gold and silver on objects of copper*. J. Met. 31: 154-160, 1979.
[13] H. Lechtman : *Andean value systems and the development of prehistoric metallurgy*. Technol. Cult. 25: 1-36, 1984a.
[14] H. Lechtman : *Pre-columbian surface metallurgy*. Sci. Am. 250: 38-45, 1984 b.
[15] R. Cesareo : *X-Ray Fluorescence Spectrometry* ; Ullmann 's Encyclopedia for Industrial Chemistry, 2010
[16] www.amptek.com
[17] E.R. Caley : *Analysis of ancient metals*, Pergamon Press, Oxford 1964
[16] R. Cesareo, C. Mancini : *non destructive analysis of silver alloys by means of low energy gamma-rays and neutron transmission measurements*; Int. J. Appl. Radiat. Isotopes 30, 589, 1979.
[19] www.moxtek.com.

ABSTRACT

During excavations in the archaeological complex El Brujo (The Wizard), in the North-East side of Huaca Cao Viejo, 70 km north of Trujillo, in Peru, in the year 2005, it was made one of the most important discovery concerning the Moche culture: a tomb containing the mummy bundle of a high hierarchy woman, which is referred to as "Lady of Cao" and dates about 300 A.D. The high hierarchic level of this woman was deduced from the objects she took with her in the tomb. The coffin of the Lady contained more than hundred objects, mainly on gold and silver.

In this paper are reported the results of Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF)-analysis on 34 nose decorations on gold and silver from the tomb of the Lady of Cao. The purpose of this investigation, that followed a similar one carried out previously in the Museum "Tumbas Reales de Sipan", was to investigate the evolution of Moche metallurgy.

EDXRF-analysis is a non-destructive and non-invasive technique which in the case of metals analyzes micrometric surface layers. Therefore it can give wrong results when the sample composition is altered because of surface processes.

A complementary technique was therefore developed, of bulk analysis, using X-ray transmission of monoenergetic X-rays. It uses the same equipment employed for EDXRF-analysis; the X-ray beam from the X-ray tube is monochromatized by means of a tin secondary target, which K-lines bracket the silver-K discontinuity. This technique is able to determine, (by measuring the attenuation of tin-K rays), thickness and/or composition of gold and silver alloys having a thickness of less than about 120 µm for gold and about 0.7 mm for silver. The method was tested with Au-Ag-Cu alloys of known composition and thickness, and then applied to gold and silver artifacts from the tomb of the Lady of Cao. X-ray transmission measurements on gold and silver sheets approximately confirm the results of EDXRF-analysis.

PAROLE CHIAVE

METALLURGIA MOCHE; SIGNORA DI CAO; CORREDO FUNERARIO; INDAGINI NON INVASIVE; EDXRF; FLUORESCENZA RAGGI X; RADIOGRAFIA

AUTORE

ROBERTO CESAREO, cesareo@uniss.it

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E FISICA, UNIVERSITÀ DI SASSARI, ITALIA

ANGEL BUSTAMANTE, JULIO FABIÁN, SANDRA DEL PILAR ZAMBRANO
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, LIMA, PERU

RÉGULO FRANCO JORDÁN, ARABEL FERNANDEZ,
PACEB MUSEO CAO (FUNDACIÓN WIESE), TRUJILLO, PERU

GIOVANNI ETTORRE GIGANTE, giovanni.gigante@uniroma1.it
DIPARTIMENTO DI ENERGETICA, UNIVERSITÀ DI ROMA "LA SAPIENZA"

FLYGEO®

Un nuovo approccio alla documentazione
dei beni culturali

- ✓ rilievi aero-fotogrammetrici
- ✓ DSM/DTM
- ✓ modelli 3D
- ✓ ortofoto
- ✓ mapping
- ✓ elaborati grafici, fotografici e video

FLYTOP®

THE FUTURE IS NOW

Largo Domenico Donzelli, 6 - 00168 Roma
Tel. +39 39.74.93.97 - www.flytop.it - info@flytop.it

